

С.М. Стовпник, к.т.н., доц.
А.І. Ковтун, асист.
Н.Ф. Качинська, асист.
О.С. Прит, студ.
КПІ імені Ігоря Сікорського

Формування тріщини відриву при видобутку блокового каменю

В даний час безперечним лідером руйнування міцних гірських порід при розробці родовищ корисних копалин як відкритим, так і підземним способом є буропідрильний спосіб. Основним недоліком цього способу є сейсмічна дія вибуху на породи, порушення їх суцільності, розвиток тріщин і ослаблення масиву. Найбільш гостро це позначається при видобутку блокових матеріалів, оконтурюванні гірничих виробок. Застосування низько-бризантних ВВ, патронів і зарядів спеціальних конструкцій дозволяють знизити динамічний вплив на околошпурову область, однак їх застосування призводить до підвищення витрат і в ряді випадків не забезпечує необхідних кінцевих результатів. Так, наприклад, при видобутку блочного каменю втрати досягають більше тридцяти відсотків. Одним з можливих напрямків вирішення цієї проблеми є застосування статичних методів руйнування гірських порід. В даний час розроблено безліч способів невибухового руйнування, зокрема, механічні методи. Більшість цих методів перебувають на стадії науково-дослідних і проектних розробок. Їх промислове використання стримується відсутністю обладнання, малою надійністю, високою енергоємністю, небезпечним впливом на людину, високою вартістю. Всі ці недоліки змушують шукати шляхи створення дешевих і перспективних способів руйнування міцних гірських порід. Одним з перспективних напрямків статичного руйнування гірських порід є використання невибухових руйнуючих складів НРС. Проаналізовано особливості управління утворення тріщин в шпурах при відділенні кам'яних блоків з використанням невибухових руйнуючих складів (НРС) в комплексі з технологічним агрегатом, який включає керуючі вставки. Визначено умови розвитку тріщин розколу щодо осей анізотропії з максимальною або мінімальною міцністю.

Проаналізовано особливості керування напрямом тріщиноутворення в шпурах при відділенні кам'яних блоків з використанням невибухових руйнуючих сумішей (НРС) в комплексі з технологічними агрегатами, які включають в себе керуючі вставки. Визначено умови розвитку тріщини розколу відносно осей анізотропії з максимальною чи мінімальною міцністю.

Ключові слова: невибухова руйнуюча суміш (НРС); шпури; агрегат з керуючими вставками; анізотропія породи; напрямок тріщиноутворення.

Вступ. Природний камінь має кристалічну структуру, яка обумовлює в різному ступені виражені властивості анізотропії. Різниця в фізико-механічних, деформаційних та інших властивостях декоративного каменя проявляється по осях, розташованих під кутом 90^0 . Це явище має враховуватись при розробці статичних або динамічних методів відриву блокового каменя від масиву. Якщо проєктована площа відриву моноліту співпадає з віссю анізотропії, на якій межа міцності матеріалу на розрив мінімальна, створюються найбільш сприятливі умови для формування тріщини з високою якістю поверхні відриву, тобто з мінімальними відхиленнями нерівностей від ідеальної площини. Дані питання висвітлені в роботах [1–15].

Останнім часом для підвищення ефективності використання НРС при видобутку кам'яних блоків розроблено техніку направленої формування відривної тріщини із застосуванням у комплексі з робочою сумішшю (НРС) шпурового агрегату з керуючими вставками (металевими пластинами заданої товщини), які забезпечують при певній їх орієнтації такий розподіл напружень на стінках шпуру, який визначає напрямок тріщиноутворення в площині системи шпурів. Зазначене описано в роботах [16–23], однак в них не наведено аналізу вибору параметрів керуючих вставок, а також впливу анізотропних властивостей породи на формування напрямку тріщиноутворення.

Мета роботи – вивчити експериментально вплив параметрів розташування, товщину та орієнтацію керуючих вставок, а також характеристики анізотропії породи на ефективність керованого тріщиноутворення між осями анізотропії. Отримані результати досліджень можуть бути орієнтовані на потреби технологів, що працюють в реальному виробництві.

Результати досліджень. Дослідження виконувались з урахуванням наступних вихідних положень. Природна анізотропія кристалічної породи спричиняє відмінність міцнісних параметрів блокового каменю в залежності від просторової орієнтації досліджуваної ділянки масиву. Якщо представити ізолінії міцності гірської породи на розрив у вигляді еліпса з напрямками його осей, узгодженими з осями

анізотропії, найбільш сприятливі умови для зародження тріщини відриву мають співпадати або з більшою віссю зовнішнього еліпса Y на рисунку 1, або з напрямком більшої осі анізотропії, тоді як в напрямку осі X еліпса опір розтягненню породи буде максимальним.

Однак при видобутку кам'яних блоків часто через технологічні обмеження виникає необхідність отримати тріщину відколонування в довільному напрямку в межах сектора між осями X та Y .

Методика керування напрямком тріщиноутворення в секторі між осями анізотропії, розроблена на основі представлених нижче досліджень, базувалась на припущенні, що ізолінії міцності оточуючої шпур породи та розтягуючих напружень, викликаних кристалізацією НРС в шпурі, де встановлений агрегат з керуючою вставкою, можуть бути представлені замкнутими кривими, за формою близькими до еліпса;

Експериментальні дослідження методу управління напрямком тріщиноутворення в секторі між осями анізотропії базувалися на аналізі взаємодії таких параметрів:

– максимальна межа міцності породи на розтягнення $[\sigma_{max}^x]$; вважаємо, що це напруження направлене вздовж осі X шпура і виникає на осі Y (рис. 1);

– мінімальна межа міцності породи на розтягнення $[\sigma_{min}^y]$. Вважаємо, що це напруження направлене вздовж осі Y шпура і виникає на осі X (рис. 1);

– товщина керуючої вставки h (рис. 1);

– співвідношення розтягуючих напружень $\frac{\sigma_y'}{\sigma_x'}$, що виникають вздовж осей Y' та X' (рис. 1);

– кут α між віссю Y перерізу шпура і заданим напрямком тріщиноутворення (рис. 1);

– кут β між віссю Y перерізу шпура і віссю Y' вставки, що забезпечує утворення тріщини під кутом α (рис. 2).

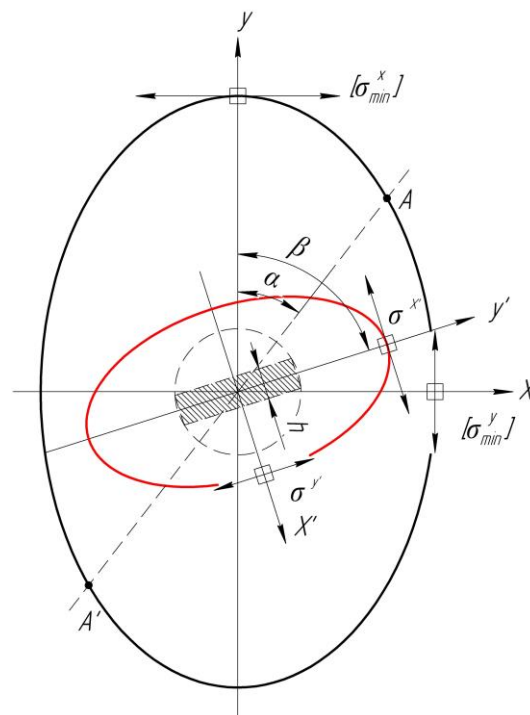


Рис. 1. Епюри міцності породи (зовнішній еліпс) та розтягуючих напружень (внутрішній еліпс) під час реакції кристалізації НРС

Співвідношення осей меншого еліпса на рис. 1 і 2 дорівнює відношенню розтягуючих напружень $\frac{\sigma_y'}{\sigma_x'}$, спрямованих вздовж осей Y' і X' та діючих на осі X' і Y' . Це співвідношення залежить тільки від товщини вставки і практично не залежить від модуля пружності породи і коефіцієнта Пуассона.

Співвідношення осей більшого еліпса на рисунку 2 визначається анізотропними властивостями породи і розраховується, як відношення мінімальної межі міцності породи на розтягнення $[\sigma_{min}^y]$, що діє на осі X , до максимальної межі міцності $[\sigma_{max}^x]$, що діє на осі Y .

На першому етапі досліджень менший еліпс потрібно побудувати всередині більшого еліпсу без точок взаємного торкання. В подальшому менший еліпс поступово збільшується в розмірі (зі збереженням заданого співвідношення осей) і одночасно обертає навколо його центру. Завданням цього дослідження є забезпечення дотику контурів двох еліпсів в заданих точках, положення яких визначається необхідним кутом тріщиноутворення α (рис. 2). В цих точках зростаюче за рахунок кристалізації НРС розтягуюче напруження досягне межі міцності породи, яка визначається її анізотропними властивостями, що забезпечить тріщиноутворення у заданому куті α напрямку. При цьому визначається такий важливий технологічний параметр, як кут β . Саме розміщення осі керуючої вставки під кутом β забезпечить тріщиноутворення в шпурі під кутом α .

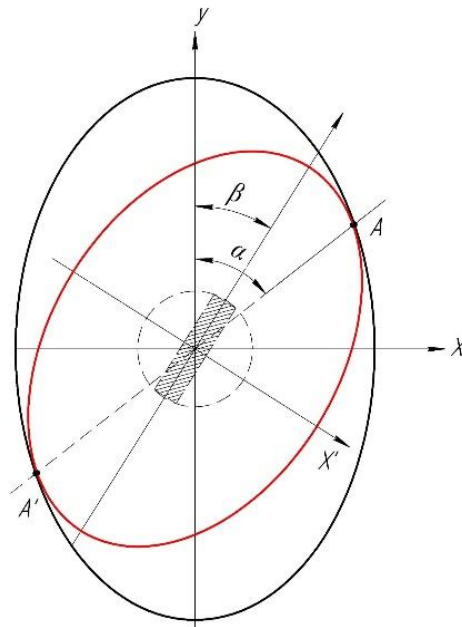


Рис. 2. Епюри міцності породи (зовнішній еліпс) та розтягуючих напружень (внутрішній еліпс) в момент тріщиноутворення під заданим кутом

Графічну частину досліджень виконано за допомогою комп'ютерної програми «Компас».

Для визначення реальних значень кута β задаємося наступними умовами:

- анізотропія породи складає 0.6; 0.7 і 0.8;
- необхідний кут тріщиноутворення складає 30°, 45°, 60°;
- товщина керуючих вставок дорівнює 5, 6, 7 і 8 мм.

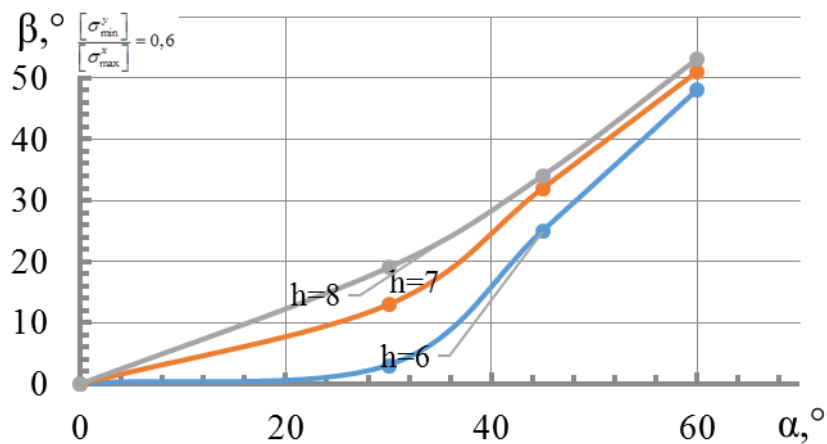


Рис. 3. Залежність кута β від кута α при анізотропії 0,6

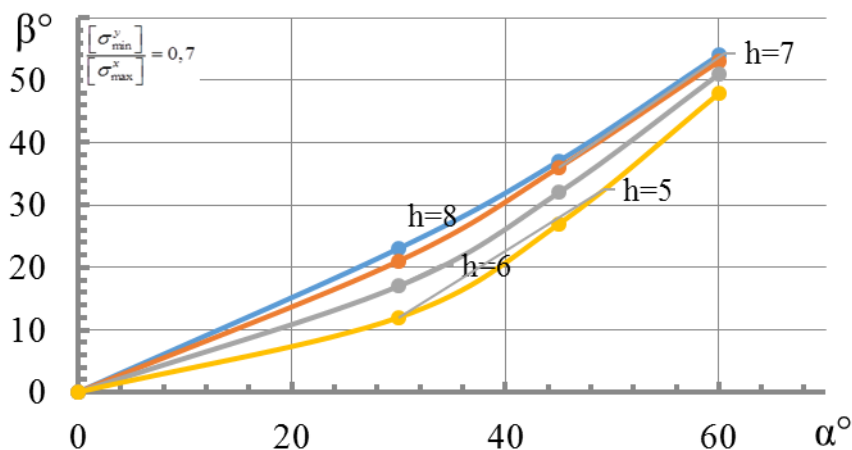


Рис. 4. Залежність кута β від кута α при анізотропії 0,7

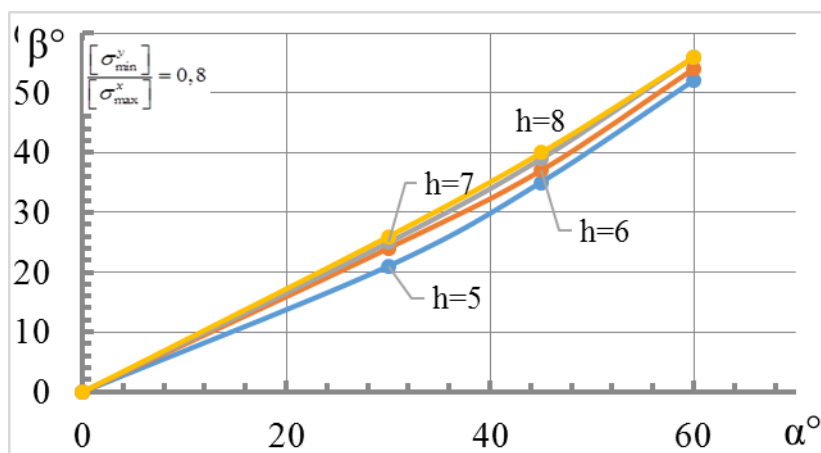


Рис. 5. Залежність кута α від кута β при анізотропії 0,8

Розроблений спосіб управління напрямком тріщини відриву в секторі між осями анізотропії базується на положеннях, що ізолінії міцності породи, прилеглої до шпура, та розтягуючих напружень, спричинених кристалізацією НРС в шпурі, за присутності керуючої вставки описуються еліптичною залежністю, що спричинено вираженою анізотропією руйнованого середовища.

Спосіб керованого утворення монотріщини через застосування НРС в присутності орієнтуючої вставки, співвісної з шпуровою порожниною, апробовано в умовах Катеринівського кар'єру ПП «Кванталч». Світлою смугою на рис.6 позначено положення керуючої вставки в шпурі.

Результати проведених промислових випробувань наведено в табл.1.

Таблиця 1

Товщина вставки, h, мм	Співвідношення мінімальних напружень до максимальних, $\sigma_{min}/\sigma_{max}$	Заданий кут тріщино-утворення, α	Отриманий мінімальний кут тріщиноутворення, α_{min}	Отриманий максимальний кут тріщиноутворення, α_{max}
5	0,67	30°	22°20'	37°10'
		45°	39°10'	51°20'
		60°	55°10'	65°40'
6	0,60	30°	23°30'	36°50'
		45°	39°40'	50°40'
		60°	56°00'	64°10'
7	0,54	30°	23°50'	35°50'
		45°	40°10'	50°00'
		60°	56°20'	64°00'
8	0,48	30°	24°20'	35°20'
		45°	40°40'	49°40'
		60°	57°00'	63°40'

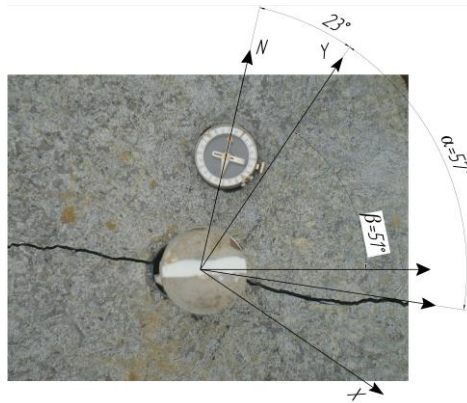


Рис. 6. Тріщина відриву в блоці природного каменю під кутом 57° від осі анізотропії Y

Висновки. Найбільший вплив товщини вставки на залежність між кутами α і β досягається в умовах максимальної анізотропії рівня 0,6 при товщині вставки 8 мм, особливо в діапазоні кута $\alpha = 20 \dots 40^\circ$.

Для застосування з практичною метою можна рекомендувати вставку товщиною 7 або 8 мм при анізотропії 0,7...0,8. При анізотропії 0,6 товщина вставки може складати 7 мм.

Збільшення товщини вставки до 8 мм підвищує точність керування напрямом тріщиноутворення. Підвищення заданого кута тріщиноутворення зменшує похибку дотримання напрямку тріщиноутворення. Експерименти довели ефективність застосування методу управління напрямком тріщини відриву в секторі між осями анізотропії при використанні невибухових руйнуючих сумішей. Результати проведених досліджень можуть бути рекомендовані для вдосконалення технології видобутку блочного каменю за допомогою НРС.

Список використаної літератури:

1. Коробійчук В.В. Обґрунтування лінійних розмірів блоків природного каменю залежно від вимог споживачів / В.В. Коробійчук // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир. – 2015. – № 4 (75). – С. 123–129.
2. Shamray V.I. Influence of grinding-polishing of natural stone on its shine and lightness shades / V.I. Shamray, V.V. Korobiichuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2014. – Vol. 5, No. 5 (71). – Pp. 56–60.
3. Коробійчук В.В. Определение рационального способа извлечения монолитов камня при проведении капитальных траншей / В.В. Коробійчук, С.С. Іськов // Технологический аудит и резервы производства. – 2013. – Т. 5, № 1. – С. 12–16.
4. Дослідження впливу буровибухових робіт на якість блочної продукції кар'єру на основі визначення геометричних характеристик її тріщинуватості / В.В. Коробійчук, Ю.О. Подчаїшинський, О.О. Ремезова, Р.В. Соболевський, О.А. Зубченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир. – 2007. – № 3 (42). – С. 143–150.
5. Визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменю / 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.
6. 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.
7. 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. Стрїха // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія : Технічні науки. – 2012. – № 2 (58). – С. 175–184.
8. Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій для дослідження гірничо-екологічних особливостей родовищ рудних і нерудних корисних копалин / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, Ю.О. Подчаїшинський, О.О. Ремезова // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2007. – № 1 (40). – С. 186–195.
9. 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.
10. 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.
11. 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.

12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Павлуценко М.В. Аналіз техніко-економічних показників пересувних дробильно-сортувальних установок на щебневих 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.
16. Карасев Ю.Г. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня : уч. пособие / Ю.Г. Карасев, Н.Т. Бакка ; Санкт-Петербургский горный институт. – СПб, 1979. – 428 с.
17. Луговий П.З. Відокремлення монолітів за допомогою шпурів, які мають профільні надрізи в площині передбачуваного відколу / П.З. Луговий, О.І. Фоменко // 28 міжнародна наукова конференція ім. академіка С.А. Христановича, 22–28 вересня 2008 : тези докладів. – Алушта, 2008. – С. 23–26.
18. Воробьев В.В. Определение оптимальных параметров заряда для контурного взрывания / В.В. Воробьев, В.В. Костин, В.Е. Проценко // Збірник «Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва» : наук.-вироб. зб-к ; Кременчуцький університет ім. М.Остроградського. – Кременчук : КрНУ, 2011. – Вип. 2 (8). – С. 39–44.
19. Розробка та дослідження процесу керування напрямом розколу блочного каменю при використанні невибухових руйнуючих сумішей / І.О. Фоменко, О.І. Фоменко, І.М. Ковтун, А.І. Ковтун // Збірник «Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва» : наук.-вироб. зб-к ; Кременчуцький університет ім. М.Остроградського. – Кременчук : КрНУ, 2013. – Вип. 2 (12). – С. 50–57.
20. Фоменко І.О. Дослідження технологічних параметрів процесу керування напрямком розколу блочного каменю під час використання невибухових руйнуючих сумішей / І.О. Фоменко, А.І. Ковтун // Збірник «Вісник Національного технічного університету України». Серія : Гірництво ; Київський політехнічний інститут. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – Вип. 26. – С. 63–69.
21. Пат. 100062 Україна, МПК (2006.01) E21C 37/06. Спосіб руйнування гірських порід невибуховими руйнуючими сумішами й патрон для його реалізації / І.Г. Сахно, М.М. Касьєв. – № 201100476 ; опубл. 2012, Бюл. № 21. – 5 с.
22. Пат. 90941 Україна, МПК E21C 37/00. Шпурова вставка для направлено розколу монолітних об'єктів невибуховими розширюючими сумішами / І.О. Фоменко, О.І. Фоменко, А.І. Ковтун ; опубл. 10.06. 2014, Бюл. № 11.
23. Пат. 92446, Україна, МПК E21C 27/14. Шпурова вставка для направлено розколу монолітних об'єктів невибуховими розширюючими сумішами / І.О. Фоменко, О.І. Фоменко, А.І. Ковтун ; опубл. 11.08.2014, Бюл. № 15.

References:

1. Korobijchuk, V.V. (2015), «Obg'runtuvannya liniynih rozmiriv blokiv pryrodnoho kamenju zalezno vid vymog spozhyvachiv», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnoho universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 4 (75), Zhytomyr, pp. 123–129.
2. Shamray, V.I. and Korobiichuk, V.V. (2014), «Influence of grinding-polishing of natural stone on its shine and lightness shades», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, No. 5 (71), pp. 56–60.
3. Korobijchuk, V.V. and Is'kov, S.S. (2013), «Opredelenie racional'nogo sposoba izvlechenija monolitov kamnja pri provedenii kapital'nyh transhej», *Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva*, Vol. 5, No. 1, pp. 12–16.
4. Korobijchuk, V.V., Podchashins'kij, Ju.O., Remezova, O.O., Sobolev'skij, R.V. and Zubchenko, O.A. (2007), «Doslidzhennja vplivu buruvibuhovih robit na jakist' bločnoї produkції kar'єru na osnovi viznachennja geometrichnih harakteristik її trishhinuvatosti», *Visnik Zhitomir'skogo derzhavnogo tehnologichnoho universitetu*, Serija *Tehnichni nauki*, No. 3 (42), Zhitomir, pp. 143–150.
5. Krivoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V., Sobolev'skij, R.V., Kams'kih, O.V. and Pavljuk, I.V. (2016), «Viznachennja optimal'nogo naprjamku vedennja girmichih robit pri vidobuvanni blokiv z pryrodnoho kamenju», *Visnik Zhitomir'skogo derzhavnogo tehnologichnoho universitetu*, Serija *Tehnichni nauki*, No. 3 (78), Zhitomir, pp. 150–163.
6. Krivoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V. and Is'kov, S.S. (2012), «Rozrobka uzagal'noї metodiki geometrizacii masiviv pryrodnoho kamenju z metoju otrimannja kompleksnoї modeli rodovishha», *Visnik Zhitomir'skogo derzhavnogo tehnologichnoho universitetu*, Serija *Tehnichni nauki*, No. 4 (63), pp. 190–202.
7. Korobijchuk, V.V., Kisel', O.O. and Striha, V.A. (2012), «Geometrizacija suputnoї korisnoї kopalini v umovah Leznikov'skogo rodovishha granitiv ta girmicho-geometrichnij analiz jogo pokaznikov», *Visnik Nacional'nogo universitetu vodnogo gospodarstva ta prirodokoristuvannja*, Serija *Tehnichni nauki*, No. 2 (58), pp. 175–184.
8. Krivoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V., Podchashins'kij, Ju.O. and Remezova, O.O. (2007), «Zastosuvannja informacijno-kop'juternih tehnologij dlja doslidzhennja girmicho-ekologichnih osoblivostej rodovishh rudnih i nerudnih korisnih kopalyn», *Visnik Zhitomir'skogo derzhavnogo tehnologichnoho universitetu*, Serija *Tehnichni nauki*, No. 1 (40), pp. 186–195.

9. 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.
10. Sobolevskiy, R., Zuiivska, 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», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5/3 (83), pp. 21–29.
11. Korobiichuk, V., Shamrai, V., Iziunova, 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.
12. Korobiichuk, I., Korobiichuk, 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.
13. Sobolevskiy, R., Vaschuk, O., Tolkach, O., Korobiichuk, V. and Levytskyi, V. (2017), «A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators», *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*, No. 3 (87), pp. 54–67.
14. Korobiichuk, 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.
15. Pavlushhenko, M.V. and Korobijchuk, V.V. (2017), «Analiz tehniko-ekonomichnih pokaznikov peresuvnih drobil'no-sortoval'nih ustanovok na shhebenevnykh kar'erah», *Tezi IV Vseukraïns'koï naukovo-praktichnoï konferencii studentiv, aspirantiv ta molodih vchenih «Perspektivi rozvitku girnichoï spravi ta racional'nogo vikoristannja prirodnih resursiv»*, pp. 48–49.
16. Karasev, Ju.G. and Bakka, N.T. (1979), *Prirodnyj kamen'. Dobycha blochnogo i stenovogo kamnja*, Sankt-Peterburgskij gornyj institute, SPb, 428 p.
17. Lugovij, P.Z. and Fomenko, O.I. (2008), «Vidokremlennja monolitiv za dopomogoj shpuriv, jaki majut' profil'ni nadrizi v ploshhini peredbachuvanogo vidkolu», *28 mizhnarodna naukova konferencija im. akademika S.A. Hristanovicha*, vid 22–28 veresnja, tezi dokladiv, Alushta, pp. 23–26.
18. Vorob'ev, V.V., Kostin, V.V. and Prochenko, V.E. (2011), «Opredelenie optimal'nykh parametrov zarjada dlja konturnogo vzyvanija», *Zbirnik «Suchasni resursoenergozberigajuchi tehnologii girnichogo virobництва»*, nauk.-virob. zb-k, Vol. 2 (8), Kremenuch'kij universitet im. M.Ostrogradskogo, KrNU, Kremenuchuk, pp. 39–44.
19. Fomenko, I.O., Fomenko, O.I., Kovtun, I.M. and Kovtun, A.I. (2013), «Rozrobka ta doslidzhennja procesu keruvannja naprjamom rozkolu blochnogo kamenju pri vikoristanni nevivuhovih rujnujuchih sumishej», *Zbirnik «Suchasni resursoenergozberigajuchi tehnologii girnichogo virobництва»*, nauk.-virob. zb-k, Vol. 2 (12), Kremenuch'kij universitet im. M.Ostrogradskogo, KrNU, Kremenuchuk, pp. 50–57.
20. Fomenko, I.O. and Kovtun, A.I. (2014), «Doslidzhennja tehnologichnih parametrov procesu keruvannja naprjamkom rozkolu blochnogo kamenju pid chas vikoristannja nevivuhovih rujnujuchih sumishej», *Zbirnik «Visnik Nacional'nogo tehnichnogo universitetu Ukraïni»*, Serija *Girnictvo*, Vol. 26, Kiïvs'kij politehničnij institut, NTUU «KPI», Kiïv, pp. 63–69.
21. Sahno, I.G. and Kas'ev, M.M. (2012), *MPK (2006.01) E2IS 37/06. Sposib rujnuvannja girs'kih porid nevivuhovimi rujnujuchimi sumishami j patron dlja jogo realizacii* [Method of destruction of rocks by non-explosive destructive mixtures and a cartridge for its realization], State Register of Patents of Ukraine, Kiïv, UA, Pat. 100062, 5 p.
22. Fomenko, I.O., Fomenko, O.I. and Kovtun, A.I. (2014), *MPK E2IS 37/00. Shpurova vstavka dlja napravlenogo rozkolu monolitnih ob'ektiv nevivuhovimi rozshirjujuchimi sumishami* [Hole insertion for directional split of monolithic objects with non-explosive expanding blends], State Register of Patents of Ukraine, Kiïv, UA, Pat. 90941.
23. Fomenko, I.O., Fomenko, O.I. and Kovtun, A.I. (2014), *MPK E2IS 27/14. Shpurova vstavka dlja napravlenogo rozkolu monolitnih ob'ektiv nevivuhovimi rozshirjujuchimi sumishami* [Hole insertion for directional split of monolithic objects with non-explosive expanding blends], State Register of Patents of Ukraine, Kiïv, UA, Pat. 92446.

Стовпник Станіслав Миколайович – кандидат технічних наук, доцент КПІ імені Ігоря Сікорського.

Наукові інтереси:

- фізика руйнівних процесів в твердих матеріалах;
- гірництво

Ковтун Андрій Іванович – асистент КПІ імені Ігоря Сікорського.

- видобування облицювального каменю;
- математичне моделювання.

Качинська Наталія Федорівна – асистент КПІ імені Ігоря Сікорського.

- питання виробничої та цивільної безпеки;
- раціональне природокористування та ресурсозбереження.

Прит Олексій Сергійович – студент КПІ імені Ігоря Сікорського.

- математичне моделювання;
- чисельні методи;

Стаття надійшла до редакції 01.11.2017.