

REFERENCES

1. Ruban, N.M. (2014), "State-of-the-art literature review on accounting the long-term dynamic loads on the long-term strength of soil in the base of buildings and structures", *Zbirnyk naukovykh prats Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Forum gornyakov"*. [Conference proceedings of the International scientific and technical conference "Forum of Miners"], Dnipropetrovsk, NМУ, October 1-4, 2014, pp. 279–284.
2. Solodyankin, O.V., Ruban, N.M. (2014), "The stress-strain state of complex structural subfoundation of building, erected on subsiding soils, under the action of dynamic loading", *Up-to-date resource-and energy-saving technologies in mining industry*, iss. 1/2014 (13), pp. 135–146.
3. Bondar, I.S. (2012), "Shear tests of cohesive soils under different loading paths", *Inzenerno stroitelnyy zurnal*. [Civil Engineering Journal], no. 7, pp. 50–57.
4. Voznesensky, E.A. (1997), *Povedenie gruntov pri dinamicheskikh nagruzkah* [Behavior of soil under a dynamic loads], MGU, Moscow, Russia.
5. DSTU B V.2.1-8-2001, [THE STATE STANDARD OF UKRAINE], Soils. Sampling, packing, transportation and keeping of samples.
6. DSTU B V.2.1-4-96, [THE STATE STANDARD OF UKRAINE], Soils. Laboratory methods for determining the strength and strain characteristics.
7. Solodiankin, O.V., Kovrov, O.S., Ruban, N.M. (2015), "Investigation of physical and mechanical properties of subsiding soils at the yevpatoriyskaya ravine located in the city of Dnepropetrovsk", *Scientific Bulletin of National Mining University*, no. 1, pp. 15–20.
8. Ruban, N.M. (2015), "The assessment of parameters of dynamic impact from transport sources in Dnipropetrovsk city", *Journal of Kryvyi Rih National University*, no. 39, pp. 58–63.

Статья надійшла 08.11.2015.

УДК 622.236.9, 622.271.2.

**КЕРУВАННЯ НАПРЯМОМ ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ ПО ОСЯХ
ОРТОТРОПІЇ ГРАНІТІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ НЕВИБУХОВИХ
РУЙНУЮЧИХ СУМІШЕЙ ТА АГРЕГАТІВ З ПЛАСТИНАМИ-
ВСТАВКАМИ**

І. О. Фоменко, О. І. Фоменко, І. М. Ковтун, А. І. Ковтун

Національний технічний університет України «КПІ»

просп. Перемоги, 37 м. Київ, 03056, Україна. E-mail: kav2012@ukr.net

Проаналізовано особливості керування напрямом тріщиноутворення в шпур-рах гранітних блоків при використанні невибухових руйнуючих сумішей в комплексі з технологічними агрегатами, які включають в себе пластини-вставки. Визначено комплексний вплив показників ортотропії породи, ширини пластини-вставки та її орієнтації в шпурі на формування напруженого стану в породі. Встановлені умови розвитку тріщини розколу по осях ортотропії з максимальною, чи мінімальною міцністю, а також умови неможливості керування напря-

мом розколу, коли одночасно існують однакові вірогідності тріщиноутворення одразу по двох осях ортотропії.

Ключові слова: невибухова руйнуюча суміш, шпури, агрегат з пластинами-вставками, ортотропія породи, напрямок тріщиноутворення.

**УПРАВЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЕМ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ
ПО ОСЯМ ОРТОТРОПИИ ГРАНИТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
НЕВЗРЫВЧАТЫХ РАЗРУШАЮЩИХ СМЕСЕЙ И АГРЕГАТОВ
С ПЛАСТИНАМИ-ВСТАВКАМИ**

И. А. Фоменко, А. И. Фоменко, И. Н. Ковтун, А. И. Ковтун

Национальный технический университет Украины «КПИ»

просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: kav2012@ukr.net

Проанализированы особенности управления направлением трещинообразования в шпурах гранитных блоков при использовании невзрывчатых разрушающих смесей в комплексе с технологическими агрегатами, которые включают в себя пластины-вставки. Определено комплексное влияние показателей ортотропии породы, ширины пластины-вставки и ее ориентации в шпуре на формирование напряженного состояния в породе. Установлены условия развития трещины раскола по осям ортотропии с максимальной, минимальной прочностью, а также условия невозможности управления направлением раскола, когда одновременно существуют одинаковые вероятности трещинообразования сразу по двум осям ортотропии.

Ключевые слова: невзрывчатая разрушающая смесь, шпуры, агрегат с пластинами-вставками, ортотропия породы, направление трещинообразования.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. В останній час для підвищення ефективності використання невибухових руйнуючих сумішей (НРС) при видобутку гранітних блоків були розроблені агрегати з пластинами-вставками. При певній орієнтації пластини вставки та конкретній товщині дозволяють перерозподілити напружений стан на стінках шпура, що забезпечує тріщиноутворення в заданому напрямку. Зазначене описано в роботах однак в цих роботах не наведений аналіз вибору товщини пластини-вставки, а також вплив орто-тропних властивостей породи, на формування напрямку тріщиноутворення. Природні камені мають кристалічну структуру, а тому мають більш чи менш виражені ортотропні властивості, які проявляють себе по осях розташованих під кутом 90° .

Мета роботи – виконати дослідження впливу товщини пластини-вставки та її орієнтації, а також характеристики ортотропії породи на можливість отримати тріщиноутворення по конкретній наперед заданій, осі ортотропії. Отримані результати досліджень будуть орієнтовані на потреби технологів, які працюють в реальному виробництві.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТ ДОСЛІДЖЕНЬ. При проведенні дослідження були обрані наступні початкові умови:

- максимальну межу міцності $[\sigma_y]$ з точки зору тріщиноутворення, має ось у, де для тріщиноутворення по цій осі потрібно створити розтягуючі напруження, які перевищать межу міцності і будуть перпендикулярні осі у;

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

- мінімальну межу міцності $[\sigma_x]$ з точки зору тріщиноутворення, має вісь x , де для тріщиноутворення по цій осі потрібно створити розтягуючі напруження, які перевищать тежу міцності і будуть перпендикулярні осі x ;

- ортотропією породи будемо вважати відношення мінімальної міцності породи до максимальної і для проведення досліджень обираємо діапазон зміни ортотропії від 0,6 та вище;

- для досліджень задаємося товщиною пластини-вставки 5, 6, 7 та 8 мм;

- виходячи з результатів аналітичних досліджень, приймаємо, що діапазон співвідношення менших розтягуючих напружень до більших по осях шпура, для заданих товщин пластин-вставок, дорівнює 0,5–0,65.

Наведені нижче дослідження процесу керування напрямом тріщиноутворення по осях ортотропії x чи y базуються на аналізі зміни в часі зростаючих розтягуючих напружень по цих осях з урахуванням заданого діапазону ортотропії породи, орієнтації пластини-вставки по осях шпура та заданого діапазону товщин пластин-вставок.

Картина формування розтягуючих напружень на осях x та y шпура, в залежності від орієнтації пластини-вставки, приведена на рис. 1.

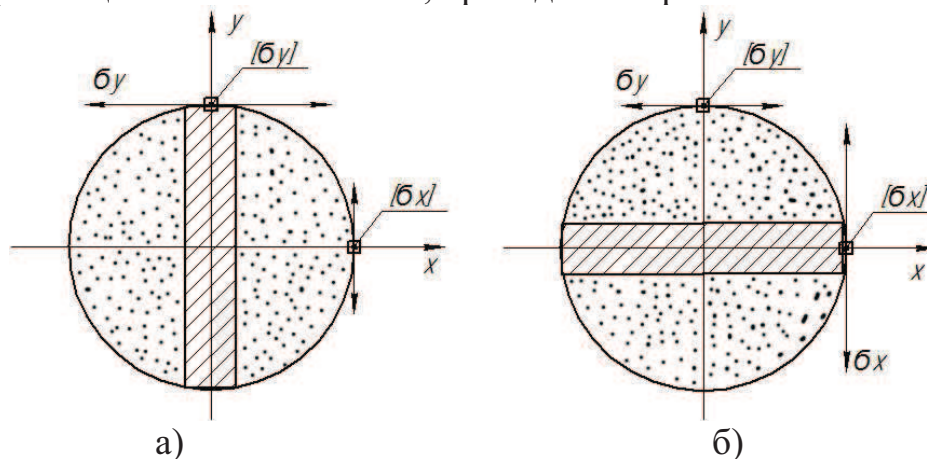


Рисунок 1 – Формування розтягуючих напружень на осях шпура в залежності від орієнтації пластини-вставки:

а) – пластина-вставка вздовж осі y ; б) – пластина-вставка вздовж осі x

На рис. 1 а) маємо $\sigma_y > \sigma_x$, а на рис. 1 б) $\sigma_y < \sigma_x$.

Отриманий напрямок тріщиноутворення буде залежати від того на якій осі розтягуючі напруження σ_x або σ_y раніше розтягнуться межі міцності породи $[\sigma_x]$ або $[\sigma_y]$.

Момент досягнення межі міцності породи на конкретній осі шпура буде залежати не тільки від орієнтації пластини-вставки, але й від ортотропії породи та товщини пластини-вставки.

Динаміка взаємодії всіх перерахованих параметрів у часі при орієнтації пластини-вставки товщиною 5 мм вздовж осі y та ортотропії породи 0,6 представлена на рис. 2.

Як видно з кривих, представлених на рис. 2 першими досягають межі міцності розтягуючі напруження σ_x , які діють перпендикулярно осі X . Таким чином, тріщиноутворення в породі по осі X , яка має меншу міцність, виникне в момент часу t_r (час тріщиноутворення).

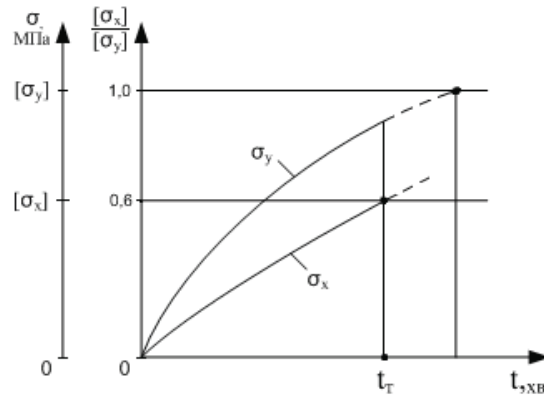


Рисунок 2 – Динаміка зростання розтягуючих напружень по осях ортотропії X та Y в процесі кристалізації НРС

Динаміка навантажень шпуру по осях ортотропії X та Y при орієнтації пластини вставки товщиною 5мм вздовж осі Y та ортотропії породи 0,65 представлена на рис. 3.

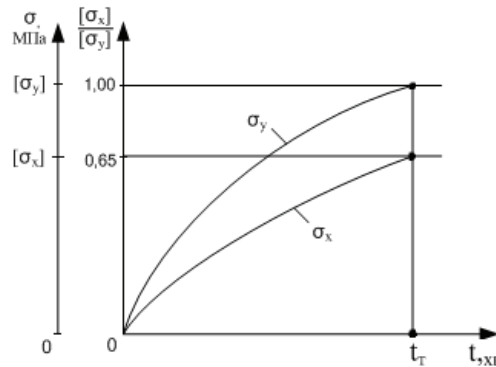


Рисунок 3 – Динаміка зростання розтягуючих напружень по осях ортотропії X та Y в процесі кристалізації НРС

Як видно з графіків, наведених на рис. 3 розтягуючі напруження σ_x та σ_y досягають меж міцності по осях X та Y практично одночасно. У цьому випадку можна зробити висновок, що вирогідності тріщиноутворення, як по осі X так і по осі Y будуть однакові. Практично це означає, що при наведених початкових умовах керування напрямком тріщиноутворення відсутнє.

Динаміка навантажень шпуру по осях ортотропії X та Y при орієнтації пластини вставки товщиною 6мм вздовж осі Y та ортотропії породи 0,6 представлена на рис. 4.

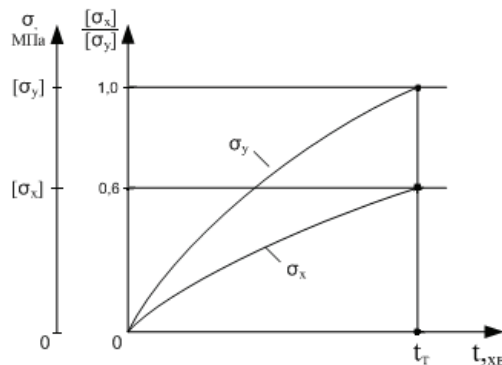


Рисунок 4 – Динаміка зростання розтягуючих напружень по осях ортотропії X та Y в процесі кристалізації НРС

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Як видно з графіків, наведених на рис. 4 динаміка зростання розтягуючих напружень по осях ортотропії X та Y повторює процес представлений на рис. 3, тобто одночасно досягнення меж міцності породи на осях X та Y виключає можливість керування напрямком тріщиноутворення.

Ділянка навантаження шнуру на осях ортотропії X та Y при орієнтації пластин-вставок товщиною 7 та 8 мм по осі Y та ортотропії породи 0,6 представлена на рис. 5.

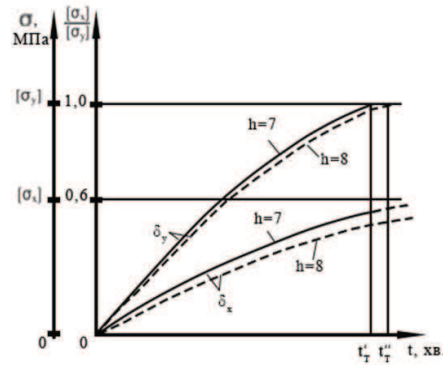


Рисунок 5 – Динаміка зростання розтягуючих напружень по осях ортотропії X та Y в процесі кристалізації НРС

Графіки, наведені на рис. 5 свідчать про те, що використання пластин-вставок товщиною 7 та 8 мм забезпечує тріщиноутворення по осі з більшою міцністю Y.

Так як саме на цій осі розтягуючі напруження σ_y в момент часу t'_T або t''_T . При наведених початкових даних умовах збільшення ортотропи породи не може змінити напрямку тріщиноутворення.

Динаміка навантаження шнуру по осях ортотропії X та Y при орієнтації пластин-вставок товщиною 5 та 8 мм по осі X та ортотропії породи 0,6 представлена на рис. 6.

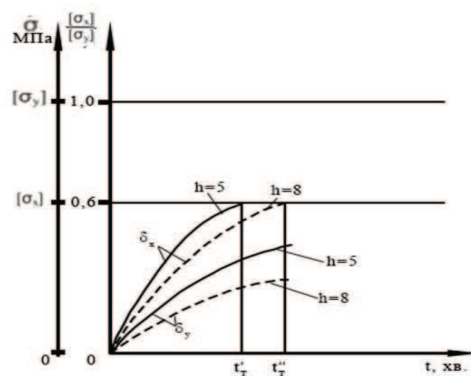


Рисунок 6 – Динаміка зростання розтягуючих напружень на осях ортотропії X та Y в процесі кристалізації НРС

З графіків, наведених на рис. 6 можна зробити висновок, що для заданих початкових умов, (товщина пластин-вставок змінюється в діапазоні 5...8 мм, ортотропії породи 0,6 та вище, орієнтація пластин-вставок по осі X) тріщиноутворення завжди буде проходити тільки по осі X, яка має меншу міцність.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

ВИСНОВКИ. Проведені аналітичні дослідження процесу керування напрямом тріщиноутворення по осях ортотропії X та у дозволяють сформулювати слідуючі висновки:

1. При орієнтації пластини-вставки товщиною 5 мм вздовж осі максимальною міцністю і ортотропії породи 0,6 розтягуючі напруження на осях ортотропії раніше досягають межі міцності на осі з меншою міцністю, що забезпечує тріщиноутворення по цій осі.

2. При орієнтації пластин-вставок товщиною 5 мм вздовж осі з максимальною міцністю і ортотропії породи 0,65, а також пластин-вставок товщиною 6 мм і ортотропії породи 0,6 розтягуючі напруження на осях ортотропії досягають їх меж міцності одночасно, що виключає можливість керування напрямком тріщиноутворення.

3. Пластини-вставки товщиною 7 та 8 мм при їх орієнтації вздовж осі ортотропії з максимальною міцністю гарантують тріщиноутворення по цій осі в заданому діапазоні зміни ортотропії від 0,6 та вище.

4. Пластини-вставки товщиною від 5 до 8 мм орієнтовані вздовж осі ортотропії з мінімальною міцністю гарантують тріщиноутворення по цій осі в заданому діапазоні зміни ортотропії від 0,6 та вище.

Враховуючи, що при видобутку гранітних блоків іноді виникає необхідність отримати тріщину розколу породи не по одній з двох осей ортотропії, а в секторі між ними, слід вважати перспективними проведення досліджень, які дозволять розробити технологію саме такого розколу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карасев Ю.Г. Бакка Н.Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня // Учебное пособие для студентов высш. учеб. зав.- Санкт-Петербургский горный институт. – СПб, 1979. – 428 с.

2. Луговий П.З., Фоменко О.І. Відокремлення монолітів за допомогою шнурів, які мають профільні надрізи в площині передбачуваного відколу // 28 міжнародна наукова конференція ім. академіка С.А. Христановича, 22-28 вересня 2008: тези докладів. – Алушта, 2008. – С. 23–26.

3. Определение оптимальных параметров заряда для контурного взрывания / В.В. Воробьев, В.В. Костин, В.Е. Проценко // «Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва». – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 2/2011(8). – С. 39–44.

4. 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 // «Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва». – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 2/2013(12). – С. 50–57.

5. Фоменко І. О., Ковтун А. І. Дослідження технологічних параметрів процесу керування напрямком розколу блочного каменю під час використання невибухових руйнуючих сумішей // «Вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут серія гірництво» – Збірник наукових праць: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – Вип. 26 – С. 63–69.

6. Сахно І. Г., Касьев М.М. Патент на винахід №100062, МПК(2006.01) E21C 37/06. Спосіб руйнування гірських порід невибуховими руйнуючими сумішами й патрон для його реалізації / -а. 201100476, – 2012, – бюл.21 – 5с.

7. Фоменко І.О., Фоменко О.І., Ковтун А.І. Патент на корисну модель №90941, МПК E21C 37/00. Шпурова вставка для направлено розколу монолітних об'єктів невибуховими розширюючими сумішами / опубл. 10.06. 2014. Бюл. №11.

8. Фоменко І.О., Фоменко О.І., Ковтун А.І. Патент на корисну модель №92446, МПК E21C 27/14. Шпурова вставка для направлено розколу монолітних об'єктів невибуховими розширюючими сумішами / опубл. 11.08. 2014. Бюл. №15.

DIRECTION CONTROL OF CRACKING GRANITES ON ORTHOTROPIC AXES BY USING NON-EXPLOSIVE AND DESTROYED MIXTURES OF UNITS WITH PLATE INSERTS

I. Fomenko, A. Fomenko, I. Kovtun, A. Kovtun

National Technical University of Ukraine «KPI»

prosp. Pobedy, 37, Kiev, 03056, Ukraine. E-mail: kav2012@ukr.net

Purpose. The objectives of the work – to perform a study on influence of the thickness of the insertion plate and its orientation, and *orthotropic properties of rock* on the opportunity to get crack formation due to particular predetermined axis of orthotropy. The results of research will be focused on the needs of engineers working in real production. **Methodology.** During the conducting of research the following initial conditions were chosen: In terms of cracking the maximum tensile strength $[\sigma_y]$ occurs at y, where for cracking on this axis is necessary to create tensile stresses that exceed the tensile strength, and are perpendicular to the y axis;

In terms of cracking the minimum tensile strength $[\sigma_x]$ occurs at x, where for cracking on this axis is necessary to create tensile stresses that exceed the tensile strength, and are perpendicular to the x axis. **Results.** Conducted analytical researches of the process of controlling the direction of cracking orthotropy along the axes X and y allow to form the following conclusions. When the orientation of the insertion plate with a thickness of 5 mm along the axis of maximum strength and rock orthotropy 0,6 tensile stresses on the orthotropic axes reach the limit before the ultimate strength on the axis with a lower strength, providing crack formation on this axis. When the orientation of the insertion plates with a thickness of 5 mm along the axis of maximum strength and rock orthotropy 0,65 and also insertion plates with a thickness of 6 mm and rock orthotropy 0,6 tensile stresses on the orthotropic axes reach their ultimate strength simultaneously, which eliminates the possibility of controlling the direction of crack formation. Insertion plates with a thickness of 7 and 8 mm in their orientation along the orthotropic axis of maximum strength guarantee crack formation along this axis in a predetermined range of variation of orthotropy from 0.6 and above. Insertion plates with a thickness from 5 to 8 mm oriented along the orthotropic axis ensure durability with minimal crack formation on this axis in a predetermined range of variation of orthotropy 0.6 and above. **Originality.** Taking into account that during granite blocks mining it is sometimes necessary to receive rock crack not on one of the two orthotropic axes but in the sector between them, research that will develop technology for exactly this split should be

considered as promising. **Practical value.** The following study of the process of controlling the direction of crack formation along the orthotropic axes x or y based on the analysis of the variation in time of the increasing tensile stresses along such axes for a given range of rock orthotropy, the orientation of the insertion plate axis of the blasthole and predetermined range of thicknesses of the insertion plates.

Key words: non-explosive and destroyed mixture, cords, unit with plate inserts, orthotropy of strain, direction control of cracking.

REFERENCES

1. Karasaev, U. G. (1997) *Prirodnui kamen. Dobuca blocnogo I ctenovoga kamny* [Natural stone. Extraction of wall stone and building block]. Tutorial for universities. St. Petersburg Mining Academy. Spb, Russia.

2. Lugovvy, P. Z. (2008) " Separation of solid rocks which have profiled cuts in the working plane through the use of cords". 28 *megdynarodnay naycnaykonferenciyy S. A. Hristianovich* [Abstracts of International scientific conference Deformation and Destruction of Materials named for member of Academy of Sciences S. A. Hristianovich] 22-28 September 2008: abstracts – Alushta: 2008 pp. 12–15.

3. Vorobyov, V.V., Kostin, V.V., Protsenko, V.E. (2011) "Determination of optimal size of explosive charges for contour blasting" *the collection «Up-to-date resource- and energy- technologies in mining industry» Research and production journal: Kremchuk Mykhailo Ostrohradsky National University: KrNU*, vol. 2, no. 8, pp. 39–44.

4. Fomenko, I. O., Fomenko, O. I., Kovtun, I. N., Kovtun, A. I (2014) "Development and study of control of wall stone rupture direction with the use of destructive media " *series of Mining «Up-to-date resource- and energy- technologies in mining industry» Research and production journal: Kremchuk Mykhailo Ostrohradsky National University: KPI*, vol. 2, no. 13, pp. 50–57.

5. Fomenko, I. O., Fomenko, O. I., Kovtun, I. N., Kovtun, A. I (2013) "Study of *Herald of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»*. *Series of «Mining»*, no. 26, pp. 63–69.

6. Sakhno, I.G., Karasaev, M.M., (2011) Invention patent №100062, MPK (2006.01)E21C37/06: "Method of destruction of rocks with the use of non-explosive mixtures and fixture for its usage" Ukraine, 201100476, application dated 17.01.2011, published 12.11.2012 bulletin 21, page 5.

7. Fomenko, I.O., Fomenko, O.I., Kovtun, A.I., (2014) Invention patent № 90941, MPK (2014.01) E21C37/00: "Hole directional insert for the split monolithic objects extending non-explosive " Ukraine, application dated 06.02.2014, published 10.16.2014 bulletin 11.

8. Fomenko, I.O., Fomenko, O.I., Kovtun, A.I, (2014) Invention patent № 92446, MPK (2006.01) E21C27/14: "Hole directional insert for the split monolithic objects extending non-explosive" Ukraine, application dated 16.004.2014, published 11.08.2014 bulletin 15.

Стаття надійшла 15.11.2015.