

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 622.235-049.5

В. И. ПЕТРЕНКО¹, Е. М. ШАТАЙКИН², В. Д. ПЕТРЕНКО^{3*}, А. Л. ТЮТЬКИН⁴

¹ Публичное акционерное общество «Киевметрострой», ул. Прорезная, 8, Киев, Украина, 01601, тел. +38 (044) 455 23 00, эл. почта petrenko@metrobud.kiev.ua

² Тоннельный отряд № 14 ПАО «Киевметрострой», ул. Каштановая, 11, Днепр, Украина, 49051, тел. +38 (067) 501 04 16, эл. почта shat.g@ukr.net

^{3*} Кафедра «Мосты и туннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, эл. почта petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

⁴ Кафедра «Мосты и туннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

ПРОХОДКА НАКЛОННЫХ СТВОЛОВ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ИНГУЛЕЦКОМ ГОКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Цель. Выполнить оценку эффективности способов проходки наклонных стволов циклично-поточной технологии на Ингулецком ГОКе с применением буровзрывных работ при отбойке крепчайших скальных пород. **Методика.** Для достижения поставленной цели рассмотрены и проанализированы основные факторы, влияющие на реализацию эффективной технологии проходки наклонных стволов. **Результаты.** Обоснован уровень эффективности разработанной технологии. **Научная новизна.** Разработаны рациональная схема и параметры буровзрывных работ с комбинированным применением короткозамедленного и замедленного взрывания шпуровых зарядов. **Практическая значимость.** Внедрены рациональные параметры буровзрывных работ при строительстве наклонных стволов.

Ключевые слова: циклично-поточная технология; наклонные стволы; параметры буровзрывных работ; короткозамедленное и замедленное взрывание; эффективность; безопасность

Введение

Публичное акционерное общество «Киевметрострой» сооружает сложные объекты различного назначения, включая метрополитены, мосты, путепроводы, подземные комплексы и гидроаккумулирующую станцию. При этом «Киевметрострой» применяет современную технику и новые технологии строительства, что обеспечивает высокий уровень эффективности и безопасности работ. Так в настоящее время при строительстве Киевметростроем применяется:

- закрытый способ работ с помощью щитовых механизированных проходческих комплексов;
- открытый способ работ с разработкой грунта землеройной техникой;
- технология «стена в грунте», которая подразделяется на а) традиционную монолитную и б) отдельно стоящие секции – так называемые «барреты»;

- буровзрывной способ работ с применением самоходного бурового оборудования при отбойке крепких и крепчайших пород и др.

Подразделение Тоннельный отряд № 7 «Киевметростроя» в 2014 году начало строительство комплекса циклично-поточной технологии (ЦПТ) транспортирования руды с нижних горизонтов карьера ПАО «ИнГОК». Ввод комплекса в эксплуатацию запланирован в 2019 году.

Пуск комплекса ЦПТ откроет для предприятия ИнГОК новые возможности и повысит эффективность производства. Внедрение такой технологии на Ингулецком ГОКе даст возможность поддерживать достигнутую мощность карьера по добыче руды в долгосрочной перспективе, почти на 5 % снизить себестоимость товарного концентрата, уменьшить расстояние транспортирования руды автосамосвалами на 1,7...3,2 км.

Основные объекты комплекса сооружаются на горизонтах -240 м, -300 м и -360 м.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

В соответствии с разработанным проектом проходки наклонных стволов в ходе строительства комплекса ЦПТ на ИнГОКе предусматривается выполнить выемку около 183000 м³ горных пород, уложить 28000 м³ бетона, смонтировать 7000 т оборудования и металлоконструкций.

Проблема проходки Восточного и Западного наклонных стволов под углом 14...16° заключается в том, что отбиваемые с помощью буровзрывных работ породы относятся к весьма и исключительно крепким. При этом породы представлены силикат-магнетитовыми кварцитами с коэффициентом крепости по Протодюканову $f = 19...20$. Породы являются трудно взрываемыми. Поэтому для их отбойки необходимо было выбрать наиболее эффективную схему обуривания поперечного сечения выработки, величину заходки и глубину шпуров, тип и удельный расход ВВ и схему инициирования зарядов.

Таким образом, задача выбора эффективной технологии ведения буровзрывных работ и проходки наклонных конвейерных стволов в крепчайших горных породах является весьма актуальной.

Цель

Целью научно-технической работы является обоснование рациональных параметров и выбор эффективной технологии ведения буровзрывных работ при строительстве подземных горных выработок рудного ЦПТ в крепчайших породах на карьере Ингулецкого ГОКа.

Методика

В настоящее время развитие горно-капитальных работ на строительстве наклонных стволов на ИнГОКе обусловлено их углублением до горизонта -300 м (рис. 1).

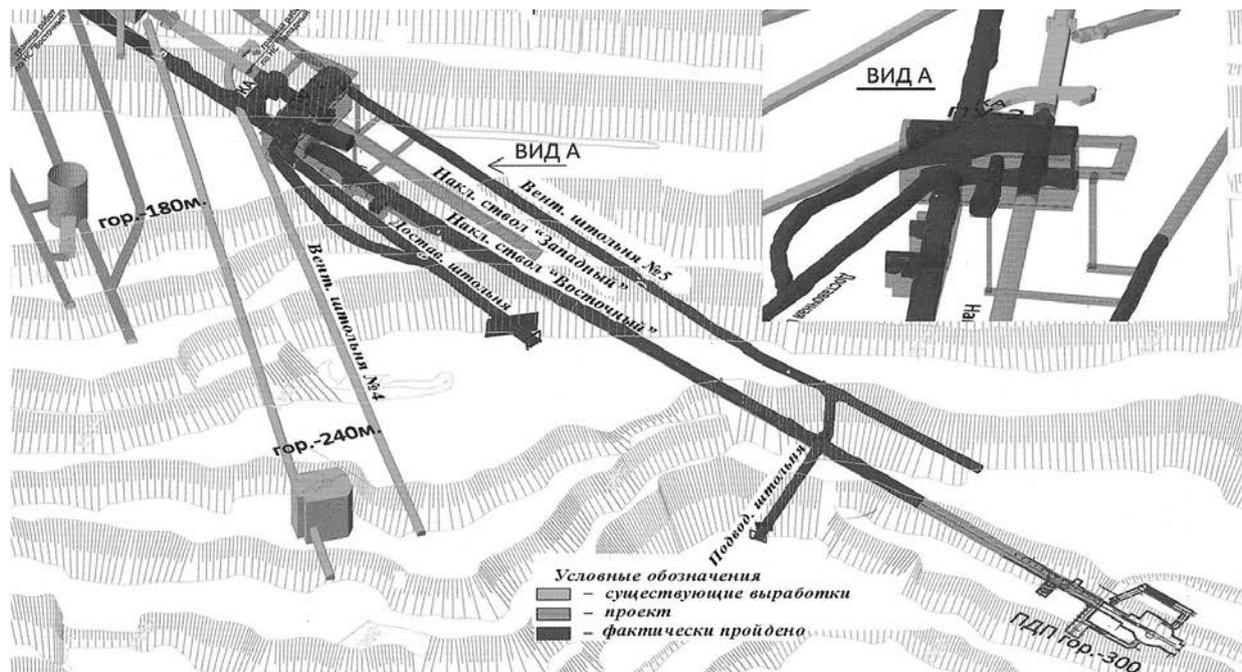


Рис. 1. Схема развития горно-капитальных работ на строительстве подземных горных выработок рудного ЦПТ ПАТ «ИнГОК»

Как видно из приведенной схемы до горизонта -240 м пройдены следующие выработки:

- доставочная штольня;
- вентиляционная штольня № 4;
- вентиляционная штольня № 5;
- наклонный ствол «Западный»;
- наклонный ствол «Восточный».

По проекту была запланирована проходка наклонного ствола «Восточный» от горизонта -240 м до горизонта -360 м с применением буровзрывного способа. При этом на горизонте -240 м был построен портал для ствола «Восточный», из которого осуществлялась вентиляция забойной выработки вентилятором глав-

ного проветривания и металлическими трубами диаметром 1,0 м.

Результаты

Как известно, наиболее эффективным способом проходки выработок в крепких и крепчайших породах является буровзрывной, теоретические основы и практический опыт применения изложены во многих научных работах и публикациях [1-13].

Технология проходки ствола «Восточный» с применением буровзрывных работ заключалась в бурении шпуров глубиной 2,5 м в забое с параметрами: ширина – 6,4 м, высота – 4,25 м, площадь – 24 м². При этом бурение шпуров выполнялось с помощью самоходных двухстреловых электрогидравлических установок типа Vuomer 288 и Vuomer M2S шведской компании Atlas Copco. Первая установка применялась для бурения шпуров в забое на величину заходки, а вторая – для бурения шпуров под анкера временного крепления.

Шпуры в забое располагались по схеме, представленной на рис. 2. Шпуры имели диа-

метр 45 мм и заряжались взрывчатым веществом Аммонит № 6ЖВ и Анемикс-П32/200.

Наименование шпуров, их количество, глубина, номера шпуров, величина заряда в шпуре и дина забойки приведены в табл. 1.

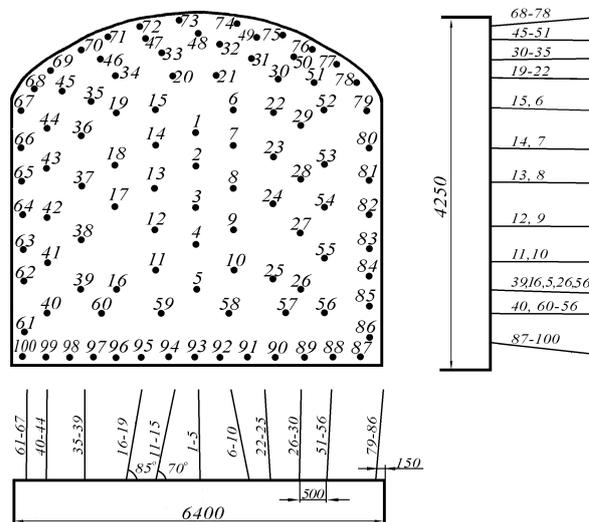


Рис. 2. Схема расположения шпуров в забое

Таблица 1

Параметры шпуровых зарядов при проходке ствола «Восточный»

№ п/п	Наименование шпуров	Количество, шт.	Глубина, м	№ шпуров	Величина заряда, кг			Длина забойки из глины, м
					Аммонит № 6ЖВ	Анемикс-П32/200	Итого	
1.	Разгрузочные	5	1,6	1-5	0,4	1,0	1,4	0,5
2.	Врубовые	10	2,4	6-15	0,4	1,6	2,0	0,7
3.	Вспомогательные	10	2,4	16-25	0,4	1,6	2,0	0,7
4.	Отбойные	35	2,2	26-60	0,4	1,4	1,8	0,7
5.	Оконтуривающие	26	2,2	61-86	0,4	1,4	1,8	0,7
6.	Оконтуривающие по подошве	14	2,2	87-100	0,4	1,6	2,0	0,7
Итого		100	221		40,0	144,8	184,8	

Диаметр патронов был равен 32 мм, длина 250 мм и масса 200 г. Поскольку проходка ствола осуществлялась в силикат-магнетитовых кварцитах высочайшей крепости, был принят

высокий показатель удельного расхода $q = 2,7...2,8$ кг/м³.

При общей массе зарядов на заходку в 184,8 кг её величина равна

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

$$l_{зax} = Q / q \cdot S,$$

где $Q = 184,8$ кг; q – удельный расход ВВ равный $3,6$ кг/м³; S – площадь поперечного сечения выработки, $S = 24$ м².

Тогда $l_{зax} = 184,8 / 3,6 \cdot 24 = 2,14$ м.

Следовательно, средняя глубина шпура при коэффициенте его использования, равном $0,85$, определяется следующей величиной

$$l_{ин} = l_{зax} / \kappa_{кин} = 2,14 / 0,85 = 2,5$$
 м.

Взрывание зарядов выполнялось с помощью неэлектрической системы инициирования «Импульс». При этом осуществлялось комбинированное применение способов короткозамедленного и замедленного взрывания. В схеме соединения зарядов было предусмотрено использование детонирующего шнура типа ДШЭ-9 с двумя электродетонаторами, подсоединяемых к нему и подрываемых из блиндажа с помощью взрывной машинки. К детонирующему шнуру подсоединялись устройства типа УНС-ШК с различными степенями замедления с патронами-боевиками, помещаемыми первыми у дна шпура.

Для выполнения предусмотренной схемы взрывания применяли подрыв групп зарядов в такой последовательности: первыми с замедлением 20 мс взрывались пять разгрузочных шпуров, вслед за ними подрывали десять врубовых зарядов с замедлением 60 мс, потом десять вспомогательных врубовых с замедлением 100 мс, 35 шт. отбойных зарядов взрывали с разделением их на группы, замедляемые через 200 , 300 , 500 мс. Далее подрывали 26 оконтуривающих шпуровых зарядов по группам с замедлением 800 , 1000 и 3000 мс. После них в заключительной фазе взрывали 14 оконтуривающих зарядов по подошве с замедлениями 5000 и 7000 мс.

Погрузка и доставка к порталу раздробленной породы выполнялась с помощью погрузочно-доставочной машины типа ST1030 Atlas Copco грузоподъемностью 20 тонн. При этом исключалось использование других видов погрузочно-транспортных машин, поскольку эта машина имеет высокую производительность и маневренность при погрузке и доставке крупнокусковых крепчайших пород.

Вентиляцию забоя производили от портала с помощью вентилятора главного проветривания

типа ВЦП-16 и системы металлических труб диаметром $800 \dots 1000$ мм.

Научная новизна и практическая значимость

Использование эмульсионных ВВ типа Анемикс-П32/200 позволило существенно снизить уровень загазованности забоя после взрыва, поскольку данное ВВ имеет близкий к нулю кислородный баланс. В результате количество вредных газов практически было сведено к минимуму за исключением тех частей заряда, которые снаряжались Аммонитом № 6ЖВ.

Крепление забоя осуществлялось по временной схеме путем бурения анкерных шпуров, навешивания к ним специальной сетки и выполнения набрызгбетона.

Постоянная крепь возводилась с отставанием от забоя на $30 \dots 50$ м путём обустройства опалубки и подачи за неё бетона.

Данная технология позволила высокопроизводительно пройти две капитальные выработки и закрепить их бетонной крепью с использованием в течение всего периода эксплуатации ЦПТ с горизонта -360 м до поверхности.

Таким образом, достигался высокий уровень качественного дробления крепчайших пород с минимальным сейсмическим воздействием на близрасположенные возводимые ранее объекты и реализация высокоэффективной технологии строительства капитальных горных выработок в сложных горнотехнических условиях.

Выводы

Как показал анализ выполненных исследований и результаты внедрения разработанной технологии ведения буровзрывных работ в сложных горнотехнических условиях, данная технология является наиболее эффективной и практически единственной для оперативного строительства наклонных горных выработок большого поперечного сечения. Её применение позволило исключить внедрение конвейерного и гусеничного транспорта для доставки породы от забоя к порталу. Кроме того, было обеспечено безопасное содержание проходимых выработок за счет комбинированного рамного, анкерного и набрызг-бетонного крепления особенно в местах геологических нарушений и сопряжений с вспомогательными выработками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ

1. Кутузов, Б. Н. Справочник взрывных работ [Текст] / Б. Н. Кутузов, В. М. Скоробогатов и др. Под общей ред. Б. Н. Кутузова. – Москва : Недра, 1988. – 511 с.
2. Кутузов, Б. Н. Разрушение горных пород взрывом [Текст] / Б. Н. Кутузов. – Москва : Изд-во МГИ, 1992. – 516 с.
3. Кутузов, Б. Н. Безопасность взрывных работ в промышленности [Текст] / Б. Н. Кутузов, А. М. Ильин, А. Е. Умнов и др. Под общей ред. Б. Н. Кутузова. – Москва : Недра, 1992. – 544 с.
4. Крысин, Р. С. Модели взрывного дробления горных пород : монография [Текст] / Р. С. Крысин, В. В. Новинский. – Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2006. – 144 с.
5. Полянкин, Г. Н. Буровзрывные работы в тоннелестроении [Текст] / Г. Н. Полянкин. – Москва : 2007. – 375 с.
6. Бызов, В. Ф. Взрывное разрушение горных пород : монография [Текст] / В. Ф. Бызов, В. А. Колосов, П. И. Федоренко. – Кривой Рог : Издательский центр ГВУЗ «КНУ», 2012. – 407 с.
7. Способы подрывания зарядов вибухових речовин : навчальний посібник [Текст] / В. В. Соболев, А. В. Чернай, В. М. Чебенко, О. В. Скобенко. – Дніпропетровськ : «Лізунов-ПРЕС», 2013. – 88 с.
8. Фокин, В. А. Отработка параметров буровзрывных работ при проходке железнодорожного тоннеля [Текст] / В. А. Фокин // Метро и тоннели. – 2013. – № 6. – С. 14-18.
9. Кириченко, А. Л. Исследование детонационных характеристик шпуровых зарядов патронированных ЭВМ [Текст] / А. Л. Кириченко, Е. Б. Устименко, Л. Н. Шиман, В. В. Политов // Науковий вісник НГУ. – 2012. – Вип. 6(132). – С. 37-41.
10. Petrenko, V. D. Features of drilling-and-blasting at construction of Beskidskiy Tunnel. / V. D. Petrenko, O. L. Tiutkin, S. T. Proskurnia // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – № 5 (65), 2016. – pp. 178-185.
11. Соболев, В. В. Технологія та безпека виконання підричних робіт : навчальний посібник для ВНЗ [Текст] / В. В. Соболев, Р. М. Терешук, О. Є. Григор'єв. – Дніпро : НГУ, 2017. – 314 с.
12. Пат. 114370 Україна, МПК F42D 3/04 (2006.01). Спосіб зниження сейсмічної дії при підриванні зарядів / Петренко В. Д., Тютькін О. Л., Кулаженко Є. Ю., Проскурня С. Т., Глухов О. О. (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2016 08595 ; заявл. 05.08.2016 ; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5. – 4 с.
13. Петренко, В. Д. Параметры и технология экспериментальных взрывов при проходке левого перегонного тоннеля метрополитена в г. Днепре [Текст] / В. Д. Петренко, Е. М. Шатайкин, А. М. Штандарин, А. Л. Тютькин, В. П. Куприй // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – № 13. – С. 95-102

В. І. ПЕТРЕНКО¹, Є. М. ШАТАЙКІН², В. Д. ПЕТРЕНКО^{3*}, О. Л. ТЮТЬКІН⁴

¹ Публічне акціонерне товариство «Київметробуд», вул. Прорізна, 8, Київ, Україна, 01601, тел. +38 (044) 455 23 00, ел. пошта petrenko@metrobud.kiev.ua

² Тунельний загін № 14 ПАТ «Київметробуд», вул. Каштанова, 11, Дніпро, Україна, 49051, тел. +38 (067) 501 04 16, ел. пошта shat.g@ukr.net

^{3*} Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, ел. пошта petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

⁴ Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, ел. пошта alexeyutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

ПРОХОДКА ПОХИЛИХ СТОВБУРІВ ЦИКЛІЧНО-ПОТОКОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НА ИНГУЛЕЦЬКОМУ ГЗК З ВИКОРИСТАННЯМ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ

Мета. Виконати оцінку ефективності способів проходки похилих стовбурів циклічно-поточної технології на Ингулецькому ГЗК з застосуванням буровибухових робіт при відбійці найміцніших скельних порід. **Методика.** Для досягнення поставленої цілі розглянуті та аналізуються основні фактори, що впливають на реалізацію ефективної технології проходки похилих стовбурів. **Результати.** Обґрунтовано рівень ефектив-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ності розробленої технології. **Наукова новизна.** Розроблені раціональна схема та параметри буровибухових робіт з комбінованим застосуванням короткочасного та затримки вибуху шпурових зарядів. **Практична значимість.** Впроваджені раціональні параметри буровибухових робіт при будівництві нахилених стовбурів.

Ключові слова: циклічно-поточна технологія; похилі стволи; параметри буровибухових робіт; короткоуповільнене та уповільнене підривання; ефективність; безпечність.

V. I. PETRENKO¹, E. M. SHATAYKIN², V. D. PETRENKO^{3*}, A. L. TIUTKIN⁴

¹ Public Joint Stock Company "Kievmetrostroy", 8 Proreznaya Str., Kyiv, Ukraine, 01601, tel. +38 (044) 455 23 00, e-mail petrenko@metrobud.kiev.ua

² Tunnel detachment No. 14 PJSC "Kievmetrostroy", 11 Kashtanova Str., Dnepr, Ukraine, 49051, tel. +38 (067) 501 04 16, e-mail shat.g@ukr.net

^{3*} Department "Bridges and tunnels", Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 708 50 69, e-mail petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

⁴ Department "Bridges and tunnels", Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 290 45 18, e-mail alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

DRIVING OF INCLINED SHAFTS OF CYCLIC-LINE PRODUCTION TECHNOLOGY IN INGULETS IRON ORE ENRICHMENT WORKS WITH USE OF DRILLING AND BLASTING OPERATIONS

Purpose. Implement an estimate of the driving methods efficiency of inclined shafts of cyclic-line production technology at Ingulets Iron Ore Enrichment Works with use of drilling and blasting operations when breaking the strongest rocks. **Methodology.** In order to achieve this purpose, the main factors influencing the implementation of the effective technology of driving the inclined shafts. **Findings.** The level of efficiency of the developed technology is substantiated. **Originality.** The rational scheme and parameters of drilling and blasting operations with a combined application of short- delayed and delayed explosion of borehole charges have been developed. **Practical value.** The rational parameters of blasting operations during the construction of inclined shafts have been integrated.

Keywords: cyclic and line production technology; parameters of drilling and blasting operations; short-delayed and delayed blasting; effectivity; safety

REFERENCES

1. Kutuzov B. N., Skorobogatov V. M. *Spravochnik vzryvnykh rabot* [Reference book of explosive works]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 511 p.
2. Kutuzov B. N. *Razrushenie gornykh porod vzryvom* [Destruction of rocks by explosion]. Moscow, MGI Publ., 1992. 516 p.
3. Kutuzov B. N., Ilin A. M., Umnov A. Ye. *Bezopasnost vzryvnykh rabot v promyshlennosti* [Safety of explosive works in the industry]. Moscow, Nedra Publ., 1992. 544 p.
4. Krysin R. S., Novinskiy V. V. *Modeli vzryvnogo drobleniya gornykh porod* [Models of explosive crushing of rocks]. Dnepropetrovsk, ART-PRESS Publ., 2006. 144 p.
5. Polyankin G. N. *Burovzryvnye raboty v tonnelestroenii* [Drilling-and-blasting works in tunneling]. Moscow, 2007. 375 p.
6. Byzov V. F., Kolosov V. A., Fedorenko P. I. *Vzryvnoe razrushenie gornykh porod* [Explosive destruction of rocks]. Krivoj Rog, GVUZ "KNU" Publ., 2012. 407 p.
7. Soboliev V. V., Chernai A. V., Chebenko V. M., Skobenko O. V. *Sposoby pidryvannia zariadiv vybukhovyykh rechovyh* [Ways of charges detonation of explosives: training appliance]. Dnipropetrovsk, «Lizunov-PRES» Publ., 2013. 88 p.
8. Fokin V. A. *Otrabotka parametrov burovzryvnykh rabot pri prohodke zheleznodorozhnogo tonnelya* [Working off of drilling-and-blasting works parameters at a driving of a railway tunnel]. *Metro i tonneli – Metro and tunnels*, 2013, vol. 7, pp. 14-18.

9. Kirichenko A. L., Ustimenko Ye. B., Shiman L. N., Politov V. V. Issledovanie detonatsionnykh kharakteristik shpurovykh zaryadov patronirovannykh EVM [Research of detonation characteristics shpurovykh of charges patronirovannykh of the computer]. *Naukovyi visnyk NGU – Scientific bulletin of National Mining University*, 2012, issue 6(132), pp. 37-41.
10. Petrenko V. D., Tiutkin O. L., Proskurnia S. T. Features of drilling-and-blasting at construction of Beskidskiy Tunnel. *Science and Transport Progress. [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport]*. 2016. issue. 5 (65), pp. 178-185.
11. Soboliev V. V., Tereshchuk R. M., Hryhoriev O. Ye. *Tekhnolohiia ta bezpeka vykonannia pidryvnykh robot* [Technology and security to perform blasting operations]. Dnipro, Ministry of Education and Science of Ukraine. National Mining University Publ., 2017. 314 p.
12. Petrenko V. D., Tiutkin O. L., Kulazhenko Є. Ju., Proskurnya S. T., Gluhov O. O. *Sposib znyzhennia seismichnoi dii pry pidryvanni zariadiv* [A method of seismic action reducing when blasting charges] Patent UA. no u 2016 08595, 2016.
13. Petrenko V. D., Shataykin Ye. M., Shtandarin A. M., Tyutkin A. L., Kupriy V. P. Parametry i tekhnologiya eksperimentalnykh vzryvov pri prokhodke levogo peregonnogo tonnelya metropolitena v g. Dnepre [Parameters and technology of experimental explosions during the driving of the left running tunnel of the underground in the city of Dnepr]. *Elektromagnitnaya sovmestimost i bezopasnost na zheleznodorozhnom transporte – Electromagnetic compatibility and safety in railway transport*, 2017, issue. 13. pp. 95-102.

Статья рекомендована к публикации проф., д.т.н., Ефремовым Э. И. (Украина), проф., д.т.н., Соболевым В. В. (Украина).

Поступила в редколлегию 20.08.2017.

Принята к печати 25.09.2017.