

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271.333

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-4-5-10

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ БОРТОВ КАРЬЕРОВ С ЦЕЛЬЮ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ АВАРИЙ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Свиридова Т.В., Боброва О.Б., Волкова Е.А., Перятинский А.Ю., Сомова Ю.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация

Постановка задачи (актуальность работы): в статье предложена методика расчета устойчивости откосов с учетом объемно-напряженного состояния пород с целью предотвращения аварий и чрезвычайных ситуаций на горных предприятиях. Горнодобывающая отрасль отличается большим количеством опасных и вредных производственных факторов, угрожающих жизни и здоровью горных рабочих. Насыщенность рабочего пространства устройствами, машинами и механизмами, возможность появления опасных газов, пожаров и обрушений горных пород – все это значительно осложняют трудовой процесс работников горных предприятий. Каждая четвертая авария на горных предприятиях – обрушение горных пород. В шахтах особую опасность представляют участки выработок, на которых возможны обрушения вследствие неправильно выбранных параметров горных работ, а при эксплуатации карьеров значительную опасность создают оползни и обрушения уступов и бортов карьеров. Причинами возникновения оползней на карьерах являются недостаточная обоснованность параметров откосов бортов карьеров и отвалов; несоблюдение проектных параметров; нарушение параметров технологического процесса. **Цель работы:** совершенствование системы предупреждения ЧС на стадии проектирования для снижения количества обрушений и оползней на горных предприятиях. **Новизна:** существующие инженерные методики ВНИМИ, которые широко используются при проектировании открытой и комбинированной разработки месторождений, не учитывают напряженно-деформированное состояние массива и, следовательно, не позволяют обоснованно выбирать оптимальные параметры погашения откосов бортов. Расчеты устойчивости ведутся по круглоцилиндрической или прямолинейной линии скольжения. Однако практика показывает, что деформации бортов карьеров представляют собой сферическую поверхность. **Результат:** в предложенной методике расчета объемного коэффициента запаса устойчивости откоса использовано суммирование удерживающих и сдвигающих сил с учетом изменчивости их направлений по сферической поверхности скольжения. **Практическая значимость:** совершенствование системы предупреждения ЧС на стадии проектирования для снижения количества обрушений и оползней на горных предприятиях. В статье также проведен анализ существующих методов расчетов устойчивости откосов бортов карьеров.

Ключевые слова: авария, чрезвычайная ситуация, карьер, оползень, коэффициент запаса устойчивости, поверхность скольжения.

Введение

Предприятия горнодобывающей отрасли отличаются большим количеством опасных и вредных производственных факторов, угрожающих жизни и здоровью горных рабочих.

В первую очередь это насыщенность рабочего пространства устройствами, машинами и механизмами, во вторых – возможность появления опасных газов, пожаров и, конечно же, обрушений горных пород. Все это значительно осложняет трудовой процесс работников горных предприятий.

© Свиридова Т.В., Боброва О.Б., Волкова Е.А., Перятинский А.Ю., Сомова Ю.В., 2016

Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

Основными предпосылками возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) на горных предприятиях являются:

- высокая эксплуатационная нагрузка на технические устройства, используемые в технологическом процессе;
- высокий уровень износа основных и производственных фондов и систем защиты;
- нарушение технологической дисциплины при разработке пластов угля, склонных к самовозгоранию;

- сложные горно-геологические условия при добыче полезных ископаемых, выраженные тектоническими нарушениями;

- недостаточный контроль за ранними стадиями возникновения эндогенных пожаров [1].

Так, анализ деятельности Военизированной горноспасательной части МЧС России (ВГСЧ МЧС России) за период 2009–2014 годов показывает, что подразделениями ликвидировано 265 аварий. Из них подземных пожаров – 50, пожаров на поверхности обслуживаемых объектов – 35, взрывов и вспышек метана – 25, обрушений горной массы – 61, прочих аварий – 94 (рис. 1–3) [1].

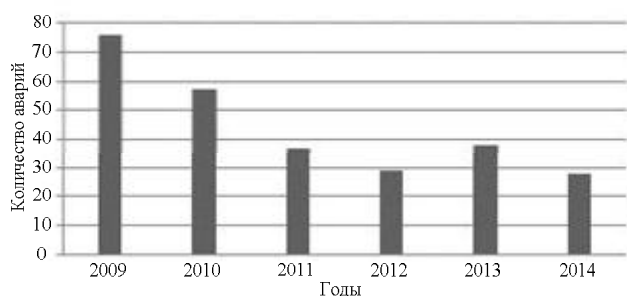


Рис. 1. Аварии, ликвидированные подразделениями ВГСЧ МЧС России за период 2009–2014 годы

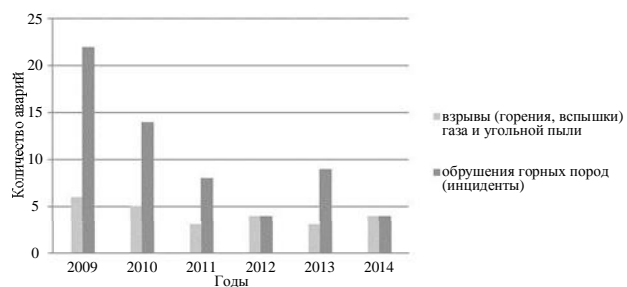


Рис. 2. Взрывы и обрушения, ликвидированные подразделениями ВГСЧ МЧС России за период 2009–2014 годы

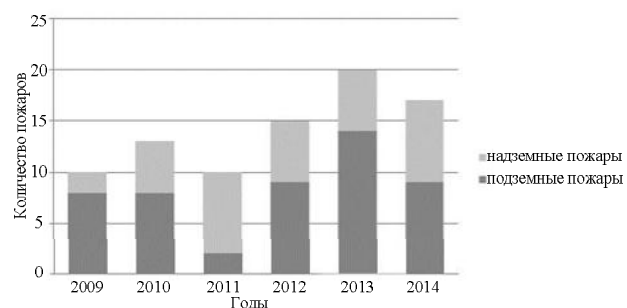


Рис. 3. Пожары, ликвидированные подразделениями ВГСЧ МЧС России за период 2009–2014 годы

В настоящее время подразделениями ВГСЧ обслуживается 998 опасных производственных объектов, в том числе: 100 угольных шахт (из них к

опасным по газу относятся 90 шахт), 82 подземных объекта по добыче полезных ископаемых, 370 объектов по добыче полезных ископаемых открытым способом, 70 объектов строительства подземных сооружений, 122 предприятия по переработке и обогащению полезных ископаемых и 254 прочих опасных производственных объектов (рис. 4) [1].

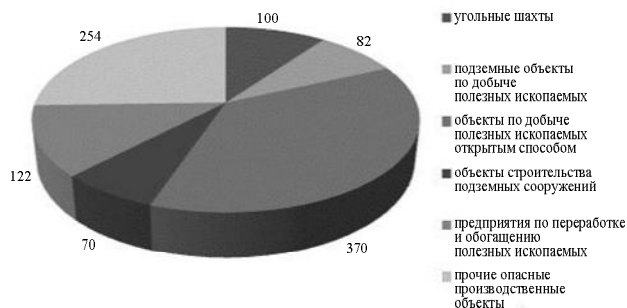


Рис. 4. Объекты, обслуживаемые подразделениями ВГСЧ МЧС России

Из проведенного анализа следует, что каждая 4-я авария на горных предприятиях – обрушение горных пород. Основную долю опасных производственных объектов составляют предприятия по добыче полезных ископаемых открытым и подземным способом.

В шахтах особую опасность представляют участки выработок, на которых возможны обрушения вследствие неправильно выбранных параметров горных работ, а при эксплуатации карьеров значительную опасность создают оползни и обрушения уступов и бортов карьеров.

Так, за последние 30 лет произошло большое количество катастрофических оползней при добыче полезных ископаемых открытым способом (см. таблицу) [2].

Оползни открытых горных выработок и отвалов

Год	Местоположение	Объем сошедшей породы, млн м ³
1985	Внешний отвал буроугольного карьера «Меркур», тер. бывш. ЧССР	120–140
1987	Борт карьера №3 Прикаспийского ГМК, бывш. СССР	25
1990	Внешний отвал буроугольного карьера «Иржи», тер. бывш. ЧССР	50–70
1992	Внешний отвал Норильского ГМК, Россия	60
2000	Нерабочий борт карьера «Лучегорский-2», Россия	1,5
2002	Борт карьера Кумтор, Кыргызстан	2,7
2003	Внутренний отвал разреза «Павловский-2», Россия	1,7
2004	Борт буроугольного разреза «Ургуйский», Россия	1,0
2005	Внутренний отвал разреза «Северная депрессия», Россия	3

Причинами возникновения оползней на карьерах являются недостаточная обоснованность параметров откосов бортов карьеров и отвалов; несоблюдение проектных параметров; нарушение параметров технологического процесса.

Таким образом, для снижения количества обрушений и оползней на горных предприятиях необходимо в первую очередь совершенствование системы предупреждения ЧС именно на стадии проектирования.

При проектировании параметров бортов карьеров, с одной стороны, необходимо обосновать угол откоса, который позволит сократить объем вскрышных пород, а с другой стороны, он должен соответствовать требованиям устойчивости.

В практике проектирования карьеров применяются различные методы расчета устойчивости бортов карьеров.

Анализ существующих методов и схем расчета, которыми пользуются проектные организации, позволил выявить их достоинства и недостатки, а также определить условия их применения [3,13].

Так, метод В.В. Соколовского – Ю.Н. Малюшицкого дает удовлетворительные результаты при высоте откосов от 30 до 80 м, при средних значениях сцепления пород до 10 т/м^2 и средних значениях угла внутреннего трения более 5 град, при незначительных колебаниях величин объемного веса пород. Данный метод не учитывает естественные поверхности ослабления. Поэтому при наличии в толще пород слабых контактов и различных нарушений следует производить проверочные расчеты другими методами. Метод Соколовского-Малюшицкого дает более пологие углы, чем метод ВНИМИ.

Наиболее пологий угол получается при расчете по методу Н.Н. Маслова, где для расчета вводится коэффициент сопротивления сдвигу. Это связано с тем, что на глубоких карьерах с глубиной резко увеличиваются сжимающие нагрузки, поэтому получается вогнутый профиль с очень пологим углом в нижней части. Данный метод рекомендуется применять для установления ориентировочного профиля откоса, а также для определения углов откосов отдельных уступов.

Метод круглоцилиндрической поверхности скольжения дает результаты, близкие к результатам по методу ВНИМИ. Применим он для определения устойчивости откосов бортов, сложенных из пород, в которых предполагаемая поверхность скольжения близка к круглоцилиндрической.

Заниженные коэффициенты запаса устойчивости откосов дает метод горизонтальных сил Н.Н. Маслова-Берера. Принятый в этом

методе неточный способ проектирования сил на горизонтальную плоскость приводит к большому увеличению их в области призмы активного давления.

По сравнению с другими методами метод ВНИМИ является более универсальным. Его можно применять при различных условиях залегания горных пород, наличии поверхностей ослабления и различной глубине разработки. В настоящее время именно этот метод является основным методом расчета устойчивости откосов бортов карьеров при открытой и комбинированной разработке месторождений [3, 11, 12].

В настоящее время углы нерабочих бортов карьеров составляют 20–40 град, однако зарубежный опыт показывает, что углы нерабочих бортов карьеров, сложенных скальными породами, могут составлять до 55 град.

Обосновать такие углы существующими методиками расчета устойчивости невозможно. Существующие инженерные методики ВНИМИ, которые широко используются при проектировании открытой и комбинированной разработки месторождений, не учитывают напряженно-деформированное состояние массива и, следовательно, не позволяют обоснованно выбирать оптимальные параметры погашения откосов бортов.

В настоящее время для оценки устойчивости откосов с учетом их напряженного состояния применяются строгие математические подходы с некоторыми упрощающими допущениями о виде напряженного состояния, определения формы и положения поверхности скольжения.

Расчеты устойчивости ведутся по круглоцилиндрической или прямолинейной линии скольжения. Однако практика показывает, что деформации бортов карьеров представляют собой сферическую поверхность [14].

Для инженерных расчетов объемного коэффициента запаса устойчивости откоса, не подработанного и подработанного подземными выработками, может быть использовано суммирование удерживающих и сдвигающих сил с учетом изменчивости их направлений по сферической поверхности скольжения и с учетом изменения физико-механических свойств массива пород [4, 5, 8].

Суммирование удерживающих и сдвигающих сил с учетом изменчивости их направлений по изогнутой поверхности скольжения предложено в работах [6, 9, 10].

Этот метод можно применить и для подработанных бортов карьеров с учетом изменения физико-механических свойств массива – сцепления и угла внутреннего трения (рис. 5).

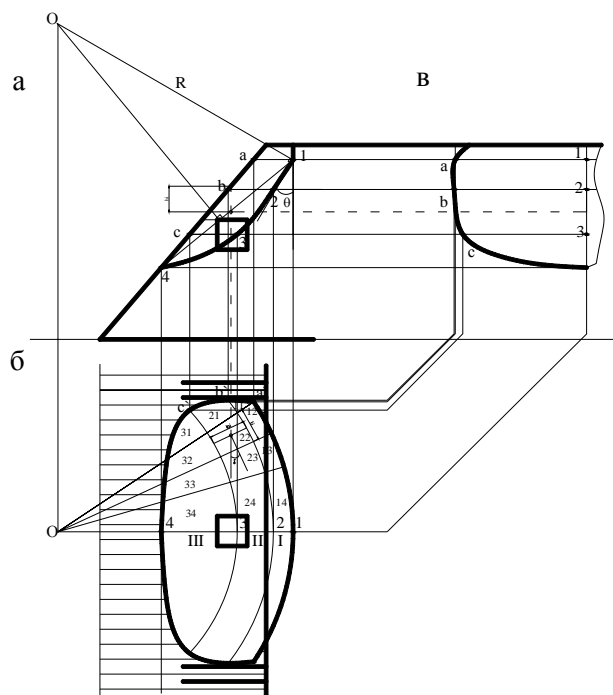


Рис. 5. Схема для расчета коэффициента запаса устойчивости по пространственной, наиболее вероятной поверхности скольжения подработанного борта

При расчете коэффициента запаса устойчивости по предлагаемой методике рекомендуется в сегментах, в которых расположены подземные выработки, через которые проходит линия скольжения, сцепление принять равным 0, угол внутреннего трения снизить на процентное соотношение длины линии скольжения, проходящей через выработку, к общей длине линии скольжения (обычно 7–30%). В соседних с выработками сегментах призмы скольжения сцепление и угол внутреннего трения необходимо снизить на аналогичное процентное соотношение (в среднем 18%)[7].

Результаты исследования и их обсуждения

По предлагаемой методике были рассчитаны коэффициенты запасов устойчивости откосов бортов карьеров медно-колчеданных месторождений. Результаты расчетов показали, что коэффициент запаса устойчивости, рассчитанный по методике с учетом объемных сил, выше рассчитанного по методике ВНИМИ на 20–25%. Данные результаты позволяют принять угол откоса более крутым с достаточным запасом устойчивости и в то же время уменьшить экономические затраты по добыче полезного ископаемого.

Заключение

Применение предложенных методик по обоснованию параметров откосов бортов карьеров, учитывающих напряженно-деформированное состояние массива, и разработка новых, учитывающих тектонические силы, позволит снизить количество оползней и обрушений при различных способах добычи полезных ископаемых, в том числе и при комбинированной разработке месторождений.

Таким образом, станет возможным совершенствование системы предупреждения аварий и ЧС на горных предприятиях именно при обосновании основных параметров разработки на стадии проектирования.

Список литературы

1. Статистические данные деятельности подразделений военизированных горноспасательных частей за период 2009–2014 годы: [Электронный ресурс]. URL: <http://www/mchs.gov.ru> (дата обращения: 22.09.2015).
2. Демин А.М. Оползни в карьерах: анализ и прогноз. М.: ГЕОС, 2009. 79 с.
3. Мануйлов П.И. Из опыта проектирования устойчивых откосов бортов карьеров // Вопросы устойчивости и структуры массива горных пород при осушении рудных месторождений: [сборник статей] / Гос. ком. по черной и цвет. металлургии при Госплане СССР; [ред. М. Ф. Монтрель]. М.: Недра, 1965. С. 100–114.
4. Свиридова Т.В. Применение методики расчета устойчивости откосов с учетом объемно-напряженного состояния пород для предупреждения оползневых процессов // Концепт. 2014. Т. 21. С. 166–170.
5. Гавришев С.Е., Кузнецова Т.С., Некерова Т.В. Методика обоснования параметров бортов карьеров при выемке прибортовых запасов подземным способом // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 1. С. 14–17.
6. Черчинцева Т.С., Кузнецова Т.С. Геомеханические основы прогноза объемных деформаций и устойчивости откосов горных пород: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007.
7. Некерова Т.В. Геомеханическое обоснование параметров бортов карьеров при комбинированной разработке рудных месторождений: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2010. 163 с.
8. Мочалов А.М., Павлович А.А., Кубарев В.Ю. Геометрическое сложение сил по наиболее напряженной поверхности скольжения при оценке устойчивости бортов карьеров // Записки горного института. 2013. Т. 204. С. 110–116.
9. Оценка общей устойчивости бортов Сибайского карьера при отработке законтурных запасов руды подземным способом / Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Кравчук Т.С., Павлова Е.В., Погорелов А.Ю. // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ. 2013. С. 155–163.
10. Оценка устойчивости бортов карьера «Камаган» при подземной доработке месторождения / Мажитов А.М., Корнеев С.А., Пыталев И.А., Кравчук Т.С. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 15. С. 205–215.
11. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Принципы проектирования и реализации горнотехнических систем с полным цик-

- лом освоения рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 27. С. 3–11.
12. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Геотехнологические и геомеханические особенности перехода от открытых к подземным работам на больших глубинах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 56. С. 67–79.
13. Еременко В.А., Рыльникова М.В., Есина Е.Н. Мониторинг

- напряженно-деформированного состояния структурно нарушенного и удароопасного массива горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 15. С. 105–116.
14. Демин А.М., Горбачева Н.П., Рулев А.Б. Механизм формирования поверхности скольжения оползня // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 8. С. 309–312.

Материал поступил в редакцию 21.10.15

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-4-5-10

ENSURING THE STABILITY OF PIT SLOPES IN ORDER TO PREVENT ACCIDENTS AND EMERGENCIES

Tatyana V. Sviridova – Ph.D. (Eng.), Associate Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: ntv_3110@mail.ru

Olga B. Bobrova – Assistant Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: obproshkina@mail.ru

Elena A. Volkova – Ph.D. (Eng.), Associate Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: valena.dom@rambler.ru

Aleksey Yu. Peryatinsky – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Acting Head of Department of Industrial Ecology, Health and Safety

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Yulia V. Somova – Ph.D. (Eng.), Associate Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: yuliya.somova.82@mail.ru

Abstract

Problem Statement (Relevance): This article looks at the method of engineering stable pit slopes based on the three-dimensionally stressed state of rock and aimed at the prevention of accidents and emergencies at mining sites. Mining industry is characterized by a great number of hazardous factors posing threat to the lives and health of mining personnel. Such hazardous factors, which turn mining operations into a highly complicated work process, include a great number of machinery concentrated in the working area, as well as the risk of being exposed to hazardous gases, fires and rockslides. Rockslides constitute every fourth accident that happens in mining. The biggest hazard with underground mines includes the areas where collapses can occur due to incorrect mining operation parameters selected, whereas in open pits it is slopes and walls that can cause landslides and collapses. The causes of landslides in open pit mining include poorly designed pit slopes and waste dumps; failure to comply with the design parameters; violation of the process parameters. **Objectives:** The objective is to improve the emergency prevention system at the design stage with the ultimate goal of reducing the number of collapses and landslides at mining sites. **Originality:** The existing engineering methods of VNIMI, which are extensively used in the design of open-pit and combined mining processes, tend to overlook the stress-strain state of the rock mass and therefore cannot be relied on when selecting the slope reclamation parameters. Stability calculations are carried out based on a straight line or a circular cylindrical line of slide.

However, as the practice shows, due to strain the pit slopes have a spherical shape. **Findings:** The proposed method for calculating the three-dimensional slope stability safety factor is based on adding together the holding and shear forces while allowing for the varying force direction on a spherical slide surface. **Practical Relevance:** The mining emergency prevention system improved at the design stage may reduce the number of collapses and landslides at mining sites. The authors also analysed the existing methods used to calculate the pit slope stability.

Keywords: Accident, emergency, open pit, landslide, stability factor, slide surface.

References

1. The operational statistics of mine rescue brigades for the period of 2009 to 2014. Available at: <http://www/mchs.gov.ru> (Accessed September 22, 2015).
2. Demin A.M. *Opolzni v kar'erakh: analiz i prognoz* [Landslides in open pits: analysis and forecasting]. Moscow: GEOS, 2009, 79 p.
3. Manuylov P.I. From the experience of designing stable pit slopes. *Voprosy ustojchivosti i struktur y massiva gornyh porod pri osusheni irudnyh mestorozhdenij: sbornik statey* [The problems of rock mass stability and structure during ore field drainage: A collection of papers]. Ed. by M.F. Montrel. Moscow: Nedra, 1965, pp. 100–114.
4. Sviridova T.V. The application of the slope stability design method allowing for the three-dimensionally stressed state of rock and aimed at preventing landslides. *Concept*. 2014, vol. 21, pp. 166–170.
5. Gavrishv S.E., Kuznecova T.S., Nekerova T.V. The methods of justifying pit slope parameters when mining the near-slope

- rock. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2010, no. 1, pp. 14–17.
6. Cherchinceva T.S., Kuznecova T.S. *Geomekhanicheskie osnovy prognoza obemnykh deformatsyi ustoychivosti otkosov gornyx porod: monografiya* [The geomechanical basis for three-dimensional strain and slope stability forecasting: monograph]. Magnitogorsk: NMSTU, 2007.
 7. Nekerova T.V. *Geomekhanicheskoe obosnovanie parametrov bortov kar'erov pri kombinirovannoy razrabotke rudnykh mestorozhdenij. Diss. kand. tekhn. nauk* [The geomechanical justification of pit slope parameters in combined mining. Ph.D. dissertation]. Magnitogorsk, 2010, 163 p.
 8. Mochalov A.M., Pavlovich A.A., Kubarev V.Yu. A composition of geometric forces acting on the most extreme sliding surfaces for the evaluation of the pit slope stability. *Zapiski gornogo instituta*. [Mining Institute Notes]. 2013, no. 204, pp. 110–116.
 9. Gavrishov S.E., Zaliadnov V.Yu., Kravchuk T.S., Pavlova E.V., Pogorelov A. Yu. The analysis of the overall slope stability of the Sibaiskiy quarry during the underground mining of ore outside the pit envelope. *Marksheiderskoe i geologicheskoe obespechenie gornyx rabot* [Surveying and geological support in mining]. 2013, pp. 155–163.
 10. Mazhitov A.M., Korneev S.A., Pytalev I.A., Kravchuk T.S. The analysis of the slope stability at the Kamagan quarry in the underground clean-up operations. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten* [Mining bulletin]. 2015, no. 15, pp. 205–215.
 11. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Full-cycle ore mining system design and implementation principles. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten* [Mining bulletin]. 2013, no. 27, pp. 3–11.
 12. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. The geotechnological and geomechanical features of the transition from opencast to deep underground operations. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten* [Mining bulletin]. 2015, no. 56, pp. 67–79.
 13. Eremenko V.A., Rylnikova M.V., Esina E.N. Monitoring of the stress-strain state of deformed and bump hazardous rock mass. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten* [Mining bulletin]. 2015, no. 15, pp. 105–116.
 14. Demin A.M., Gorbacheva N.P., Rulev A.B. The forming mechanism of the landslide slip surface. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten* [Mining bulletin]. 2009, no. 8, pp. 309–312.

Received 21/10/15

Обеспечение устойчивости откосов бортов карьеров с целью предупреждения аварий и чрезвычайных ситуаций / Свиридова Т.В., Боброва О.Б., Волкова Е.А., Перятинский А.Ю., Сомова Ю.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №4. С. 5–10. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-4-5-10

Sviridova T.V., Bobrova O.B., Volkova E.A., Peryatinsky A.Yu., Somova Yu.V. Ensuring the stability of pit slopes in order to prevent accidents and emergencies. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 4, pp. 5–10. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-4-5-10
