

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ РИСКА, СПОСОБСТВУЮЩИЙ ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ПОТЕРЬ И ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

С.В. Чмыхалова

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва

Аннотация: Предотвращение потерь и снижение возможной опасности является наиболее актуальной и важной задачей при добыче полезных ископаемых. Реализация данной задачи происходит в течение всего жизненного цикла горного производства, начиная от разработки проектной документации и заканчивая этапом модернизации или ликвидации отработанного горного производства. Для горного производства, рассматриваемого как опасный производственный объект [1], необходима разработка современной методологии оценки риска, идентификации аварий с целью последующего анализа, разработки и внедрения в производственный процесс мероприятий по снижению рисков. Для решения этой задачи наиболее перспективным методом является анализ техногенного риска, который необходимо разработать применительно к объектам горного производства, способам и средствам добычи полезных ископаемых. Горное производство целесообразно рассматривать как природно-техническую систему, в которой объектом разработки является природная среда. Полезное ископаемое (ПИ) является частью природной среды, воздействие на нее оказывается техническим оборудованием и технологическими процессами, необходимыми для добычи полезных ископаемых [2]. Для анализа риска горное производство необходимо представлять как сложную систему, состоящую из следующих подсистем: природной, технологической, технической, организационной, социальной, психологической и др. В данном исследовании рассматриваются природно-технологические риски. Для каждой подсистемы анализируются факторы, влияющие на вероятность возникновения аварийных ситуаций и величина ожидаемого ущерба, после этого предлагаются меры по снижению риска.

Ключевые слова: структура опасностей, комплексный подход, риск, горное производство, природно-техническая система, подсистемы, факторы опасности, анализ, оценка риска.

Для цитирования: Чмыхалова С.В. Системный подход к оценке риска, способствующий предотвращению потерь и повышению безопасности горного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1. – С. 146–153. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-146-153.

Loss prevention and safety improvement in the mining industry: main directions

S.V. Chmykhalova

National university of science and technology «MISIS», Moscow, Russia

Abstract: Preventing losses and reducing possible hazards is the most urgent and important task in mining. Implementation of this task occurs throughout the entire life cycle of mining production, starting from the development of project documentation and ending with the stage of modernization or liquidation of spent mining production. For mining production as a dangerous production facility [1], it is necessary to develop a modern methodology for risk assessment, accident identification for subsequent analysis, development and implementation of measures to reduce it in the production process. To solve this problem, the most promising method is the analysis of technogenic risk, which must be developed in relation to mining facilities, methods and means of mining. Mineral resources are part of the natural environment, the impact on the natural environment is provided by technical equipment and technological processes necessary for the extraction of minerals [2]. For risk analysis, mining production must be represented as a complex system consisting of the following subsystems: natural; technological; technical; organizational, social, psychological, etc. This study examines natural and technological risks. For each subsystem, factors affecting the probability of accidents and the amount of expected damage are analyzed, and then measures to reduce the risk are proposed. Risk assessment should be part of a comprehensive approach to business management. A systematic and comprehensive approach to risk assessment will allow you to take possible measures to eliminate (reduce) the risk. A systematic approach to risk assessment helps to prevent losses and improve safety in the mining industry by taking better account of possible situations, identifying those responsible for the risk, prioritizing the urgency of execution, and evaluating the risk justification scale.

Key words: Risk structure, natural and technical system, analysis, loss prevention, hazard reduction.

For citation: Chmykhalova S.V. Loss prevention and safety improvement in the mining industry: main directions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6-1):146-153. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-146-153.

Введение

Горнодобывающее производство по своей сути является опасным производством, что связано со спецификой взаимодействия технических и природных систем. Воздействие на природную среду оказывается при подготовке к изъятию горной массы из геологической среды, при изъятии горной массы, её погрузке-разгрузке, транспортировке и других технологических процессах [1, 2].

Добыча полезных ископаемых сопряжена с опасностью для жизни и здоровья работников горнодобывающих компаний, несмотря на растущее количество решений для предотвращения аварий в подземных горных выработках и при открытой добыче. Вопросы безопасности горного производства являются актуальными, так же, как и сохранение окружающей природной среды [3–5].

Все большее значение приобретает система устойчивого развития горного производства, способствующая энерго- и ресурсосбережению и обеспечивающая полноту, комплексность извлечения полезных компонентов, производственную и экологическую безопасность производства [6–9].

Устойчивая и безопасная добыча полезных ископаемых является первоочередной задачей горных производств. Для нее характерно понятие «приемлемого риска» и использование принципа «предвидеть и предупредить», в результате чего предполагается снижение влияния опасных и вредных факторов на безопасность добычи полезных ископаемых [1, 10–13].

Примем следующие основные принципы, необходимые для объективного выполнения анализа риска:

- комплексность;

- системность;
- достоверность и полнота информации;
- научная обоснованность и объективность;
- презумпция потенциального техногенного и экологического риска любой хозяйственной деятельности.

О разработке методики оценки риска горного производства как природно-технической системы

Деятельность человеческого общества и различные явления природы приводят к возможной опасности потерь, создавая опасности и принося ущерб, что характеризуется понятием риска.

Природно-технические и технические системы, промышленные или транспортные объекты рассматриваются как объекты, функционирование которых может привести к возникновению поражающего воздействия на человека и окружающую среду.

Порядок определения ущерба рассмотрен в [11]: «структура ущерба от аварий на опасных производственных объектах, как правило, включает: полные финансовые потери организации, эксплуатирующей опасный производственный объект, на котором произошла авария; расходы на ликвидацию аварии; социально-экономические потери, связанные с травмированием и гибелью людей (как персонала организации, так и третьих лиц); вред, нанесенный окружающей природной среде; косвенный ущерб и потери государства от выбытия трудовых ресурсов».

Особенности определения ущерба окружающей среде представлены в [12, 13].

Для снижения риска аварий на опасных производственных объектах необходимо рассмотреть весь спектр опасностей, возникающих на горном производстве.

К сложностям решения данной проблемы относится то, что каждое горное предприятие уникально по своим гео-

логическим, природным, климатическим особенностям. Кроме того, имеется существенный разброс параметров горной массы и постоянно меняющиеся в связи с этим условия и стоимостные показатели её добычи, что усложняет внедрение системы безопасности [14].

На многих горнодобывающих предприятиях снижается содержание полезного компонента в полезном ископаемом, что приводит к внедрению высокоэффективной и высокопроизводительной техники, увеличению производительности и объемов добычи, а следовательно, к увеличению аварийных рисков [15].

Несмотря на внедрение большого количества мер безопасности, проблема безопасности на сегодняшний день еще не решена [2].

Применяя системный подход и рассматривая горное производство как природно-техническую систему, можно структурировать риски по их происхождению и разрабатывать мероприятия по их снижению [4].

На рис. 1 представлена система возникновения опасностей на горном производстве, представляющем собой природно-техническую систему, которая состоит из четырех подсистем. Для технологических процессов и технических систем, применяемых в горном производстве, теории надежности и безопасности технических систем являются исходной базой для оценки вероятностей критических отказов, аварий и возможного ущерба.

Каждая группа опасностей соответственно рассматривается по отношению к очистным и проходческим работам, условиям добычи, работе применяемого технологического оборудования, параметрам рудничной (шахтной) атмосферы и др. Основная цель такой работы — установить взаимосвязи между отдельными данными, характеризующими работоспособность (надежность, наработку на отказ и т. д.).

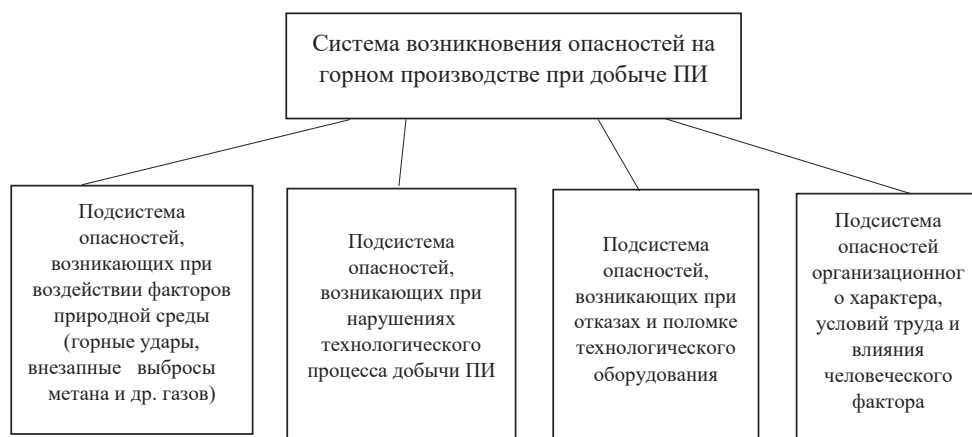


Рис. 1. Возникновение опасностей на горном производстве с позиций системного подхода

Данные результаты анализируются. По результатам этого анализа формируется система управления рисками добычи полезных ископаемых на рудниках и угольных шахтах.

Методы оценки риска, которые лежат в основе системы управления риском, включают такие этапы, как оценка вероятности риска и оценка последствий. Для оценки анализа опасностей и оценки риска аварий горного производства как природно-технической системы следует использовать комплекс методов оценки риска, т. е. сбор информации по подсистемам, образующим систему опасностей, возникающих при добыче полезных ископаемых, имеет свои методические особенности и происходит в течение различных условий технологического процесса и временных периодов, в том числе, для технологического оборудования.

К основным опасностям природного происхождения относятся газодинамические явления, внезапные выбросы метана, обрушение кровли, увеличение природной температуры горного массива с глубиной.

Проявление геодинамической опасности, сейсмичности и горных уда-

ров на шахтах и рудниках исследуется в [16, 17].

Для угольных шахт имеются риски выделения метана, самовозгорания угля и угольной пыли [18].

Опасности эксплуатационного происхождения разделяются на две группы: способствующие проявлению природных опасностей (провоцирующие их) и, собственно, техногенные опасности. В технологическом процессе достаточно трудно разделить эти риски, и их имеет смысл рассматривать с системных позиций, особо следует обратить внимание на причины возникновения рисков и их последствия.

К провоцирующим рискам относятся риски, связанные с уменьшением размеров целиков и межкамерных барьеров, недостаточное проветривание тупиковых выработок, выемочных участков, камер, нарушение правил электробезопасности, правил ведения огневых, взрывных, ремонтных и других работ, которые могут привести к серьезным последствиям природного характера.

К третьей группе относятся технические объекты (машины, оборудование, сооружения, системы и их элементы), отказы и поломки которых

являются потенциальными источниками опасности для технологического процесса добычи полезных ископаемых, состояния шахтной атмосферы, горняков. Для всех видов оборудования важным понятием является надежность, которая определяется как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технологического обслуживания, хранения и транспортирования (параметрическое определение понятия надежности).

К параметрам, характеризующим способность выполнять требуемые функции, относят кинематические и динамические параметры, показатели конструкционной прочности, показатели точности функционирования, производительности, скорости и т. д.

К четвертой группе относится влияние организации работы, условий труда и человеческого фактора на техногенные риски. Опасные действия персонала могут быть умышленными и неумышленными, связанными с промахами, неумениями, нарушениями в работе и обслуживании оборудования и систем, а также правил безопасности и др.

Внедрение опыта проведения периодической оценки условий труда на горнодобывающих предприятиях позволяет снизить влияние факторов этой группы [19].

Одной из основных причин несчастных случаев на производстве, в дополнение к ошибочному поведению человека и техническим сбоям, можно назвать отсутствие предвидения возможных случайных событий и отсутствие твердой оценки возникновения опасностей, связанных с безопасностью труда [20].

С учетом основных концепций безопасности, которые лежат в основе методологии техногенного риска, понятие риска можно определить как произведение вероятности P неблагоприятного события (аварии, катастрофы и т. д.) и ожидаемого ущерба Y в результате этого события [21].

При оценке риска как природно-технической системы будем иметь:

$$R = \sum_n P_n Y_n,$$

где n — номер подсистемы при оценке риска как природно-технической системы (см. рис. 1).

$$\text{Или } R = \sum_n \sum_i P_i Y_i,$$

если может иметь место несколько (i) неблагоприятных событий с различными вероятностями P_i и соответствующими им ущербами Y_i в соответствующей подсистеме.

Для определения риска, можно записать следующее выражение по всем последствиям отказа [13]:

$$R = \sum_n \int C(Y) P(Y) dY,$$

где $C(Y)$ — весовая функция (обычно назначаемая экспертным путем), с помощью которой последствия различной природы приводятся к единой (например, стоимостной) оценке ущерба в каждой из подсистем.

В большинстве случаев под «ожидаемым ущербом» подразумеваются восстановительные меры, которые должен выполнить причинитель ущерба, выраженные в денежных единицах [10–13].

Данную проблему проще решать на основе комплексного системного подхода к оценке аварийного риска с природно-технических (технологических) позиций.

Анализ каждой из перечисленных подсистем может дать достаточно большое количество информации, которая должна быть структурирована и проанализирована.

Вывод

Оценка риска должна стать частью комплексного подхода к управлению бизнесом. Системное и комплексное отношение к оценке риска позволит внедрить принцип «предвидеть и предупредить» в производственный процесс и принять возможные меры по устранению (снижению) риска.

Системный подход к оценке риска способствует предотвращению потерь и повышению безопасности горного производства за счет более полного учета возможных ситуаций, определению ответственного за риск персонала предприятия, приоритетов срочности исполнения и оценки шкалы обостренности рисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». Утверждено Приказом № 144 от 11 апреля 2016 г. Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Документ предоставлен Консультант Плюс. www.consultant.ru. Дата обращения: 09.04.2020.

2. Чмыхалова С.В. Горное предприятие — как природно-техническая система. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Mining Information and analytical bulletin (scientific and technical journal). — 2018. №1 (специальный выпуск 1). М.: Издательство «Горная книга», с. 343—3493.

3. Горнодобывающая промышленность, 2019 г. Ресурсы для будущего. PwC. <https://www.pwc.ru/ru/mining-and-metals/publications/assets/pwc-gornodobyvayushchaya-promyshlennost-2019.pdf>

4. Bonsu J., W. van Dyk, Franzidis J-P., Petersen F.†, Isaftade A. A systems approach to mining safety: an application of the Swiss Cheese Model. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2016, Vol. 116, pp. 777—784

5. Lluís Sanmiquel, Marc Bascompta, Josep M. Rossell, Hernán Francisco Anticoi and Eduard Guash. Analysis of Occupational Accidents in Underground and Surface Mining in Spain Using Data-Mining Techniques. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018, 15, 462

6. Mining for sustainable development research report. October 2017. Corruption Watch. <https://www.corruptionwatch.org.za/wp-content/uploads/2017/10/Mining-for-Sustainable-Development-report-South-Africa-2017.pdf>

7. Managing mining for sustainable development. A sourcebook. UNDP Bangkok Regional Hub and Poverty-Environment Initiative Asia-Pacific of UNDP and UN Environment April 2018 https://www.unpei.org/sites/default/files/e_library_documents/UNDP-MMFSD-D8-LowResolution.pdf

8. Sisi Que 1, Liang Wang, Kwame Awuah-Offei, Yao Chen and Wei Yang. The Status of the Local Community in Mining Sustainable Development beyond the Triple Bottom Line. Sustainability 2018, 10, 1749; doi:10.3390/su10061749. file:///C:/Users/User/Downloads/sustainability-10—01749-v2.pdf

9. Sustainable mining: how good practices in the mining sector contribute to more and better jobs / Olle Östensson and Alan Roe; International Labour Office — Geneva: ILO, 2017.

10. ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 N 116-ФЗ (последняя редакция)

11. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 29.10.02 №63

12. Новоселов А.Л. Экономика, организация и управление в области недропользования: учебник и практикум для магистров / М.: Издательство Юрайт, 2014. — 625 с.

13. Директива ЕС «Об экологической ответственности», 2004/35/ЕС (ДЭО) <https://www.garant.ru/iv/request/?id=2570148>

14. Педчик А.Ю., Чмыхалова С.В., Шевчук С.В., Шенцева С.В. Об учете изменчивости характеристик горного массива по трассе горных выработок в проектных и сметных расчетах. Горный журнал. М.: Изд. «Руда и металлы». — №12. — 2016. — С. 37–39.

15. Чмыхалова С.В. Разработка методики прогнозной оценки качества рудно-сырьевой базы горнодобывающего производства. Горный журнал. — 2019. — № 8. — С. 18–24

16. Batugin A. Critically Stressed Areas of Earth's Crust as Medium for Man-caused Hazards / E3S Web of Conferences, 56, 02007 (2018) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185602007>.

17. Xuelong Li, Enyuan Wang, Zhonghui Li, Zhentang Liu, Dazhao Song, Liming Qiu. Rock burst monitoring by integrated microseismic and electromagnetic radiation methods // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2016. Vol. 49. Iss. 11. pp. 4393–4406.

18. Lu-jie Zhou, Qing-gui Cao, Kai Yu, Lin-lin Wang, Hai-bin Wang. Research on Occupational Safety, Health Management and Risk Control Technology in Coal Mines // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018. 15, 868.

19. Малашкина В.А., Копылова А.В. Обзор опыта проведения периодической оценки условий труда на горнодобывающих предприятиях Республики Казахстан // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 5. — С. 209–216. DOI: 10.25018/0236–1493–2019–05–0-209–216.

20. Кубиньски В., Кубиньска-Ябцон Е. и др. Анализ рисков в горнодобывающей промышленности, связанных с безопасностью работы. ГИАБ. 2017. No. 11, pp. 168–176.

21. Алымов В.Т., Крапчатов В.П., Тарасова Н.П. Анализ техногенного риска: Учебное пособие для студентов вузов. М.: Круглый год, 2000. 160 с. ил. **ГИАБ**

REFERENCES

1. *Rukovodstvo po bezopasnosti «Metodicheskie osnovy po provedeniyu analiza opasnostei i ocenki riska avarij na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektah»* [Safety guide for «Methodological bases for conducting hazard analysis and risk assessment of accidents at hazardous production facilities»]. Uтверждено Приказом no. 144 ot 11 aprelya 2016 g. Federal'no j sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomno mu nadzoru. Dokument predstavlen Konsul'tant Plyus. www.consultant.ru. Data obrashcheniya: 09.04.2020. [In Russ]

2. Chmyhalova S.V. The mine as natural technical systems. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018. no. 1 (special'nyj vypusk 1). pp. 343–3493. [In Russ]

3. *Gornodobyvayushchaya promyshlennost', 2019 g. Resursy dlya budushchego* [Mining, 2019 Resources for the future]. PwC. <https://www.pwc.ru/mining-and-metals/publications/assets/pwc-gorno-dobyvayushchaya-promyshlennost-2019.pdf> [In Russ]

4. Bonsu J., W. van Dyk, Franzidis J-P., Petersen F.†, Isafiade A. A systems approach to mining safety: an application of the Swiss Cheese Model. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2016, Vol. 116. pp. 777–784.

5. Lluís Sanmiquel, Marc Bascompta, Josep M. Rossell, Hernán Francisco Anticoi and Eduard Guash. Analysis of Occupational Accidents in Underground and Surface Mining in Spain Using Data-Mining Techniques. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018, 15, 462. [In Russ]

6. Mining for sustainable development research report. October 2017. Corruption Watch. <https://www.corruptionwatch.org.za/wp-content/uploads/2017/10/Mining-for-Sustainable-Development-report-South-Africa-2017.pdf>.

7. Managing mining for sustainable development. A sourcebook. UNDP Bangkok Regional Hub and Poverty-Environment Initiative Asia-Pacific of UNDP and UN Environment April 2018 https://www.unpei.org/sites/default/files/e_library_documents/UNDP-MMFSD-D8-LowResolution.pdf [In Russ]

8. Sisi Que 1, Liang Wang, Kwame Awuah-Offei, Yao Chen and Wei Yang. The Status of the Local Community in Mining Sustainable Development beyond the Triple Bottom Line. *Sustainability* 2018, 10, 1749; doi:10.3390/su10061749. file:///C:/Users/User/Downloads/sustainability-10-01749-v2.pdf.

9. Sustainable mining: how good practices in the mining sector contribute to more and better jobs. Olle Östensson and Alan Roe; International Labour Office Geneva: ILO, 2017.

10. FZ «O promyshlennno j bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob'ektov» ot 21.07.1997 N 116-FZ (poslednyaya redakciya) [In Russ]

11. *Metodicheskie rekomendacii po ocenke ushcherba ot avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob'ektah* [Methodical recommendations for assessing damage from accidents at hazardous production facilities]. Uтверждены постановлением Госгортехнадзора России от 29.10.02 no. 63 [In Russ].

12. Novoselov A.L. *Ekonomika, organizaciya i upravlenie v oblasti nedropol'zovaniya: uchebnik i praktikum dlya magistrrov* [Economics, organization and management in the field for subsoil use]. Moscow: Izdatel'stvo Yurajt, 2014. 625 p. [In Russ]

13. *Direktiva ES «Ob ekologicheskoy otvetstvennosti»*, 2004/35/ES (DEO) <https://www.garant.ru/iv/request/?id=2570148> [In Russ]

14. Pedchik A.Yu., Chmyhalova S.V., Shevchuk S.V., Shenceva S.V. Allowance for variability of rock mass characteristic along the underground excavation in design calculators and cost estimation. *Gornyj zhurnal*. Moscow: Izd. «Ruda i metally» 12. 2016. pp. 37 – 39 [In Russ]

15. Chmyhalova S.V. Procedure of predictive estimate of ore quality in the mineral mining industry. *Gornyj zhurnal*, 2019, no. 8, pp. 18 – 24 [In Russ]

16. Batugin A. Critically Stressed Areas of Earth's Crust as Medium for Man-caused Hazards. E3S Web of Conferences, 56, 02007 (2018) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185602007>.

17. Xuelong Li, Enyuan Wang, Zhonghui Li, Zhentang Liu, Dazhao Song, Liming Qiu. Rock burst monitoring by integrated microseismic and electromagnetic radiation methods. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016. Vol. 49. Iss. 11. pp. 4393 – 4406.

18. Lu-jie Zhou, Qing-gui Cao, Kai Yu, Lin-lin Wang, Hai-bin Wang. Research on Occupational Safety, Health Management and Risk Control Technology in Coal Mines. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018. 15, 868.

19. Malashkina V.A., Kopylova A.V. Review of periodic evaluation of working environment in mines in the Republic of Kazakhstan. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019. no. 5. pp. 209–216. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-209-216. [In Russ]

20. Kubin'ski V., Kubin'ska-Yabcon E. i dr. Risk analysis in the mining industry related to security job. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017. no. 11, pp. 168–176. [In Russ]

21. Alymov V.T., Krapchatov V.P., Tarasova N.P. *Analiz tekhnogennogo riska* [Analysis of technological risk]: Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov. Moscow: Kruglyj god, 2000. 160 s. il. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Чмыхалова Светлана Валерьевна — канд. техн. наук, доцент, кафедры Безопасность и экология горного производства, e-mail: tchmy@mail.ru, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Ленинский пр., 4, Москва, 119049.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Chmykhalova S.V., Associate Professor, Cand. Sci. (Eng.), tchmy@mail.ru, National university of science and technology «MISIS», Russia.

Получена редакцией 11.03.2020; получена после рецензии 14.04.2020; принята к печати 20.05.2020.

Received by the editors 11.03.2020; received after the review 14.04.2020; accepted for printing 20.05.2020.