

ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ ТРАВМАТИЗМА ПОДЗЕМНОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ ОБРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КУЗБАССА

К.А. Кольвах

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: kaaspmi@yandex.ru

Аннотация: Обрушения горных пород на угольных шахтах проявляются в виде обвалов породы и вывалов ее кусков в результате разрушения пород кровли. Обрушения являются одним из наиболее опасных производственных факторов на угольных предприятиях Кузбасса, следствием проявления которого являются случаи легкого, тяжелого и смертельного травматизма. Несмотря на то, что число несчастных случаев различной степени тяжести вследствие обрушения горных пород на угольных шахтах Кузбасса снижается, их число по-прежнему является недопустимо высоким. Для проведения оценки риска травматизма (различной степени тяжести) подземного персонала угольных шахт рекомендуется использовать информацию, поступающую от многофункциональных систем безопасности (МФСБ). Оборудование угольных шахт данными системами регламентировано нормативно-правовыми актами Российской Федерации и с учетом того, что на сегодняшний день данный вопрос оценки риска на основе информации, поступающей от данных систем, рассмотрен недостаточно широко, тема данного исследования является актуальной. Представлен метод определения вероятности обрушения горных пород на основе данных, поступающих от систем геомеханических наблюдений в рамках многофункциональной системы безопасности. Кроме этого, на основе теоремы Байеса определяются предельные величины вероятности обрушений, при превышении которых возникают риски легкого, тяжелого и смертельного травматизма. Далее производится вычисление индивидуального риска травматизма различной степени тяжести.

Ключевые слова: индивидуальный риск, многофункциональные системы безопасности, критерий максимального правдоподобия, вероятность обрушения, массив горных пород, теорема Байеса.

Для цитирования: Кольвах К. А. Оценка и управление риском травматизма подземного персонала при обрушении горных пород на угольных шахтах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 3. – С. 124–132. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_124.

Assessment and management of injury risk of personnel in case of rock failures in coal mines in Kuzbass

K.A. Kolvakh

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: kaaspmi@yandex.ru

Abstract: Rock failure in coal mines includes roof rock falls. These failures are one of the critical hazards in coal mines in Kuzbass, and can lead to slight and permanent injuries or even to deaths. Although events of different severity traumas because of rock falls reduce in coal mines in Kuzbass, their number is yet abnormally high. The injury risk assessment in different severity traumas of coal mine personnel should use information provided by multifunctional safety systems. Equipment of coal mines with these systems should adhere to the effective normative and legal documents in the Russian Federation. However, risk assessment using the information acquired from the multifunctional safety systems is underinvestigated. Thus, this is a relevant research topic. The article describes the method to determine rock fall probability using the data of geomechanical observations included in the multifunctional safety systems. Then, on the ground of Bayes' theorem, the failure probability thresholds are estimated; the overrunning of these values brings the risks of slight, permanent and lethal injuries. After that, the personal risk of different severity traumas is calculated.

Key words: personal risk, multifunctional safety systems, highest likelihood criterion, failure probability, rock mass, Bayes' theorem.

For citation: Kolvakh K. A. Assessment and management of injury risk of personnel in case of rock failures in coal mines in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(3):124-132. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_124.

Введение

На основе данных, представленных в Ежегодных отчетах о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за период 2011 – 2020 гг., установлено, что за данный период на угольных шахтах России произошло 46 смертельных несчастных случаев в результате обруше-

ний горных пород, что составило 19% от общего их числа по травмирующим факторам. На рисунке представлена диаграмма распределения несчастных случаев всех степеней тяжести на шахтах Кузнецкого угольного бассейна за рассматриваемый период.

На основе данных Сибирского управления федеральной службы по экологи-



Основные факторы, приводящие к травматизму на угольных шахтах Кузбасса (2011 – 2020 гг.)
Main factors leading to injuries in Kuzbass coal mines (2011 – 2020)

ческому, технологическому и атомному надзору, представленных в Годовых отчетах о результатах деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за период 2011 – 2020 гг., установлено, что на угольных шахтах Кузбасса преобладали случаи легкого травматизма (51 несчастный случай). В то же время было зафиксировано 16 несчастных случаев с тяжелым исходом и 31 несчастный случай со смертельным исходом. Наиболее часто несчастные случаи происходили в лавах угольных шахт [1].

Метод

В задачи данного исследования входило проведение оценки риска травматизма подземного персонала при обрушении горных пород. При этом информация о состоянии массива должна поступать от системы геомеханических наблюдений, применяемой в рамках многофункциональной системы безопасности (МФСБ). На практике используют такие системы, как Grunch, «Микон-ГЕО», САКСМ [2 – 4].

Получаемая от систем данного типа информация представлена набором значений показателя, характеризующего устойчивость массива. Для различных систем существуют соответствующие показатели, характеризующие состояние массива [5 – 8].

На основании получаемых от системы значений предлагается проводить оценку вероятности обрушения горных пород. Результаты измерений системы представлены набором значений ключевого статистического показателя, которые необходимо распределить относительно порогового значения для проведения расчетов [1, 3].

Примером ключевого статистического показателя для применяемых систем является интегрированный критерий, являющийся результатом измерений системы «Микон-ГЕО» и включающий в

себя величины сейсмической энергии и градиента горного давления [3, 9].

В целях определения вероятности обрушения горных пород разработана математическая модель на основе критерия максимального правдоподобия, позволяющая определить вероятность обрушения горных пород с учетом таких показателей, как отношение правдоподобия и плотность распределения величин ключевого статистического показателя [1, 9].

В общем виде математическая модель представлена следующим выражением [10]:

$$R_{\text{обри}} = \frac{B \cdot R_i}{A}, \quad (1)$$

где $R_{\text{обри}}$ – предельно допустимые значения вероятности обрушений; R_i – приемлемое значение индивидуального риска; A – отношение числа несчастных случаев к среднесписочному количеству работников (подземного персонала) за исследуемый период; B – отношения числа несчастных случаев, произошедших в результате обрушений, к общему количеству несчастных случаев за исследуемый период.

Далее определяется отношение правдоподобия (L), где $N_{\text{вп}}$ и $N_{\text{нп}}$ являются количеством значений показателя выше и ниже пороговой величины:

$$L = N_{\text{вп}} / N_{\text{нп}} \quad (2)$$

Плотность распределения показателя ($f_{\text{обр}}$) с учетом количества его значений за весь интервал измерений (Q) определяем по формуле:

$$f_{\text{обр}} = N_{\text{нп}} / Q. \quad (3)$$

Вероятность обрушения горных пород будет определяться по формуле:

$$R_{\text{обр}} = L \cdot f_{\text{обр}}. \quad (4)$$

Решение о степени опасности на производстве принимается на основе вели-

чины индивидуального риска, которая представляет собой вероятность получения работником травмы при воздействии травмирующего фактора за устанавливаемый временной период с учетом вероятности нахождения работника в зоне поражения [11 – 15].

Индивидуальный риск травматизма различной степени тяжести будет определяться в соответствии с формулой:

$$R_{\text{индi}} = N_i / Q_{\text{cc}}, \quad (5)$$

где $R_{\text{индi}}$ – индивидуальный риск легкого, тяжелого либо смертельного травматизма, год⁻¹; N_i – число несчастных случаев различной степени тяжести (легкого, тяжелого либо смертельного травматизма); Q_{cc} – среднесписочная численность подземного персонала, чел. [11, 16 – 18].

Соответственно, определение искомой величины индивидуального риска травматизма различной степени тяжести с учетом вероятности обрушения горных пород будет определяться по формуле (6). В данной формуле используются величины индивидуального риска $R_{\text{индi}}$, определяемые на основе обработки статистических данных, а также вероятность обрушения горных пород $R_{\text{обр}}$:

$$R_{\text{индi обр}} = R_{\text{индi}} \cdot R_{\text{обр}}, \quad (6)$$

где $R_{\text{индi обр}}$ – индивидуальный риск травматизма различной степени тяжести (легкий, тяжелый и смертельный) в результате обрушений, год⁻¹; $R_{\text{индi}}$ – индивидуальный риск травматизма различной степени тяжести, год⁻¹; $R_{\text{обр}}$ – вероятность обрушения горных пород [19 – 23].

В качестве допустимого значения риска травматизма предлагается использовать величину $2,5 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹, являющуюся средней величиной приемлемого риска в соответствии с Концепцией приемлемого риска, представленной МЧС России (<http://www.gosnadzor.ru/public/annualreports/>).

Результаты

Апробация проводилась для угольной шахты, на которой применялась система геомеханических наблюдений типа «Микон-ГЕО», а в качестве показателя, который определяет устойчивость массива выступал интегрированный критерий, включающий градиент горного давления и величину сейсмической энергии. Для данных горно-геологических условий пороговое значение показателя принималось равным 8 [3, 23].

Апробация была проведена для двух различных режимов работы предприятия. При нормальном режиме работы превышений допустимого значения выявлено не было. Из всего набора, включающего 192 значения, пороговое значение 8 не было превышено ни разу. В данном случае вероятность обрушения принимала значение равное 0.

В случае, когда произошло обрушение горных пород, было зафиксировано превышение порогового значения показателя в 19 из 192 случаев. Приводится расчет вероятности обрушения по формулам (7) – (9).

$$L = N_{\text{вп}} / N_{\text{нп}} = 19/73 = 0,11. \quad (7)$$

Плотность распределения значений интегрированного критерия для вероятности обрушения горных пород будет вычисляться по формуле:

$$f_{\text{обр}} = N_{\text{нп}} / Q = 173/192 = 0,9. \quad (8)$$

Вероятность обрушения горных пород будет вычисляться по формуле:

$$R_{\text{обр}} = L \cdot f_{\text{обр}} = 0,11 \cdot 0,9 = 0,099 = 9,9\%. \quad (9)$$

На основе теоремы Байеса с учетом данных, поступающих от систем геомеханических наблюдений, возможно произвести определение предельных значений вероятностей обрушений.

При превышении данных значений будет возникать опасность травматизма

различной степени тяжести. Таким образом, будет реализована функция предотвращения случаев травматизма работников в результате воздействия рассматриваемого фактора в рамках МФСБ [24 – 26].

Вследствие преобразования формулы Байеса применительно к теме исследования получаем ее в виде (1), приемлемое значение индивидуального риска (R_i): $2,5 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹ [1, 11, 19].

С учетом данных, на основании которых проводилась апробация разработанного метода, были определены допустимые значения вероятностей обрушения горных пород: 13% для случаев смертельного травматизма, 11% – для тяжелого и 5% – для легкого травматизма.

Предполагается, что в тех случаях, когда полученные допустимые значения будут превышены, система аварийной сигнализации будет производить оповещение работников предприятия о возникновении опасной ситуации.

В свою очередь, в случае возникновения таких ситуаций необходимо проведение технических мероприятий, направленных на предотвращение аварии, а также организация вывода работников шахты с опасного участка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rudakov M. L., Rabota E. N., Kolvakh K. A. Assessment of individual risk of fatal injury to coal mine workers during collapses // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychnoho Universytetu. 2020, no. 4, pp. 88 – 93. DOI: 10.33271/2020-4/088.
2. Лапин Э. С., Писецкий В. Б., Бабенко А. Г., Патрушев Ю. В. «Микон-ГЕО» – система оперативного обнаружения и контроля состояния зон развития опасных геогазодинамических явлений при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 4. – С. 18 – 22.
3. Лапин С. Э., Писецкий В. Б., Бабенко А. Г., Патрушев Ю. В. Методика и результаты промышленного применения системы сейсмического контроля состояния горного массива «Микон-ГЕО» в процессе подземной разработки рудных и угольных месторождений // Проблемы недропользования. – 2016. – № 2. – С. 58 – 64.
4. Чемезов Е. Н. Принципы обеспечения безопасности горных работ при добыче угля // Записки Горного института. – 2019. – Т. 240. – С. 649. DOI: 10.31897/pmi.2019.6.649.
5. Rogers W. P., Kahraman M., Drews F. A., Powell K. M., Haight J. M., Yaxue Wang, Bahla K., Sobalkar M. Automation in the mining industry: review of technology, systems, human fac-

Заключение

Данное исследование направлено на создание эффективного метода определения величины индивидуального риска с учетом известной вероятности обрушения, определение которой проводится на основе обработки информации от систем геомеханических наблюдений в рамках МФСБ. Также, метод данного исследования позволяет определить допустимые (предельные) значения вероятности обрушения горных пород, составляющие 5%, 11% и 13% для легкого, тяжелого и смертельного травматизма соответственно. Предлагается осуществлять аварийное оповещение персонала при превышении данных значений. Изложен метод определения вероятности обрушения. Произведено обоснование ключевого статистического показателя, используемого в данных системах.

На основе разработанной модели и обработки статистической информации предлагается определять величину риска.

Практическое применение данного метода может быть достигнуто на всех угольных шахтах Кузнецкого угольного бассейна, а его развитие может быть обусловлено развитием систем геомеханических наблюдений, используемых для оценки состояния массива в рамках МФСБ.

tors, and political risk // Mining Metallurgy & Exploration. 2019, vol. 36, no. 9. DOI: 10.1007/s42461-019-0094-2.

6. Бабенко А. Г., Малыгин П. А. О требованиях к функциональной безопасности систем автоматической газовой защиты угольных шахт // Известия вузов. Горный журнал. — 2011. — № 1. — С. 100–110.

7. Рудаков М. Л., Дука Н. Е. Моделирование акустического воздействия горного оборудования на персонал при добыче угля подземным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 10. — С. 165–179. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_165.

8. Зуев Б. Ю. Методология моделирования нелинейных геомеханических процессов в блочных и слоистых горных массивах на моделях из эквивалентных материалов // Записки Горного института. — 2021. — Т. 250. — С. 542–552. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.7.

9. Кольвах К. А. Оценка величины индивидуального риска и риска группового несчастного случая работников угольных шахт при обрушении горных пород // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2021. — № 2. — С. 63–67.

10. Фомин Я. А., Тарловский Г. Р. Статистическая теория распознавания образов. — М.: Радиоисвязь, 1977. — 138 с.

11. Kumar R., Ghosh A. K. Mines systems safety improvement using an integrated event tree and fault tree analysis // Journal of The Institution of Engineers (India): Serues D. 2017, vol. 98, pp. 101–108. DOI: 10.1007/s40033-016-0121-0.

12. Гендлер С. Г., Габов В. В., Бабырь Н. В., Прохорова Е. А. Обоснование технических решений по снижению производственного травматизма в лавах угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 1. — С. 5–19. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_5.

13. Гендлер С. Г., Фазылов И. Р., Абашин А. Н. Результаты экспериментальных исследований теплового режима нефтяных шахт при термическом способе добычи нефти // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6-1. — С. 248–262. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_248.

14. Кречманн Ю., Плиен М., Тхи Хоаи Нга Нгуен, Рудаков М. Л. Эффективное наращивание потенциала в горном деле за счет обучения, расширяющего возможности в области управления охраной труда // Записки Горного института. — 2020. — Т. 242. — С. 248. DOI: 10.31897/pmi.2020.2.248.

15. Коршунов Г. И., Еремеева А. М., Дребенштедт К. Обоснование применения растительной добавки к дизельному топливу в качестве способа защиты подземного персонала угольных шахт от воздействия вредных выбросов дизель-гидравлических локомотивов // Записки Горного института. — 2021. — Т. 247. — С. 39–47. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.5.

16. Смирняков В. В., Каргополова А. П., Смирнякова В. В., Кабанов Е. И., Алмосова Я. В. Риск-ориентированный подход как инструмент повышения качества подготовки и развития персонала АО «СУЭК-Кузбасс» // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6-1. — С. 214–229. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_214.

17. Кабанов Е. И. Определение допустимого профессионального риска травмирования работников угледобывающих предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5. — С. 167–180. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_167.

18. Hoebbel C. L., Haas E. J., Ryan M. E. Exploring worker experience as a predictor of routine and non-routine safety performance outcomes in the mining industry // Mining Metallurgy & Exploration. 2022, vol. 39, no. 2, pp. 485–494. DOI: 10.1007/s42461-021-00536-2.

19. Eiter B. M., Bellanca J. L. Identify the influence of risk attitude, work experience, and safety training on hazard recognition in mining // Mining Metallurgy & Exploration. 2020, vol. 37, no. 7, pp. 1931–1939. DOI: 10.1007/s42461-020-00293-8.

20. Туманов М. В., Гендлер С. Г., Кабанов Е. И., Родионов В. А., Прохорова Е. А. Индекс персонального риска, как перспективный инструмент управления человеческим фак-

тором в охране труда // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6-1. — С. 230–247. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_230.

21. Shariati S. Underground mine risk assessment by using FMEA in the presence of uncertainty // Decision Science Letters. 2014, vol. 3, no. 3, pp. 295–304. DOI: 10.5267/j.dsl.2014.4.002.

22. Bellanca J. L., Eiter B., Hrica J., Weston R., Weston T. Risk perception with and without workers present in hazard recognition images // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020, pp. 261–273. DOI: 10.1007/978-3-030-20148-7_24.

23. Burgess-Limerick R. Human-systems integration for the safe implementation of automation // Mining Metallurgy & Exploration. 2020, vol. 37, no. 6, pp. 1799–1806. DOI: 10.1007/s42461-020-00248-z.

24. Кужомбердиева Г. И., Бураков Д. П., Гарина М. И. Использование формулы Байеса при оценивании выполнения практик модели CMMI // Программные продукты и системы. — 2017. — Т. 30. — № 1. — С. 17–23.

25. Matsimbe J., Ghambi S., Samson A. Application of the bowtie method in accident analysis: Case of Kaziwiziwi coal mine // Engineering and Technology Quarterly Reviews. 2020, vol. 3, no. 2, pp. 127–136. DOI: 10.5281/zenodo.4387214.

26. Баловцев С. В., Скопинцева О. В., Куликова Е. Ю. Иерархическая структура аэрологических рисков в угольных шахтах // Устойчивое развитие горных территорий. — 2022. — Т. 14. — № 2. — С. 276–285. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-2-276-285. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Rudakov M. L., Rabota E. N., Kolvakh K. A. Assessment of individual risk of fatal injury to coal mine workers during collapses. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychnoho Universytetu*. 2020, no. 4, pp. 88–93. DOI: 10.33271/2020-4/088.

2. Lapin E. S., Pisetsky V. B., Babenko A. G., Patrushev Y. V. «Mikon-GEO» is a system for operational detection and monitoring of the state of zones of development of hazardous geosodynamic phenomena during the development of mineral deposits by underground method. *Occupational Safety in Industry*. 2012, no. 4, pp. 18–22. [In Russ].

3. Lapin S. E., Pisetsky V. B., Babenko A. G., Patrushev Y. V. Methods and results of industrial application of the system of seismic monitoring of the state of the «Mikon-GEO» mountain massif in the process of underground mining of ore and coal deposits. *Problems of Subsoil Use*. 2016, no. 2, pp. 58–64. [In Russ].

4. Chemezov E. N. Principles of ensuring the safety of mining operations during coal mining. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 240, pp. 649. [In Russ]. DOI: 10.31897/pmi.2019.6.649.

5. Rogers W. P., Kahraman M., Drews F. A., Powell K. M., Haight J. M., Yaxue Wang, Baxla K., Sobalkar M. Automation in the mining industry: review of technology, systems, human factors, and political risk. *Mining Metallurgy & Exploration*. 2019, vol. 36, no. 9. DOI: 10.1007/s42461-019-0094-2.

6. Babenko A. G., Malygin P. A. On the requirements for the functional safety of automatic gas protection systems of coal mines. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2011, no. 1, pp. 100–110. [In Russ].

7. Rudakov M. L., Duka N. E. Modeling acoustic effect exerted on personnel by operating equipment in underground coal mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 10, pp. 165–179. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_165.

8. Zuev B. Y. Methodology of modeling nonlinear geomechanical processes in block and layered mountain massifs on models made of equivalent materials. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 250, pp. 542–552. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.7.

9. Kolvakh K. A. Assessment of the magnitude of individual risk and the risk of a group accident of coal mine workers in the collapse of rocks. *Vestnik of safety in coal mining scientific center*. 2021, no. 2, pp. 63–67. [In Russ].

10. Fomin Ya. A., Tarlovskiy G. R. *Statisticheskaya teoriya raspoznavaniya obrazov* [Statistical theory of pattern recognition], Moscow, Radioisvyaz', 1977, 138 p.
11. Kumar R., Ghosh A. K. Mines systems safety improvement using an integrated event tree and fault tree analysis. *Journal of The Institution of Engineers (India): Serues D.* 2017, vol. 98, pp. 101 – 108. DOI: 10.1007/s40033-016-0121-0.
12. Gendler S. G., Gabov V. V., Babyr N. V., Prokhorova E. A. Justification of engineering solutions on reduction of occupational traumatism in coal longwalls. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 1, pp. 5 – 19. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_5.
13. Gendler S. G., Fazylov I. R., Abashin A. N. The results of experimental studies of the thermal regime of oil mines in the thermal method of oil production. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-1, pp. 248 – 262. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_248.
14. Kretschmann Y., Plien M., Thi Hoai Nga Nguyen, Rudakov M. L. Effective capacity building in mining through training that expands opportunities in the field of occupational safety management. *Journal of Mining Institute.* 2020, vol. 242, pp. 248. [In Russ]. DOI: 10.31897/pmi.2020.2.248.
15. Korshunov G. I., Ereemeeva A. M., Drebenstedt C. Justification of the use of a vegetal additive to diesel fuel as a method of protecting underground personnel of coal mines from the impact of harmful emissions of diesel-hydraulic locomotives. *Journal of Mining Institute.* 2021, vol. 247, pp. 39 – 47. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.5.
16. Smirnyakov V. V., Kargopolova A. P., Smirnyakova V. V., Kabanov E. I., Almosova Y. V. Risk-oriented approach as a tool for improving the quality of training and development of personnel of JSC SUEK-Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-1, pp. 214 – 229. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_214.
17. Kabanov E. I. Allowable occupational injury risk assessment in coal mining industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5, pp. 167 – 180. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_167.
18. Hoebbel C. L., Haas E. J., Ryan M. E. Exploring worker experience as a predictor of routine and non-routine safety performance outcomes in the mining industry. *Mining Metallurgy & Exploration.* 2022, vol. 39, no. 2, pp. 485 – 494. DOI: 10.1007/s42461-021-00536-2.
19. Eiter B. M., Bellanca J. L. Identify the influence of risk attitude, work experience, and safety training on hazard recognition in mining. *Mining Metallurgy & Exploration.* 2020, vol. 37, no. 7, pp. 1931 – 1939. DOI: 10.1007/s42461-020-00293-8.
20. Tumanov M. V., Gendler S. G., Kabanov E. I., Rodionov V. A., Prokhorova E. A. Personal risk index as a promising management tool for human factor in labor protection. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-1, pp. 230 – 247. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_230.
21. Shariati S. Underground mine risk assessment by using FMEA in the presence of uncertainty. *Decision Science Letters.* 2014, vol. 3, no. 3, pp. 295 – 304. DOI: 10.5267/j.dsl.2014.4.002.
22. Bellanca J. L., Eiter B., Hrica J., Weston R., Weston T. Risk perception with and without workers present in hazard recognition images. *Advances in Intelligent Systems and Computing.* 2020, pp. 261 – 273. DOI: 10.1007/978-3-030-20148-7_24.
23. Burgess-Limerick R. Human-Systems Integration for the safe implementation of automation. *Mining Metallurgy & Exploration.* 2020, vol. 37, no. 6, pp. 1799 – 1806. DOI: 10.1007/s42461-020-00248-z.
24. Kuzhombardieva G. I., Burakov D. P., Garina M. I. The use of the Bayes formula in evaluating the implementation of the practices of the SMMI model. *Software & Systems.* 2017, vol. 30, no. 1, pp. 17 – 23. [In Russ].
25. Matsimbe J., Ghambi S., Samson A. Application of the bowtie method in accident analysis: Case of Kaziwiziwi coal mine. *Engineering and Technology Quarterly Reviews.* 2020, vol. 3, no. 2, pp. 127 – 136. DOI: 10.5281/zenodo.4387214.
26. Balovtsev S. V., Skopintseva O. V., Kulikova E. Yu. Hierarchical structure of aerological risks in coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories.* 2022, vol. 14, no. 2, pp. 276 – 285. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-2-276-285.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кольвах Константин Андреевич — канд. техн. наук,
Санкт-Петербургский горный университет,
e-mail: kaaspmin@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0003-0145-9465.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

K.A. Kolvakh, Cand. Sci. (Eng.),
Saint-Petersburg Mining University,
199106, Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: kaaspmin@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0003-0145-9465.

Получена редакцией 19.11.2022; получена после рецензии 28.01.2023; принята к печати 10.02.2023.
Received by the editors 19.11.2022; received after the review 28.01.2023; accepted for printing 10.02.2023.



ОТ РЕДАКЦИИ

**CTT
MINING**

Экспозиция и конференция в рамках **СТТ Экспо**
Главной выставки строительной техники и технологий в России

23 – 26 мая 2023
Крокус Экспо, Москва

Станьте участником CTT MINING
Специальная экспозиция машин и оборудования для добычи,
транспортировки и переработки полезных ископаемых

Организаторы:

СТТ Экспо **Юпитер** **Академия**
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ГОРНЫХ НАУК

 www.ctt-expo.ru