

МОНИТОРИНГ РИСКА АВАРИЙ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Е.Ю. Куликова¹, Д.С. Конюхов¹

¹ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: fragrante@mail.ru

Аннотация: Организация подземного строительства требует особых подходов к освоению подземного пространства ввиду разнообразных осложняющих факторов. Эти подходы должны в полной мере учитывать специфику: динамику и многофакторность горной гидрогеологических условий, повышенные экологические требования и требования к безопасности ведения работ, необходимость и целесообразность использования современных строительных технологий и контроля качества их исполнения. Возникает необходимость организовать мониторинг риска аварий в подземном строительстве, который нацелен на диагностику «отказов», возникающих по причине ошибок персонала, при отступлении от технологии производства работ, обозначенных в проекте, сбоях в работе оборудования, а также на оценку «максимальных гипотетических аварий». В представленной статье дана оценка причин аварийных инцидентов, представлена структура мониторинга риска аварий в подземном строительстве, показаны его задачи и последовательность выполнения. Определены основные методы осуществления мониторинга риска аварий и его цели. Мониторинг риска аварий должен представлять структурный элемент системы управления эколого-технологической безопасностью в подземном строительстве и подразумевать предварительный анализ опасности, оценку динамики развития нештатных ситуаций и анализ их последствий. Все мониторинговые меры направлены на повышение эколого-технологической безопасности и минимизации риска. При этом ставится вопрос управления рисками при освоении подземного пространства. Конечной целью управления риском является научное сопровождение подземного строительства на основе мониторинга риска аварий и последующего моделирования процессов в многопараметрической системе «технология строительства — оборудование — персонал — окружающая среда». При этом мониторинг выступает как интерактивный инструмент регулирования эколого-технологической безопасности при освоении подземного пространства.

Ключевые слова: мониторинг, прогноз возникновения риска аварий, декларация безопасности, аварийный инцидент, многопараметрическая система.

Для цитирования: Куликова Е. Ю., Конюхов Д. С. Мониторинг риска аварий при освоении подземного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 1. – С. 97–103. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_97.

Accident risk monitoring in underground space development

E.Yu. Kulikova¹, D.S. Konyukhov¹

¹ National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia,
e-mail: fragrante@mail.ru

Abstract: Underground construction calls for specific approaches to development of underground space considering a variety of complicating factors. These approaches should to the full extent take into account: the dynamic and multivariate geological and hydrogeological conditions, the exclusive ecological and occupational safety standards, the necessity and expedience of advanced construction technologies and their implementation quality control. It is required to execute the accident risk monitoring in underground construction, aimed at the diagnostics of ‘failures’ which arise from errors of personnel, in case of deviation from the assumed technology or in faulty operation of equipment, and at the estimate of ‘maximal hypothetical accidents’. This article offers assessment of causes of emergencies, describes the accident risk monitoring structure in underground construction, and shows the monitoring objectives and execution sequence. The basic methods and goals of the accident risk monitoring are specified. The accident risk monitoring should represent a component of the ecological and occupational safety control in underground construction, and should provide the preliminary risk assessment, the estimate of off-normal situation dynamics and their after-effect analysis. All monitoring efforts should be aimed at the enhancement of ecological and occupational safety and at the minimization of risks. The ultimate objective of the risk management in this case is the science-based supervision of underground construction on the ground of accident risk monitoring and subsequent modeling in the multiparametric construction technology–equipment–personnel–environment system. Here, the monitoring becomes an interactive tool of the ecological and occupational safety management in development of underground space.

Key words: monitoring, accident risk prediction, safety declaration, emergency, multiparametric system.

For citation: Kulikova E. Yu., Konyukhov D. S. Accident risk monitoring in underground space development. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(1):97-103. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_97.

Введение

Освоение подземного пространства должно выстраиваться таким образом, чтобы не превышались «пределы прочности» среды. В свою очередь, природная среда устанавливает свои требования к технологическим процессам строительства под землей, невыполнение которых может привести к существенному снижению устойчивости природно-технические геосистемы (ПТГС), процессы в которой имеют ярко выраженный стохастический характер. Потребуются меры по стабилизации ПТГС в целом или ее отдельных элементов на основе научно обоснованных прогнозов. Прогноз возникновения риска аварии может быть осуществлен только за счет

систематического мониторинга состояния этой системы.

Данные об авариях

При строительстве тоннелей и других капитальных выработок в проект закладывается комплекс мер по обеспечению заданных показателей надежности, долговечности и безопасности строительных и ограждающих конструкций, оборудования и горно-строительной техники.

Изучение нештатных случаев в тоннелях показывает, что их причиной может являться превышение расчетных внешних природных воздействий: (землетрясения, сходы снежных лавин, камнепады и т.д.), несоблюдение условий

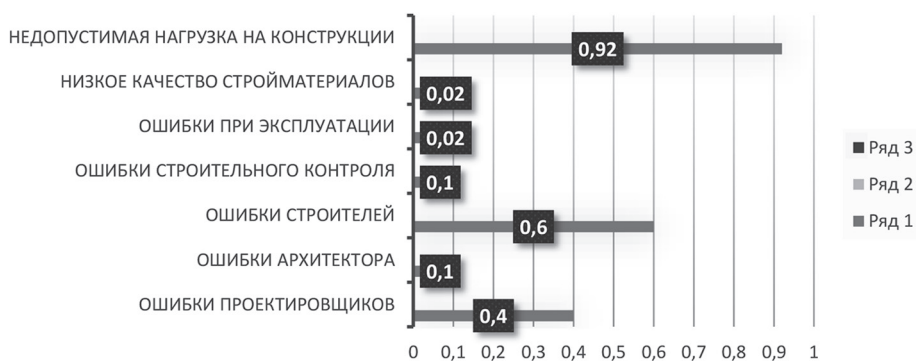


Рис. 1. Вероятность ошибок участников строительно-инвестиционного процесса

Fig. 1. Probability of errors of investment-construction process participants

безопасной эксплуатации (пожары и за-топления), дефекты и несвоевременное и недостаточно точное определение технического состояния конструкций (обделок, порталов, эксплуатационного оборудования), ошибки при проектировании и при проведении мероприятий по восстановлению их эксплуатационных характеристик в период ремонта.

Согласно анализу более 40% из их общего числа аварий связаны с пожарами, 30% — с прорывами воды, 17% — с обрушениями, около 12% аварийных ситуаций сопряжено с загазованностью выработок [1–4]. В трудах [2–5] показано, что основной причиной аварий в строительстве (~50,5%) является нарушение технологии производства работ.

Если оценить причины аварии с позиций участников строительно-инвестиционного процесса [1–5], то это будет выглядеть следующим образом (рис. 1).

Возникает необходимость организовать мониторинг риска аварий в подземном строительстве, который был бы нацелен на диагностику «отказов», возникающих по причине ошибок персонала, при отступлении от технологии производства работ, обозначенных в проекте, сбоях в работе оборудования, а также на оценку «максимальных гипотетических аварий» [6–8].

Структура мониторинга риска аварий

Структура мониторинга потенциальных рисков аварий на подземных объектах приведена на рис. 2.

Риск возникновения аварий при освоении подземного пространства очень часто определяется построением дерева ошибок. Это логическая структура, которая учитывает причинно-следственную связь в системе «технология строительства — оборудование — персонал — окружающая среда», что позволяет оценивать взаимовлияние элементов, вызывающих «отказы» на подземных объектах. При этом «отказы» могут быть обусловлены объективными и субъективными причинами, а именно [6–9].

Объективные причины:

- состояние вмещающего породного массива;
- наличие во вмещающей геологической среде элементов, провоцирующих коррозионное разрушение элементов обделки и оборудования;
- застройка территории, ее особенности, экологическое состояние на момент начала ведения горно-строительных работ;
- погодные и климатические условия и рельеф местности;

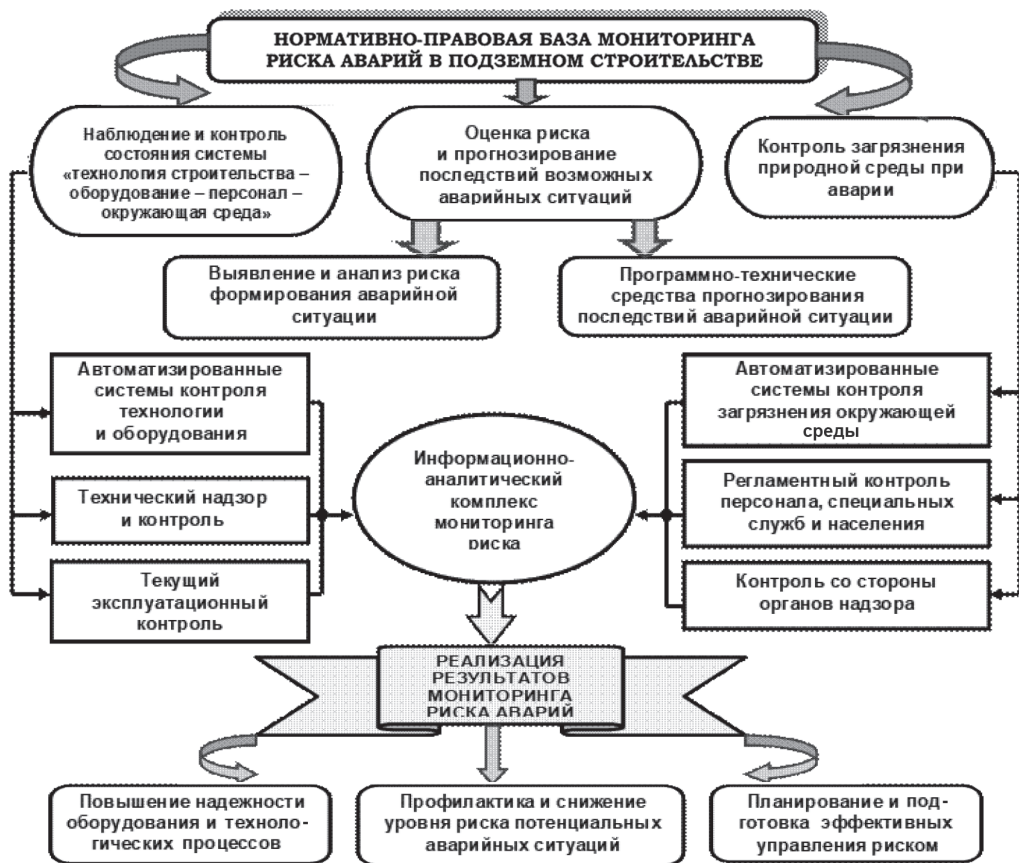


Рис. 2. Структура мониторинга потенциальных рисков аварий на подземных объектах
 Fig. 2. Potential accident risk monitoring structure at underground facilities

- сложность, разнообразие и разномасштабность технологических процессов подземного строительства;
- мультиалгоритмическая система управления технико-технологическими процессами.

Субъективные причины [6, 7]:

- неудачные решения на стадии проектирования несущих и ограждающих конструкций подземного сооружения и применяемой техники;
- нарушение функциональных режимов подземного объекта;
- слабый кадровый потенциал;
- невыполнение производственного регламента;

- отсутствие внешних проверок и инспекций по эколого-технологической безопасности.

Декларация безопасности на подземных объектах

В связи с тем, что подземные сооружения относятся к объектам, функционирование которых сопряжено с повышенной опасностью, они подлежат обязательному декларированию промышленной и экологической безопасности, которая предполагает:

- оценку риска аварий;
- анализ мер по их предупреждению, локализации и ликвидации.

Разработка декларации подразумевает анализ условий возникновения нештатных ситуаций и аварий в динамике [8–13]:

- выявление потенциальных причин с учетом отказов в системе «технология строительства — оборудование — персонал — окружающая среда»;
- написание сценариев возможных аварий;
- оценку вредных факторов, приводящих к аварии.

Мониторинг риска аварий в подземном строительстве должен быть существенной частью управления промышленно-экологической безопасностью и включать три этапа: предварительный анализ опасности, выявление последовательности нештатных ситуаций, анализ последствий.

Задачи мониторинга риска аварий

Для выработки управленческого решения по минимизации риска на подземном объекте база данных мониторинга должна содержать следующую объективную информацию [12]:

- информация о локации геозон с наивысшим риском;
- решения об оптимизации риск-процесса;
- сведения об участках проектирования и моделях управления риском;
- экспертиза конкурентных решений по управлению риском;
- контроллинг потенциальных нештатных ситуаций и текущего состояния подземного объекта;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скопинцева О. В., Баловцев С. В. Управление аэрологическими рисками угольных шахт на основе статистических данных системы аэрогазового контроля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 1. — С. 78–89. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-78-89.

- определение рациональных параметров при управлении рисками;
- решение задач прогнозирования при управлении рисками;
- минимизация «нештатных» ситуаций.

Мониторинг риска аварий подземных объектов осуществляется комбинацией различных методов. Идентификация источников опасности требует дальнейшей оценки причин потенциальных аварий и нештатных ситуаций и логической цепочки разворачивания событий. В зависимости от функционального назначения подземного объекта и его сложности подбирают один или несколько методов качественного анализа риска [6, 10–16].

Алгоритм мониторинга и управления риском основывается на:

- системных данных об эколого-технологической безопасности;
- риск-анализе и синтезе;
- стратегии управления эколого-технологической безопасностью.

Вывод

Конечной целью управления риском является научное сопровождение подземного строительства на основе мониторинга риска аварий и последующего моделирования процессов в многопараметрической системе «технология строительства — оборудование — персонал — окружающая среда». При этом мониторинг выступает как интерактивный инструмент регулирования эколого-технологической безопасности при освоении подземного пространства.

2. Гарбер В. А. Нештатные ситуации в подземных транспортных сооружениях // Подземные горизонты. — 2018. — № 16. — С. 20–25.
3. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Повышение качества расчетных обоснований проектов // Бст: бюллетень строительной техники. — 2005. — № 10. — С. 59–62.
4. Еремин А. К., Мухарицин Е. С. О причинах возникновения рисков аварийного обрушения зданий и сооружений // Геориск. — 2009. — № 3. — С. 54–55.
5. Кауфман Л. Л., Лысиков Б. А. Геотехнические риски в подземном строительстве (обзор зарубежного опыта) / Под общ. ред. Л. Л. Кауфмана. — Донецк: Норд-Пресс, 2009. — 362 с.
6. Суханов Д. А. Поиски риска. Некоторые аспекты оценки риска производственных объектов в системе управления промышленной безопасностью и охраной труда // Безопасность и охрана труда. — 2016. — № 1. — С. 17–23.
7. Бухгалтер Э. Б. Экология газового комплекса. — М.: Научный мир, 2007. — 382 с.
8. Каракеян В. И., Севрюкова Е. А. Надзор и контроль в сфере безопасности: учебник для академического бакалавриата. — М.: Изд-во «Юрайт», 2019. — 397 с.
9. Подавалов Ю. А. Экология нефтегазового производства. — М.: Инфра-Инженерия, 2010. — 416 с.
10. Зиновьева О. М., Кузнецов Д. С., Меркулова А. М., Смирнова Н. А. Цифровизация систем управления промышленной безопасностью в горном деле // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2-1. — С. 113–123. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.
11. Потапова Е. В. Типология сооружений метрополитена для задач классификации геотехнических рисков // Горные науки и технологии. — 2021. — № 6. — С. 52–60. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-1-52-60.
12. Farràs T. O., Abad D. S., Cámara R. J., Winterberg R. Solving the challenges of the Santoña-Laredo general interceptor collector / Proceedings of the World Tunnel Congress 2017 – Surface challenges – Underground solutions. Bergen, Norway. 2017.
13. Hongjun W. Earth human settlement ecosystem and underground space research // Procedia Engineering. 2016, vol. 165, pp. 765–781. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.774.
14. Kim D. Y., Farrokh E., Song M. K., Hyun K. S. Cutting tool wear evaluation for soft ground TBMs / Proceedings of the World Tunnel Congress 2017 – Surface challenges – Underground solutions. Bergen, Norway. 2017.
15. Kuepferle J., Roetteger A., Thesen W., Alber M. Wear prediction for soft-ground tunneling tools – a new approach regarding the dominant influencing factors in the tribological system of tunneling tools / Proceedings of the World Tunnel Congress 2017 – Surface challenges – Underground solutions. Bergen, Norway. 2017. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Skopintseva O. V., Balovtsev S. V. Air quality control in coal mines based on gas monitoring statistics. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 1, pp. 78–89. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-78-89.
2. Garber V. A. Abnormal situations at underground transport facilities. *Podzemnye gorizonty*. 2018, no. 16, pp. 20–25. [In Russ].
3. Perelmuter A. V., Slivker V. I. Improving the quality of design justifications of projects. *Bst: byulleten' stroitel'noy tekhniki*. 2005, no. 10, pp. 59–62. [In Russ].
4. Eremin A. K., Mukharitsin E. S. The causes of the risks of emergency collapse of buildings and structures. *Georisk*. 2009, no. 3, pp. 54–55. [In Russ].
5. Kaufman L. L., Lysikov B. A. *Geotekhnicheskie riski v podzemnom stroitel'stve (obzor zarubezhnogo opyta)* [Geotechnical risks in underground construction (review of foreign experience)], Donetsk, Nord-Press, 2009, 362 p.

6. Sukhanov D. A. The search for risk. Some aspects of risk assessment of production facilities in the industrial safety and labor protection management system. *Bezopasnost' i okhrana truda*. 2016, no. 1, pp. 17 – 23. [In Russ].

7. Bukhgalter E. B. *Ekologiya gazovogo kompleksa* [Ecology of the gas complex], Moscow, Nauchnyy mir, 2007, 382 p.

8. Karakeyan V. I., Sevryukova E. A. *Nadzor i kontrol' v sfere bezopasnosti: uchebnyy dlya akademicheskogo bakalavriata* [Supervision and control in the field of security: textbook for academic bachelor's degree], Moscow, Izd-vo «Yurayt», 2019, 397 p.

9. Podavalov Yu. A. *Ekologiya neftegazovogo proizvodstva* [Ecology of oil and gas production], Moscow, Infra-Inzheneriya, 2010, 416 p.

10. Zinovieva O. M., Kuznetsov D. S., Merkulova A. M., Smirnova N. A. Digitalization of industrial safety management systems in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 113 – 123. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.

11. Potapova E. V. Typology of metro structures for the tasks of geotechnical risk classification. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, no. 6, pp. 52 – 60. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-1-52-60.

12. Farràs T. O., Abad D. S., Cámara R. J., Winterbarg R. Solving the challenges of the Santoña-Laredo general interceptor collector. *Proceedings of the World Tunnel Congress 2017 – Surface challenges – Underground solutions*. Bergen, Norway. 2017.

13. Hongjun W. Earth human settlement ecosystem and underground space research. *Procedia Engineering*. 2016, vol. 165, pp. 765 – 781. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.774.

14. Kim D. Y., Farrokh E., Song M. K., Hyun K. S. Cutting tool wear evaluation for soft ground TBMs. *Proceedings of the World Tunnel Congress 2017 – Surface challenges – Underground solutions*. Bergen, Norway. 2017.

15. Kuepferle J., Roetteger A., Thesen W., Alber M. Wear prediction for soft-ground tunneling tools – a new approach regarding the dominant influencing factors in the tribological system of tunneling tools. *Proceedings of the World Tunnel Congress 2017 – Surface challenges – Underground solutions*. Bergen, Norway. 2017.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Куликова Елена Юрьевна¹ – д-р техн. наук,
профессор, e-mail: fragrante@mail.ru,
Конюхов Дмитрий Сергеевич¹ – канд. техн. наук,
доцент, e-mail: gidrotehnik@inbox.ru,
¹ НИТУ «МИСиС».

Для контактов: Куликова Е.Ю., e-mail: fragrante@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.Yu. Kulikova¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail: fragrante@mail.ru,
D.S. Konyukhov¹, Cand. Sci. (Eng.),
Assistant Professor, e-mail: gidrotehnik@inbox.ru,
¹ National University of Science and Technology «MISIS»,
119049, Moscow, Russia.

Corresponding author: E.Yu. Kulikova, e-mail: fragrante@mail.ru.

Получена редакцией 22.10.2021; получена после рецензии 24.11.2021; принята к печати 10.12.2021.
Received by the editors 22.10.2021; received after the review 24.11.2021; accepted for printing 10.12.2021.