

СИНТЕЗ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Е.Ю. Куликова¹, Е.В. Потапова¹

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

Аннотация: Безопасность при освоении подземного пространства обеспечивается выбором, основанным на критериальном анализе, управленческих решений по минимизации геотехнических и других видов риска. Именно такой анализ может быть положен в основу синтеза управленческих решений для обеспечения безопасности подземных объектов. Синтез осуществляется на основе теории принятия решений, которая имеет три уровня: концептуальный, концептуально-оперативный и тактический. И если на первом уровне выстраивается концепция и основные стратегические направления по минимизации условий для развития нештатной ситуации, то тактический уровень предполагает выработку грамотных управленческих решений для применения мероприятий по минимизации геотехнических рисков. Для устранения рискового случая в сфере подземного строительства политика выбора управленческого решения должна основываться на синтезе формализованных задач информационно-аналитического характера по выходу из нештатной ситуации благодаря альтернативному варианту решения. Критерием оценки альтернативного решения может служить либо количественная характеристика принимаемых мер для повышения безопасности подземного строительства, т.е. эффективность, либо уровень системного риска, определяемого с учетом всех негативных технико-технологических, экологических, организационных, социальных и экономических факторов, которые могут проявиться в природно-технической геосистеме «породный массив — технология — подземное сооружение — окружающая среда», либо функция полезности управленческого решения. Существенным моментом при обеспечении безопасности является информационно-интеллектуальная поддержка процесса управления при оценке нештатной ситуации в подземном строительстве.

Ключевые слова: управленческое решение, информационно-интеллектуальная поддержка, геотехнический риск, нештатная ситуация, безопасность, технология строительства

Для цитирования: Куликова Е. Ю., Потапова Е. В. Синтез управленческих решений для обеспечения безопасности подземного строительства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 2. – С. 62–69. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_62.

Synthesis of managerial decisions to the effect of underground construction safety

E.Yu. Kulikova¹, E.V. Potapova¹

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

Abstract: Safety of underground space development is ensured by the criterion analysis-based selection of managerial decisions on minimization of geotechnical and other risks. The criterion analysis can be the basis for the synthesis of managerial decisions to the effect of underground safety. The synthesis is implemented using decision making theory which includes conceptual, conceptual-executive and tactical levels. The first and the second levels represent the concept and the main strategies of minimization of the worst-case situation possibility. The tactical level expects elaboration of literate managerial decisions on actions plans aimed at minimization of geotechnical risks. Aimed at elimination of a hazardous event in underground construction, the concept of managerial decision selection should be based on synthesis of formalized informational and analytical problems on avoidance of an off-optimum situation owing to an alternative decision. The alternative decision criterion may be either the quantitative characteristic of undertaken safety provisions in underground construction, i.e. efficiency of safety measures, or the systemic risk level determination including all adverse geotechnical, ecological, organizational, social and economic factors in the nature-and-technology system represented by the rocks mass-technology-underground structure-environment integration, or the utility function of a managerial decision. Regarding the safety provision, it is critical to support the off-optimum situation valuation in underground construction by intelligent information-based reasoning.

Key words: managerial decision, intelligent information support, geotechnical risk, off-optimum situation, safety, construction technology.

For citation: Kulikova E. Yu., Potapova E. V. Synthesis of managerial decisions to the effect of underground construction safety. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(2):62-69. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_62.

Введение

Обеспечение безопасности при освоении подземного пространства всегда сопряжено с необходимостью выбора управленческих решений по минимизации геотехнических и других видов риска [1–6]. При этом возникают два типа решений: программируемые, направленные на разрешение сильно структурированных стандартных проблем, для которых используется апробированный алгоритм (например, стандартные методики по определению физико-механических и других свойств вмещающих подземное сооружение горных пород), и непрограммируемые, плохо поддающиеся формализации и предполагающие учет неизвестных факторов (например, разработка стратегии управления

рисками на конкретном подземном объекте метрополитена) [7].

В связи с тем, что на современном этапе подземного строительства реализация инвестиционно-строительных проектов происходит с конкурентным участием множества строительных организаций, где присутствует понятие «коммерческая тайна», анализ нестандартных ситуаций, как следствие недооценки геотехнического риска [6], либо не проводится, либо полученные результаты не подвергаются архивации и формализации.

Поэтому исключительно важным является разработка методологии управленческих решений для минимизации возможных рисков и обеспечения безопасности подземных объектов.



Рис. 1. Системные уровни управления безопасностью в подземном строительстве

Fig. 1. System-levels of safety management in underground construction

Уровни управления безопасностью подземного строительства

Согласно теории принятия решений в сфере безопасности подземные сооружения относятся к сложным системам, поэтому выбор управленческого решения по ее обеспечению подразумевает обращение к трем системным уровням: концептуально-оперативному, оперативному (с использованием научных и эвристических методов) и тактическому, или уровню структурных элементов [2, 3] (рис. 1).

Для устранения рискованного случая в сфере подземного строительства политика выбора управленческого решения должна основываться на моделировании и синтезе комплекса формализованных

задач информационно-аналитического характера по выходу из нештатной ситуации на основе альтернативного варианта решения [2, 8–11].

При этом основополагающей задачей является анализ геотехнического риска и формулирование цели принятия управленческого решения по его минимизации (рис. 2).

Основные элементы блока задач по выходу из рискованной ситуации

Анализ геотехнического риска и формулирование цели принятия управленческого решения по его минимизации включают:

- оценку нештатной ситуации при строительстве или эксплуатации подземного объекта в динамике, определе-

ние потенциального ущерба от ее развития;

- вербальное описание выявленных геотехнических рисков;
- детерминирование целеполагания с указанием потенциальных результатов;
- топологическое структурирование геотехнических рисков и критериев безопасности подземного строительства на основе минимизации выявленных рисков;
- оценка достоверности предложенных методик;
- определение эффективности мер по достижению поставленной цели.

Потенциальные мероприятия для выхода из нештатной ситуации определяются по результатам анализа геотехнических рисков и включают в себя:

- выявление и анализ управляемых и неуправляемых факторов влияния на развитие геотехнических рисков;
- многофакторный анализ способов преодоления рисков ситуации на весь период жизненного цикла подземного объекта;
- анализ рациональных технологических решений целевой функции минимизации геотехнических рисков;
- построение концептуальной и формализованной моделей геотехнического риска.

Информационно-интеллектуальное обеспечение процессов управления [1] развитием нештатной ситуации должно включать [5, 8, 12–15]:

- определение вектора входной и выходной информации, а также векторов управляющих воздействий;



Рис. 2. Блок задач по выходу из нештатной ситуации

Fig. 2. Block of problems on avoidance of off-optimum situation

- формирование информационного банка данных (Big Data) и обеспечение его оперативности, достоверности и точности;

- обоснование алгоритмического обеспечения обработки и представления информации;

- синтез данных на основе расчетно-аналитических методов и формализованных закономерностей;

- синтез процессов информационно-интеллектуального обеспечения [1].

Выбор приемлемого варианта решения

Критериальной основой оценки альтернативного решения является количественная мера предпринимаемых усилий по повышению безопасности подземного строительства, т.е. эффективность. Чем выше эффективность варианта управленческого решения, тем оно предпочтительнее [1, 3]:

$$a_1 \} \approx a_2 \Leftrightarrow W(a_1) \geq W(a_2), \quad (1)$$

где a_1 и a_2 — альтернативные варианты управленческого решения; $W(a_1)$, $W(a_2)$ — значения оценок критерия для альтернативных вариантов решения; $\} \approx$ — «не хуже, чем...»; \Leftrightarrow — «тогда и только тогда».

Зачастую возникает необходимость использовать дополнительные критерии оценки — либо уровень системного риска в природно-технической геосистеме (ПТГС) «породный массив — технология — подземное сооружение — окружающая среда» (при этом наиболее предпочтительному варианту соответствует минимальный уровень системного риска), либо функцию полезности управленческого решения [1, 2, 14, 16]. Эти критерии учитывают все негативные технико-технологические, экологические, организационные, социальные и экономические факторы, которые могут проявиться в природно-технической геосис-

теме «породный массив — технология — подземное сооружение — окружающая среда».

При оперировании понятием функции полезности более предпочтительным вариантом управленческого решения является тот, для которого значение этой функции является наибольшим, т.е. [1]:

$$a_1 \} \approx a_2 \Leftrightarrow u[W(a_1)] \geq u[W(a_2)] \quad (2)$$

где $u(W)$ — функция полезности управленческого решения, аргументом которой является принятый критерий.

Стохастический характер взаимодействия между элементами ПТГС требует корректировки результатов реализации управленческих решений. Поэтому необходимо сравнение математических ожиданий показателей полезности результатов [1, 2]:

$$a_1 \} \approx a_2 \Leftrightarrow \square [u(R(a_1))] \geq M[u(R(a_2))] \quad (3)$$

где $M[u(R(a))]$ — математическое ожидание полезности.

Для этих целей может быть привлечен метод экспертных оценок. Ввиду многокритериальности задач создания подземных объектов в условиях неопределенности и риска экспертной оценки как таковой недостаточно. Достоверная оценка геотехнических рисков предполагает сопоставление результатов экспертной оценки и статистических данных. При этом широкий диапазон возможностей дает грамотное использование информационного ресурса (информации внутреннего и внешнего характера, архив рисков и BigData) [5].

Выводы

1. В современном мире в сфере строительства подземных объектов существует необходимость создать модель системы менеджмента качества и методики обоснования эффективности выбора технологических решений для органи-

заций подземного строительства с учетом управления геотехническими рисками. Основу синтеза управленческих решений для обеспечения безопасности подземных сооружений составляет системный уровень.

2. Управленческое решение по устранению геотехнического риска должно базироваться на синтезе формализованных задач информационно-аналитического характера по выходу из нештатной ситуации на основе альтернативного варианта решения.

3. Существенным моментом при обеспечении безопасности является информационно-интеллектуальная поддержка

управленческого процесса на стадии оценки нештатной ситуации в подземном строительстве.

4. Критерием оценки альтернативного решения может служить либо эффективность, либо уровень системного риска, либо функция полезности управленческого решения. Эти критерии учитывают все негативные технико-технологические, экологические, организационные, социальные и экономические факторы, которые могут проявиться в природно-технической геосистеме «породный массив — технология — подземное сооружение — окружающая среда».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов В. А., Владимиров В. А., Измалков В. И. Катастрофы и безопасность. — М.: МЧС России, 2006. — 387 с.

2. Куликова Е. Ю. Выработка управленческих решений в сфере безопасности подземного строительства // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 1. — С. 79–82.

3. Деньга В. С., Котельников Н. Ю., Полуторный А. В. Экологическое страхование в топливно-энергетическом комплексе. — М.: Газоил пресс, 1998. — 120 с.

4. Алымов В. Т., Крапчатов В. П., Тарасова Н. П. Анализ техногенного риска. — М.: Центр «Интеграция», 1999. — 160 с.

5. Бурков В. Н., Грацианский Е. В., Дзюбо С. И., Щепкин А. В. Модели и механизмы управления безопасностью. Серия «Безопасность». — М.: СИНТЕГ, 2001. — 160 с.

6. 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.

7. 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.

8. Kulikova E. Yu., Balovtsev S. V. Risk control system for the construction of urban underground structures / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 962, no. 4, article 042020. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042020.

9. 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.

10. Гарбер В. А. Нештатные ситуации в подземных транспортных сооружениях // Подземные горизонты. — 2018. — № 16. — С. 20–25.

11. Sousa R. L. Risk analysis for tunneling projects: Thesis (Ph. D.) Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering. 2010. URL: <http://hdl.handle.net/1721.1/58282>.

12. Чунюк Д. Ю. Особенности классификации и составляющие геотехнического риска в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. — 2013. — № 9. — С. 42–44.

13. Pwint Phyu Khine, Wang Zhao Shun Big data for organizations: a review // *Journal of Computer and Communications*. 2017, vol. 5, no. 3, pp. 40–48.
14. Reis M., Gins G. Industrial process monitoring in the Big data/Industry 4.0 era: From detection, to diagnosis, to prognosis // *Processes*. 2017, no. 5, p. 35.
15. Mishra R. K., Janiszewski M., Uotinen L. K. T., Szydłowska M., Siren T., Rinne M. Geotechnical risk management concept for intelligent deep mines // *Procedia Engineering*. 2017, no. 191, pp. 361–368.
16. Hebblewhite B. K. Geotechnical risk in mining methods and practice: critical issues and pitfalls of risk management. J Wesseloo (ed.) / *Proceedings of the First International Conference on Mining Geomechanical Risk*. Australian Centre for Geomechanics, Perth. 2019, pp. 299–308. **MIAB**

REFERENCES

1. Akimov V. A., Vladimirov V. A., Izmalkov V. I. *Katastrofy i bezopasnost'* [Catastrophes and safety], Moscow, MCHS Rossii, 2006. 387 p.
2. Kulikova E. Yu. Development of management decisions in the field of underground construction safety. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 1, pp. 79–82. [In Russ].
3. Den'ga V. S., Kotel'nikov N. Yu., Polutorny A. V. *Ekologicheskoe strakhovanie v toplivno-energeticheskom komplekse* [Environmental insurance in the fuel and energy complex], Moscow, Gazoil press, 1998, 120 p.
4. Alymov V. T., Krapchatov V. P., Tarasova N. P. *Analiz tekhnogennogo riska* [Analysis of technogenic risk], Moscow, Tsentr «Integratsiya», 1999, 160 p.
5. Burkov V. N., Gratsianskiy E. V., Dzyubko S. I., Shchepkin A. V. *Modeli i mekhanizmy upravleniya bezopasnost'yu. Seriya «Bezopasnost'»* [Models and mechanisms of safety management. Series «Safety»], Moscow, SINTEG, 2001, 160 p.
6. 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.
7. 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.
8. Kulikova E. Yu., Balovtsev S. V. Risk control system for the construction of urban underground structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 962, no. 4, article 042020. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042020.
9. 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.
10. Garber V. A. Abnormal situations at underground transport facilities. *Podzemnye gorizonty*. 2018, no. 16, pp. 20–25. [In Russ].
11. Sousa R. L. *Risk analysis for tunneling projects*: Thesis (Ph. D.) Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering. 2010. URL: <http://hdl.handle.net/1721.1/58282>.
12. Chunyuk D. Yu. Features of classification and components of geotechnical risk in construction. *Industrial and civil engineering*. 2013, no. 9, pp. 42–44.
13. Pwint Phyu Khine, Wang Zhao Shun Big data for organizations: a review. *Journal of Computer and Communications*. 2017, vol. 5, no. 3, pp. 40–48.
14. Reis M., Gins G. Industrial process monitoring in the Big data/Industry 4.0 era: From detection, to diagnosis, to prognosis. *Processes*. 2017, no. 5, p. 35.
15. Mishra R. K., Janiszewski M., Uotinen L. K. T., Szydłowska M., Siren T., Rinne M. Geotechnical risk management concept for intelligent deep mines. *Procedia Engineering*. 2017, no. 191, pp. 361–368.

16. Hebblewhite B. K. Geotechnical risk in mining methods and practice: critical issues and pitfalls of risk management. J Wesseloo (ed.). *Proceedings of the First International Conference on Mining Geomechanical Risk*. Australian Centre for Geomechanics, Perth. 2019, pp. 299–308. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Куликова Елена Юрьевна¹ – д-р техн. наук, профессор, e-mail: fragrante@mail.ru,

Потапова Елена Владимировна¹ – аспирант, e-mail: elka23sp@yandex.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,

E.V. Potapova¹, Graduate Student, e-mail: elka23sp@yandex.ru,

¹ National University of Science and Technology «MISiS»,

119049, Moscow, Russia.

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

Получена редакцией 03.11.2021; получена после рецензии 18.11.2021; принята к печати 10.01.2022.

Received by the editors 03.11.2021; received after the review 18.11.2021; accepted for printing 10.01.2022.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА «АВТОНОМНЫЙ МЕТЕОЛОГГЕР»

(№ 1249/02-22 от 17.12.2021; 8 с.)

Жилов И.А.¹, Шаповалов М.А.¹, Добагов Р.Р.¹, Дагхма Басель¹, Таумурзаев И.К.¹

¹ Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Институт информатики, электроники и робототехники.

Температура, влажность и давление – одни из важнейших параметров, контролируемых как в быту, так и в технологических процессах большинства отраслей народного хозяйства: предприятий нефтедобывающего и перерабатывающего комплекса, пищевой промышленности, современной энергетики, и других отраслей.

Ключевые слова: температура, влажность, мониторинг, метеологгер.

DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX «AUTONOMOUS METEOROLOGIST»

I.A. Zhilov¹, M.A. Shapovalov¹, R.R. Dobagov¹, Dagkhma Basel¹, I.K. Taumurzaev¹

¹ H.M. Berbekov Kabardino-Balkar State University, Institute of Computer Science, Electronics and Robotics, 360004, Nalchik, Russia.

Temperature, humidity and pressure are one of the most important parameters controlled both in everyday life and in the technological processes of most sectors of the national economy: enterprises of the oil-producing and processing complex, the food industry, modern energy, and other industries.

Key words: temperature, humidity, monitoring, meteorologists.