

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ГОРОДСКИХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Е.Ю. Куликова

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва

Аннотация: Строительные процессы и условия строительства никогда не повторяются. Поэтому необходима методика повышения эколого-технологической надежности, применимая к освоению подземного пространства. Повышение эколого-технологической надежности при освоении подземного пространства городов должно базироваться на надежности применяемых строительных технологий. Анализ отечественного и зарубежного опыта применения геотехнологий и методов подземного строительства в их различной комбинации и выработка решений, нацеленных на повышение эффективности освоения подземного пространства, весьма актуальны в современных условиях развития города. Современный опыт подземного строительства расширяет диапазон возможностей повышения надежности освоения подземного пространства, основанных на использовании различных технологий подземного строительства. Так, совершенствуются конструкции головной части проходческих щитов, увеличивается спектр условий их применения – от неоднородных неустойчивых грунтов до раздробленных скальных формаций. Большое распространение приобретает технология микро- и минитоннелирования при прокладке трубопроводов различного назначения. Практически в любых горно-геологических условиях и на любых глубинах применяется ново-австрийский способ проходки тоннелей. Совершенствуются способы укрепления грунтов, направленные на снижение риска осадки земной поверхности в городских условиях: химукрепление, jet-grouting и т.п. Возрастает роль мониторинга деформаций и осадок земной поверхности в районе размещения подземного объекта, его научного сопровождения на всех этапах жизненного цикла, мероприятий по минимизации всех видов риска. В этих условиях как никогда актуальной становится задача оценки современных способов повышения надежности и безопасности освоения подземного пространства городов на основе инженерного проектирования и выработки методических основ выбора надежных технологических решений подземного строительства.

Ключевые слова: эколого-технологическая надежность, строительные технологии, риск, дерево возможностей.

Для цитирования: Куликова Е.Ю. Методические основы Повышения эколого-технологической надежности городских подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1. – С. 176–185. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-176-185.

Methodical principles for improving the ecological and technological reliability of urban underground structures

E.Yu. Kulikova

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

Abstract: Construction processes and construction conditions are never repeated. Therefore, a method for improving environmental and technological reliability, which is applicable to the development of underground space, is necessary. Improving environmental and technological reliability in the development of the underground space of cities should be based on the reliability of the construction technologies. Systematization and analysis of world experience in the use of various combinations of construction technologies that increase the reliability of construction of underground facilities is an urgent scientific task, the solution of which allows increasing the efficiency of underground space development. Modern experience of underground construction expands the range of possibilities for improving the reliability of underground space development, based on the use of various underground construction technologies. Thus, the design of the head part of the tunneling boards is being improved, and the range of conditions for their use is increasing from inhomogeneous unstable soils to fragmented rock formations. The technology of micro – and mini-tunneling for laying pipelines for various purposes is becoming widespread. In almost any mining and geological conditions and at any depth, the new Austrian method of tunneling is used. Methods of soil strengthening aimed at reducing the risk of precipitation of the earth's surface in urban conditions are being improved: chemical reinforcement, jet-grouting, etc. The role of monitoring of deformations and sedimentation of the earth's surface in the area of underground object placement, its scientific support at all stages of the life cycle, and measures to minimize all types of risk is increasing.

Key words: ecological and technological reliability, construction technologies, risk, tree of opportunities.

For citation: Kulikova E.Yu. Methodical principles for improving the ecological and technological reliability of urban underground structures. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6-1):176-185. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-176-185.

Введение

Повышение эколого-технологической надежности при освоении подземного пространства городов должно базироваться на надежности применяемых строительных технологий, которая обеспечивается за счет:

- концепции экологической безопасности строительства подземного сооружения;
- минимизации рисков в постоянно меняющихся горно-геологических условиях строительства;
- комплексного подхода к выбору различных технологий и технических приемов подземного строительства;
- геотехнического и геоэкологического мониторинга для обнаружения разуплотненных зон породного массива, вмещающего подземный объект;
- тампонажа вмещающих пород с целью их упрочнения и предотвращения оседания земной поверхности;

- методики выбора технологий и технических приемов, повышающих эколого-технологическую надежность строительства подземных объектов.

Поэтому надежность строительных технологий можно трактовать как их способность предупреждать возможные отказы в результате простоев и аварий [1, 2].

Современные способы повышения эколого-технологической надежности подземных сооружений

Согласно [2, 3], существуют следующие способы повышения эколого-технологической надежности:

- совершенствование инженерных изысканий, применение инновационных высоких технологий подземного строительства, создание системы мониторинга и оборудования для контроля состояния массива впереди забоя (подземной выработки);
- минимизация рисков на всех этапах жизненного цикла подземного объекта;

- простота;
- применение стандартных элементов с проверенной надежностью;
- снижение вероятности отказов в процессе строительства подземных сооружений;
- соответствие срокам строительства и его стоимостным показателям при осуществлении проекта с учетом выполнения требований устойчивости, безопасности и экологической стабильности.

Основой для повышения эколого-технологической надежности строительства современных подземных объектов в разных странах являются:

- усиление роли геологической разведки для определения свойств массива горных пород и предпроектной подготовки строительства подземных объектов;
- повышение роли дистанционного управления и BIM-проектирования подземных объектов;
- минимизация инвестиционных, строительных, эксплуатационных, организационно-управленческих и экологических рисков при освоении подземного пространства [4–13];
- повышение эколого-технологической безопасности освоения подземного пространства города (за счет тщательного и своевременного прогноза горно-геологических условий строительства, снижения вероятности осадок земной поверхности; применения высоких и экологически чистых технологий, современных средств механизации проходческих работ, уменьшения аварийного риска и повышения ответственности всех участников строительного процесса).

Реализация концепции обеспечения эколого-технологической надежности строительства городских подземных сооружений

Реализация концепции обеспечения эколого-технологической надежности

строительства городских подземных сооружений может быть достигнута при осуществлении следующих мероприятий [14, 15, 17].

1. Применение ГИС-районирования территорий городов по геоэкологическим, геотехническим, инженерно-геологическим критериям для системы взаимодействия геологической среды с подземными и наземными сооружениями.

2. Развитие нормативной базы в области строительства подземных сооружений, позволяющей грамотно осуществлять проектно-изыскательские работы и принимать надежные технологические решения, включая мероприятия инженерной защиты от опасных природно-техногенных процессов.

3. Обязательный контроль, научное сопровождение и мониторинг на всех этапах жизненного цикла подземного сооружения, особенно при его локализации в зонах геологического и геоэкологического рисков.

4. Усиление геотехнического и геоэкологического аспектов при формировании стратегии безопасности освоения подземного пространства.

5. Ужесточение требований к страхованию рисков строительных организаций, оценке технико-экономической эффективности принимаемого технологического решения к повышению квалификации специалистов в области подземного строительства.

Инженерный анализ возможности повышения надежности подземных объектов

В основе повышения эколого-технологической надежности строительства подземных сооружений должен лежать инженерный анализ (рис. 1), в котором особое внимание уделяется классификации приемов и технологий (табл. 1).



Рис. 1. Блок-схема мероприятий по повышению надежности освоения подземного пространства

Fig. 1. Block diagram of measures to improve the reliability of underground space development

Эта классификация [2, 16, 17] определяет общие направления научно-технического прогресса в сфере освоения подземного пространства на основе обобщения мирового опыта строительства подземных сооружений.

Из таблицы следует, что различные способы повышения эколого-технологической надежности освоения подземного пространства обусловлены неодинаковым составом элементов главного структурного блока, факторов активного воздействия, а также составных частей блока и связей между ними. Следовательно, эколого-технологическую надежность подземного строительства можно повысить путем осуществления комплекса мероприятий по изыскательским работам, использования «высоких» технологий, технических приемов и мер по безопасности, широкого применения новых достижений в подземном строительстве [1, 15, 18]. При изменении «начинки» главного блока за счет вариаций функций и мер по повышению надежности можно добиться ради-

кального изменения факторов активного воздействия и изменения структуры процессов строительства подземных сооружений, а, следовательно, и строительных геотехнологий. Табл. 1 отражает современные подходы к выбору строительных геотехнологий и приемов, повышающих эколого-технологическую надежность подземного строительства.

За счет изменения свойств и параметров таблицы можно оценить последствия принятых строительных решений и сделать прогноз их эффективности [19] в плане повышения надежности подземных объектов.

Методика выбора технологий, повышающих эколого-технологическую безопасность

Методика выбора технологий, повышающих эколого-технологическую безопасность и надежность строительства подземных объектов, включает следующие этапы.

1. Для каждой строительной геотехнологии осуществляют системный

Таблица 1

Классификация приемов и технологий, повышающих эколого-технологическую надежность подземного строительства
Classification of techniques and technologies that increase the environmental and technological reliability of underground construction

Главный структурный блок	Факторы активного воздействия	Составные части блока и связи между ними
Разведочные выработки; геофизические и дистанционные методы, космические наблюдения и аэрофотосъемка; бурение скважин с испытанием кернов	Изучение и прогноз изменения напряженно-деформированного состояния вмещающих грунтов, грунтовых вод; анализ аномальных проявлений; геомониторинг [4, 17] и контроль текущей и долговременной ситуации	Карты геологического, геохимического и геодинамического рисков; банк данных ЕГИСМ; совершенствование нормативной базы; методическое обеспечение проектно-изыскательских работ; контроль динамики и специфических черт природно-технической геосистемы «подземное сооружение — окружающая среда»
<i>Экологически безопасные строительные геотехнологии в сложных горно- и гидрогеологических условиях</i> Использование бесосадочных способов строительства: «стена в грунте»; буронабивные и бурообсадочные сваи; jet-grouting; применение «высоких» технологий: щитовой проходки, NATM, микро- и минитоннелирование для строительства тоннелей и коллекторов	Устройство глубоких вводов; укрепление грунтов и обеспечение надежной гидроизоляции подземных сооружений; замена железобетонной обделки в несвязных грунтах на фибробетон	Применение щитовой проходки и способа NATM в любых горно-геологических условиях в сочетании с химическим укреплением пород; обязательное научное сопровождение всех работ по освоению подземного пространства, геомониторинг на этапе строительства и эксплуатации подземного объекта
<i>Технико-технологические приемы обеспечения безопасности освоения подземности городов</i> Минимизация аварийных рисков, осадок и деформаций земной поверхности; снижение шумовых и вибрационных воздействий; выявление карстовых полостей, пльивунов, геопатогенных зон и других аномалий [10, 17], прогнозирование прорывов подземных вод в горные выработки; обрушений стенок траншей и котлованов; ярусное деление подземного пространства: предотвращение	Проходка тоннелей щитами с гидро-, пневмо- или грунтовыми пригрузом забоя; использование георадаров, геофизических методов; геомониторинг; установка шумозащитных экранов, постелей и эластичных оснований железнодорожных путей; надежная гидроизоляция, химукрепление вмещающих грунтов; особые меры при строительстве в зонах разломов; сотрудничество проектировщиков,	Минимизация риска осадок земной поверхности, применение геомониторинга для обоснования наиболее надежных технологий и методов строительства; применение новых материалов для обеспечения гидроизоляции и химического укрепления грунтов; совершенствование конструкций обделок подземных сооружений; сложная работа всех участников строительства и его научное сопровождение

Окончание табл. 1

<p>Главный структурный блок аварий и простоев из-за обрушения откосов котлованов</p>	<p>Факторы активного воздействия заказчиков, инвесторов, ученых и строителей для повышения надежности освоения подземного пространства городов</p>	<p>Составные части блока и связи между ними</p>
<p>Инновации в подземном строительстве Усиление роли менеджмента при освоении подземного пространства городов</p>	<p>Применение проходческих щитов с активным пригрузом забоя; расширение применения безлюдных технологий строительства; эквивалентное, аналоговое и математическое моделирование взаимодействия элементов в системе «подземное сооружение — окружающая среда»; инновационные проекты на новом уровне строительства, основанные на мировом уровне техники и технологий, мировых достижениях; подготовка и проведение тендеров на строительство уникальных подземных объектов города</p>	<p>Инъектирование химических растворов во вмещающие породы, применение анкерного крепления; разработка стратегии управления рисками в подземном строительстве; применение при проходке передвижной опалубки и передвижного полка; оценка динамики природно-технической геосистемы; обмен опытом строительства подземных объектов на международном уровне и отечественных конференциях по освоению подземного пространства городов; международное сотрудничество на мегауровнях; решение вопросов по обеспечению экологической безопасности в подземном строительстве; создание новых многоуровневых инфраструктур; проектирование и строительство подземных сооружений нового поколения</p>

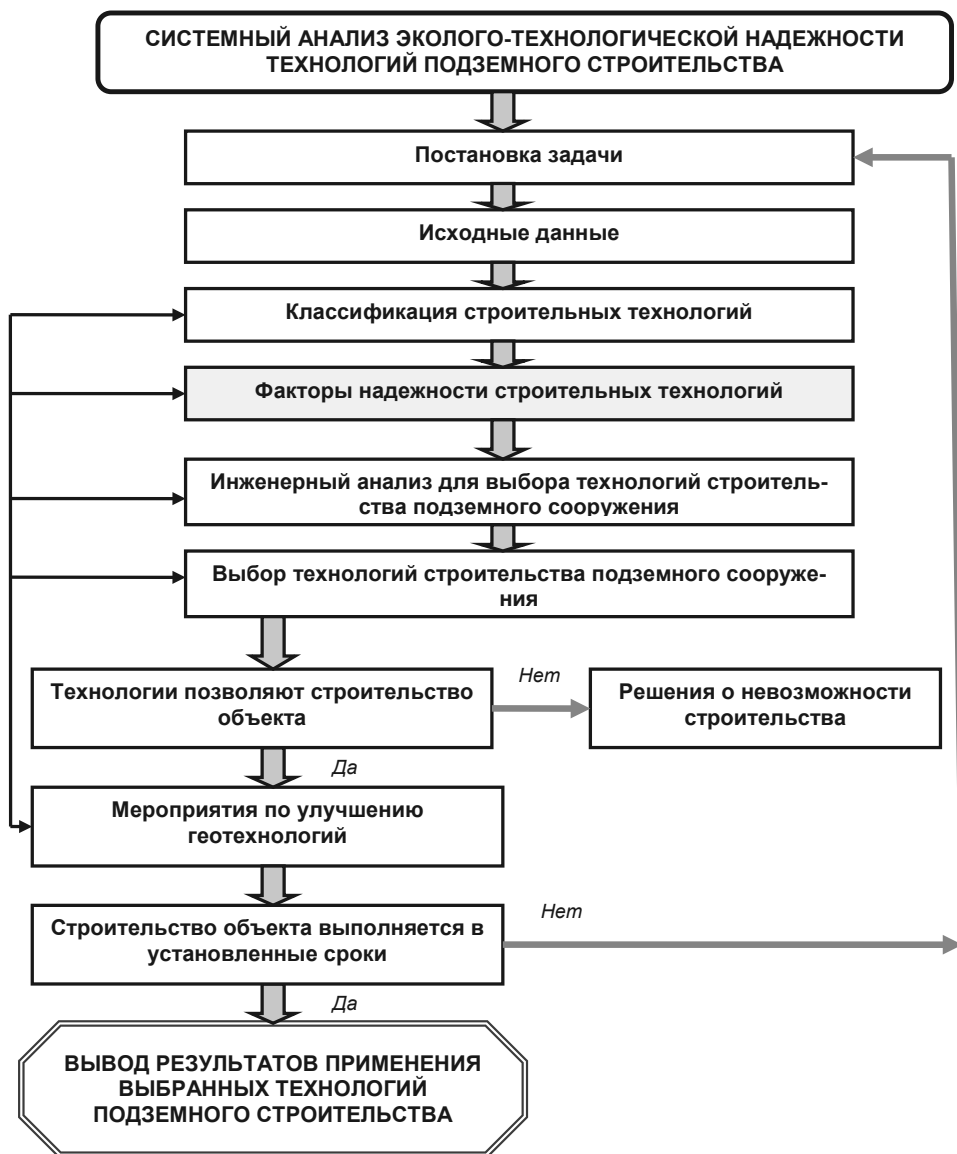


Рис. 2. Структурная блок-схема выбора строительных геотехнологий, отвечающих технолого-экологической безопасности подземного строительства

Fig 2. Structural block diagram for selecting a set of technologies that increase the safety and reliability of underground construction

анализ ее надежности, при этом общая надежность строительного процесса складывается из применения комплекса различных строительных технологий.

2. Применительно к конкретному подземному сооружению рассматри-

вают постановку задачи выбора комплекса строительных геотехнологий.

3. Анализируют параметры, объемы, условия и проектные решения применительно к строительству конкретного подземного объекта.

4. На основе приведенной классификации рассматривают альтернативные варианты комплексов строительных геотехнологий применительно к конкретному объекту.

5. Для каждой строительной технологии анализируют факторы эколого-технологической надежности.

6. Выбор комплекса технологий применительно к конкретному подземному объекту осуществляют на основе инженерного анализа.

7. Для каждого конкретного подземного сооружения составляют дерево возможностей для обоснования и выбора строительных технологий.

8. В случае, когда предложенные технологии являются рациональными для данного объекта, переходят к следующему этапу методики, в противном случае принимают решение о нецелесообразности строительства подземного сооружения.

9. С учетом мирового опыта освоения подземного пространства городов обосновывают и предлагают меры по совершенствованию строительных технологий.

10. Если при применении предложенных строительных технологий проектный срок обеспечивается, то выполняются последний шаг методики.

11. Окончательный выбор оптимальных строительных технологий,

отвечающих заданному уровню надежности при освоении городского подземного пространства [17].

Процедура выбора экологически и технико-технологически безопасных геотехнологий при освоении подземного пространства городов показана на рис. 2.

Выводы

1. Освоение подземного пространства городов на современном этапе необходимо осуществлять на основе концепции обеспечения эколого-технологической надежности строительства городских подземных сооружений, главными инструментами реализации которой являются геотехнический и геоэкологический мониторинг, научное сопровождение строительства, моделирование текущей и долговременной ситуации и управление экономическими, организационными и технологическими рисками.

2. Методика повышения эколого-технологической надежности при освоении подземного пространства городов должна строиться на системном анализе технологий, инженерном анализе и уточнении исходных данных с учетом динамики изменения природных условий в ходе строительства, а также на оценке факторов риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kulikova E. Yu.* Assessment of the Operating Environment of the Concrete Lining of Sewage Collector Tunnels. *Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 687, 044035, doi:10.1088/1757-899X/687/4/044035, pp. 1–7

2. *Rybak J., Ivannikov A., Kulikova E., Żyrek T.* Deep excavation in urban areas – defects of surrounding buildings at various stages of construction. // *MATEC Web Conf.* Vol.146, 2018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20181460201>

3. *Лернер В.Г., Петренко Е.В.* Систематизация и совершенствование технологий строительства подземных объектов. – М.: ТИМР, 1999. – 188 с.

4. *Баловцев С.В., Шевчук Р.В.* Геомеханический мониторинг шахтных стволов в сложных горно-геологических условиях // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* – 2018. – №8. – С. 77–83. DOI:10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83.

5. *Баловцев С.В.* Оценка аэрологического риска аварий на выемочных участках угольных шахт, опасных по взрывам газа и пыли // *Горный журнал.* – 2015. – №5. – С. 91–93. DOI: 10.17580/gzh.2015.05.19.

6. Batugin A. *Critically stressed areas of earth's crust as medium for man-caused hazards*. // E3S Web of Conferences, 56, 2018; doi:10.1051/e3sconf/20185602007.

7. Дудлер И.В., Королев М.В., Ухов С.Б. «Взаимосвязь инженерно-геологических, геотехнических и геоэкологических аспектов обеспечения надежности строительства городских заглубленных подземных сооружений». — Материалы конференции «Подземный город, геотехнология и архитектура». С.-Петербург: «Тема», 1998. — С. 520 — 523.

8. Малашкина В.А., Копылова А.В. *Обзор опыта проведения периодической оценки условий труда на горнодобывающих предприятиях Республики Казахстан*. // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 5. — С. 209 — 218.

9. Пелипенко М.В., Баловцев С.В., Айнбиндер И.И. К вопросу комплексной оценки рисков аварий на рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 11. — С. 180–192. DOI: 10.25018/0236–1493–2019–11–0-180–192.

10. Скопиццева О.В., Ганова С.Д., Демин Н.В., Папичев В.И. Комплексный метод снижения пылевой и газовой опасностей в угольных шахтах // Горный журнал. — 2018. — № 11. — С. 97 — 100. DOI: 10.17580/gzh.2018.11.18.

11. Kasperson R.E., Renn O., Slovic P. et al. The Social Amplification of Risk: A Conceptual Framework // Risk Analysis. — 1988. — Vol. 8. № 2. — P. 177–187.

12. Lewis H.W. *Technological Risk*. — New York; London, 1990. — 280 p.

13. Lindley D.V. *Making Decisions*. — 2nd edition. — London, 1985. — 286 p.

14. Рубан А.Д. Геоинформационное и геомеханическое обеспечение комплексного освоения недр мегаполисов. — М.: Труды научного симпозиума «Неделя горняка-2009», 2009. — С. 33 — 42.

15. Куликова Е.Ю., Корчак А.В., Левченко А.Н. Стратегия управления рисками в городском подземном строительстве. — М: Горная книга, 2005. — 223 с. ISBN 5-7418-0387-3.

16. Левченко А.Н., Лернер В.Г., Петренко Е.В., Петренко И.Е. Организация освоения подземного пространства. Сверхшения и надежды. — М.: ТИМР, 2002. — 406с.

17. Шишиц И.Ю. Комплексное прогнозирование оценок безопасности при захоронении радиоактивных отходов (учебное пособие). — М.: Издательство МГГУ, 2006. — 263 с.

18. Kulikova E.Yu. Risk Assessment of Dangerous Natural Processes and Phenomena in Mining Operations. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences book series (SPEES), Springer, Chamю — p.21 — 33, 2019 https://doi.org/10.1007/978-3-030-18641-8_3

19. Wang T.R., Pedroni N., Zio E., Mousseau V. Identification of Protective Actions to Reduce the Vulnerability of Safety-Critical Systems to Malevolent Intentional Acts: An Optimization-Based Decision-Making Approach // An International Journal «Risk Analysis». — vol. 40, issue 3. — 2019. — Pp.565 — 587. **PLoS**

REFERENCES

1. Kulikova E.Yu. Assessment of the Operating Environment of the Concrete Lining of Sewage Collector Tunnels. Materials Science and Engineering, 2019, vol. 687, 044035, doi:10.1088/1757–899X/687/4/044035, pp. 1 — 7.

2. Rybak J., Ivannikov A., Kulikova E., Żyrek T. Deep excavation in urban areas defects of surrounding buildings at various stages of construction. MATEC Web Conf. Vol.146, 2018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20181460201>.

3. Lerner V.G., Petrenko E.V. *Sistematizaciya i sovershenstvovanie tekhnologij stroitel'stva podzemnyh ob'ektov* [Systematization and improvement of technologies for construction of underground facilities]. Moscow: TIMR, 1999. 188 p. [In Russ]

4. Balovtsev S.V., Shevchuk R.V. Geomechanical monitoring of mine shafts in difficult ground conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018. no. 8. pp. 77 — 83. DOI:10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83. [In Russ]

5. Balovtsev S.V. Aerological risk assessment in working areas of gas and dust explosion-hazardous coal mines. *Gornyj zhurnal*. 2015. no. 5. pp. 91 — 93. DOI: 10.17580/gzh.2015.05.19. [In Russ]

6. Batugin A. Critically stressed areas of earth's crust as medium for man-caused hazards. E3S Web of Conferences, 56, 2018; doi:10.1051/e3sconf/20185602007.
7. Dudler I.V., Korolev M.V., Uhov S.B. *Vzaimosvyaz' inzhenerno -geologicheskikh, geotekhnicheskikh i geokologicheskikh aspektov obespecheniya nadezhnosti stroitel'stva gorodskikh zaglublennykh podzemnykh sooruzhenij* [Interrelation of engineering-geological, geotechnical and geocological aspects of ensuring reliability of construction of urban buried underground structures]. *Materialy konferencii «Podzemnyj gorod, geotekhnologiya i arhitektura»*. S.-Peterburg, «Tema», 1998. pp. 520 – 523. [In Russ]
8. 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.* no. 5. 2019. pp. 209 – 218 [In Russ]
9. Pelipenko M.V., Balovtsev S.V., Aynbinder I.I. Integrated accident risk assessment in mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019. no. 11. pp. 180–192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192. [In Russ]
10. Skopintseva O.V., Ganova S.D., Demin N.V., Papichev V.I. Integrated method of dust and gas hazard reduction in coalmines. *Gornyj zhurnal*. 2018. no. 11. pp. 97 – 100. DOI: 10.17580/gzh.2018.11.18. [In Russ]
11. Kasperson R.E., Renn O., Slovic P. et al. The Social Amplification of Risk: A Conceptual Framework. *Risk Analysis*. 1988. Vol. 8. no. 2. P. 177–187.
12. Lewis H.W. *Technological Risk*. New York; London, 1990. 280 p.
13. Lindley D.V. *Making Decisions*. 2nd edition. London, 1985. 286 p.
14. Ruban A.D. *Geoinformacionno e i geomekhanicheskoe obespechenie kompleksnogo osvoeniya ndr megapolisov* [Geoinformation and geomechanical support for integrated development of the subsoil of megalopolises]. Moscow: Trudy nauchnogo simpoziuma «Nedelya gornyaka-2009», 2009. pp. 33 – 42. [In Russ]
15. Kulikova E.Yu., Korchak A.V., Levchenko A.N. *Strategiya upravleniya riskami v gorodskom podzemnom stroitel'stve* [Risk management Strategy in urban underground construction]. Moscow, Gornaya kniga, 2005. 223 p. ISBN 5-7418-0387-3. [In Russ]
16. Levchenko A.N., Lerner V.G., Petrenko E.V., Petrenko I.E. *Organizaciya osvoeniya podzemnogo prostranstva. Sversheniya i nadezhdy* [Organization of underground space development. Achievements and hopes]. Moscow, TIMR, 2002. 406 p. [In Russ]
17. Shishchic I.Yu. *Kompleksno e progno zirovanie ocenok bezopasnosti pri zahoroneni radioaktivnykh othodov* [Forecasting assessments of safety in the disposal of radioactive wastes] (uchebnoe posobie). Moscow, Publishing house MGGU, 2006. 263 p. [In Russ]
18. Kulikova E.Yu. Risk Assessment of Dangerous Natural Processes and Phenomena in Mining Operations. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences book series (SPEES), Springer, Cham, pp. 21 – 33, 2019 https://doi.org/10.1007/978-3-030-18641-8_3.
19. Wang T.R., Pedroni N., Zio E., Mousseau V. Identification of Protective Actions to Reduce the Vulnerability of Safety-Critical Systems to Malevolent Intentional Acts: An Optimization-Based Decision-Making Approach. *An International Journal «Risk Analysis»*. vol. 40, issue 3. 2019. pp. 565 – 587.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Куликова Елена Юрьевна — докт. техн. наук, профессор, кафедра «Строительство подземных сооружений и горных предприятий», fragante@mail.ru
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Ленинский пр., 4, Москва, 119049.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kulikova E.Yu., Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department «Construction of Underground Structures and Mining Enterprises», 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.