

РИСКИ КАК ПРИЧИНА СНИЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Е.Ю. Куликова¹, О.В. Виноградова¹

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

Аннотация: Подземное строительство характеризуется воздействием большого количества опасных и вредных факторов, что в свою очередь формирует различные виды риска. Риски способствуют снижению надежности и долговечности подземного сооружения. Анализ причин возникновения рисков показывает, что ошибки и неслаженная работа персонала являются основными факторами при производстве строительных работ и в процессе эксплуатации подземного объекта. Представлены основные виды рисков при подземном строительстве и строительные риски. Представлены виды производственного контроля качества строительных сооружений. Рассмотрено определение аварийной опасности. При распределении аварийных ситуаций в подземном строительстве основная доля приходится на ошибки персонала, как руководителей, так и исполнителей. Недостаток квалификации, отсутствие взаимодействия персонала, нарушение трудовой дисциплины, недостаток контроля — все это приводит к аварийным ситуациям при подземном строительстве. В зависимости от оценки состояния подземных сооружений разрабатываются технические и организационные мероприятия. Показано, что снижение технических рисков должно базироваться на совершенствовании технологии и технических средств строительства, защитных средств и систем, обеспечивающих коллективную защиту трудящихся. Также необходимо совершенствование нормативной базы, методик оценки состояния производственной среды, методов проектирования горно-технологических систем и др. В организационном плане для снижения рисков предполагается создание таких социально-психологических условий, при которых персонал компании максимально мотивирован на эффективную и безопасную работу как каждого работника лично, так и всего предприятия (фирмы, компании) в целом.

Ключевые слова: строительство, безопасность, надежность, оценка, риск, персонал предприятия, деятельность персонала, защищенность, критерий безопасности.

Для цитирования: Куликова Е. Ю., Виноградова О. В. Риски как причина снижения промышленной безопасности при строительстве подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 7. – С. 146–154. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.

Risks as a cause of industrial safety inhibition in underground construction

E.Yu. Kulikova¹, O.V. Vinogradova¹

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

Abstract: Underground construction is always affected by numerous hazards. The risks degrade safety and longevity of underground structures. The risk analysis shows that the main root causes of risk are the errors and ill-coordinated work of personnel in construction and operation of an underground facility. The major risks in underground construction are described. The modes of industrial supervision over construction quality are presented. The definition of an accident risk is discussed. The majority of accidents falls at the errors of personnel, both managers and executives. Shortage of skills, lack of coordination, violation of labor discipline and deficiency of control lead to disasters in underground constructions. The required organizational arrangements are developed subject to assessment of underground structure conditions. Mitigation of technical risks should base on advance of protection technologies and equipment to ensure collective safety of workers. Furthermore, it is necessary to improve regulatory system, assessment of the industrial environment condition, mine planning and design methods, etc. Organizationally, risk reduction needs creation of social and psychological climate to motivate personnel to work safely and efficiently, including each individual and the whole company.

Key words: construction, safety, reliability, assessment, risk, mine personnel, personnel activities, shelteredness, safety criterion.

For citation: Kulikova E. Yu., Vinogradova O. V. Risks as a cause of industrial safety inhibition in underground construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(7):146-154. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.

Введение

В современных условиях стратегия развития строительного бизнеса на всех стадиях его жизненного цикла (проектирование, строительство, эксплуатация) должна выстраиваться с учетом комплексного подхода ко всем видам и факторам риска, возникающего по вине персонала и носящего отраслевой или межотраслевой характер.

Строительству, и особенно подземному, присущ высокий уровень риска, характеризующийся существенным влиянием отступлений от требований проекта или их невыполнением как по срокам, так и по качеству произведенных работ. Это отклонение обусловлено многими скрытыми условиями строительства, особенно масштабным воздействием опасных и вредных факторов.

С течением времени и в связи с научно-техническим прогрессом в строительной отрасли резко изменились требования к строительному производству: научные обоснования прочности, ресур-

са, живучести, безопасности, рисков и защищенности объектов. Можно наглядно проследить динамику системы расчетов, начиная от той, которая использовалась в предвоенные и послевоенные годы и отличалась простотой, и заканчивая сложным аппаратом новых представлений, учитывающих все рискообразующие факторы, характерные для сегодняшнего дня.

Виды строительных рисков

Понятие «риск», согласно международным стандартам, представляет собой сочетание вероятности и последствий (ущерба) наступления неблагоприятных событий. Так в экологических кругах опасности оценивают как какое-либо воздействие на здоровье человека или окружающую среду, хотя в более широком социальном смысле они имеют также и экономическое, культурное и психологическое значение.

Риски измеряются как объективно, так и субъективно. Если измерение объ-

активное, то его можно выразить количественно, и в большинстве случаев обработать с помощью ряда стандартных методик. При этом требуется комплексно оценить формируемые сложные системы, токсикологию новых субстанций или потенциальные экономические последствия определенных действий. Если измерение субъективное, то тут большую роль играет оценка качественных изменений. К сожалению, на практике, как правило, приходится иметь дело с преобладающими субъективными подходами [1 – 3].

Основные виды рисков, которые встречаются при подземном строительстве показаны в работе [4]. Наиболее значимыми по своему воздействию являются строительные и эксплуатационные риски.

Как при строительстве, так и в процессе длительной эксплуатации подземные сооружения подвергаются воздействию природных факторов: геологических и горно-технологических. Существенное влияние оказывают также технологические и техногенные нагрузки, деструктивные процессы (износ, коррозия, старение, деформация конструкций и оборудования, фильтрация, трещинооб-

разование во вмещающем породном массиве и т.п.).

В результате воздействия одного из этих факторов или их совокупности фактическое состояние эксплуатируемого подземного сооружения может в существенной мере отличаться от того, что предусмотрено в проекте. Аварийную ситуацию в подземном строительстве может спровоцировать не только износ конструкций подземных объектов, воздействие сверхнормативных техногенных и природных нагрузок, но и, в первую очередь, ошибки персонала, занятого в строительско-эксплуатационных процессах. В этом случае очень существенную роль оказывает квалификация и компетентность последнего. Например, нарушения требований безопасности при строительстве свидетельствуют о недостаточной квалификации как руководящего состава в части проектирования и организации строительных работ, так и рабочих, квалификация которых не позволяет выполнить необходимые работы с достаточной степенью ответственности [5].

На рис. 1 представлена диаграмма аварий при подземном строительстве [6],



Рис. 1. Диаграмма аварий в подземном строительстве

Fig. 1. Diagram of accidents in underground construction

из которой следует, что максимальную долю — 31% — составляют неустановленные причины, в частности, ошибки исполнителей и руководителей, а также горно-технологические факторы. Далее по значимости — 28% — приходится на отступления от паспорта производства работ, что также непосредственно связано с персоналом. К конструктивным недостаткам и материалам относятся 14%, которые допускаются по вине персонала при изготовлении материалов из-за отсутствия у него необходимых навыков и квалификации. Недостатки изысканий проекта составляют 10% и, в первую очередь, определяются невыполнением требований нормативно-правовой документации вследствие недостаточной профессиональной подготовленности исполнителей. Несвоевременные ремонты и осмотры (8% всех причин) также происходят в результате пренебрежения ответственностью и дисциплиной по вине как руководителей, так и исполнителей.

В результате слабого производственного контроля за соблюдением требований безопасности, нарушений трудовой и технологической дисциплины, несогласованности или ошибочности действий обслуживающего персонала на подземных объектах происходит до 6% аварий. И только 4% приходится на стихийные бедствия, которыми управлять сложно.

Для дальнейшего управления возникающими рисками требуется мощный аппарат, основанный на современных методиках. На сегодняшний день простых подходов, базирующихся на теории упругости, пластичности, оценке концентраций напряжений в конструкциях и во вмещающем породном массиве недостаточно. Они трансформировались в сложные научные, конструкторские, технологические и социально-экономические методики, включающие аналитические, численные и экспериментальные методы оценки поведения материалов

и конструкций на различных стадиях и в условиях изменения их свойств как в процессе изготовления, так и на стадии эксплуатации.

Так, при подземной разработке в сложных горно-геологических условиях проводят мониторинг всех факторов, оказывающих воздействие на строительные и эксплуатационные работы [7]. Существует много методик и для разработки мероприятий по снижению воздействия негативных факторов, если, например, горно-геологические условия обусловлены повышенным газовым и пылевым факторами [8–10].

Снижения аварийных рисков можно добиться разработкой сценариев возникновения потенциальных опасностей на всех этапах жизненного цикла подземных объектов, установлением зон их влияния (распространения), оценкой вероятности реализации рисков, ущерба от аварийных ситуаций, а также осуществлением мер по их предупреждению и минимизации. Необходимо обратить внимание на то, что функционирование всех циклов и этапов обеспечивает персонал.

Производственный контроль и его задачи

Безопасность и защищенность подземных сооружений при строительстве зависит от эколого-технологической надежности и прогнозируемого эксплуатационного состояния объекта как элемента природно-технической геосистемы. Поэтому задача состоит в комплексном учете совокупных факторов, определяющих эксплуатационные характеристики самого подземного сооружения, элементов геотехнической системы и системы обслуживания (оборудования, коммуникаций, зоны влияния, службы эксплуатации и т.п.).

Эксплуатационная надежность подземного сооружения подразумевает кон-

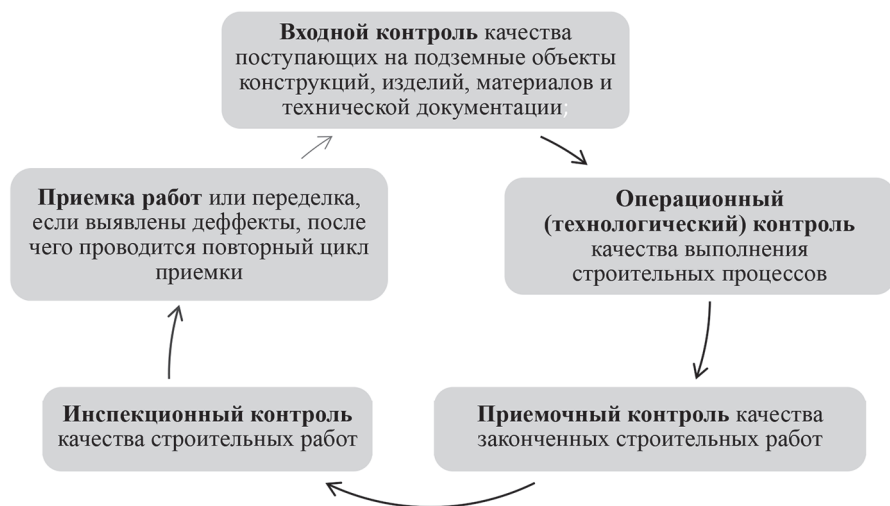


Рис. 2. Виды производственного контроля при строительно-монтажных работах
 Fig. 2. Modes of industrial supervision in installation and construction

структивную надежность, надежность инженерного оснащения и системы эксплуатации, которую осуществляет персонал. Количественная оценка надежности определяется долговечностью и резервированием [5, 11].

Производственный контроль является краеугольным моментом для оценки качества строительных работ, позволяющим проанализировать результативность полученных количественных значений контролируемых параметров и их сходимость с аналогичными значениями, взятыми из соответствующих нормативных документов.

Соблюдение соответствия требованиям нормативам при осуществлении технологий подземного строительства, предупреждение и своевременная ликвидация дефектов в конструкциях, повышение ответственности исполнителей и руководителей строительного производства составляют задачи производственного контроля [5, 11]. Виды производственного контроля и порядок его осуществления представлены на рис. 2.

На начальном этапе осуществляется входной контроль (проверка соответствия материалов установленным докумен-

там и требованиям), затем операционный (проверка соответствия выполнения основных технологических операций установленным требованиям и нормам), далее, после каждого выполненного технологического процесса, — приемочный контроль (оценка качества готового сооружения или выполненных работ). Осуществляемый инспекторский контроль не охватывает никакой технологический процесс, его целью является оценить качество проведенного производственного контроля [11]. Инспекторский контроль может осуществляться на любом этапе работ. Если в результате какого-либо контроля были выявлены дефекты, то проводят повторный цикл производственного контроля и при устранении неполадок принимают изделие, сооружение или вид выполненных работ. Производственный контроль основывается на науке «Метрология».

Обеспечение безопасности при строительстве подземных сооружений

Практически для любого подземного сооружения и объекта актуальна оценка аварийного риска, включающая

анализ локальных остаточных напряжений и нагрузок, приводящих со временем к снижению сопротивляемости конструкций деформированию; расчет выработки ресурса в результате старения и износа. В равной степени факторы риска присутствуют при проектировании, строительстве и эксплуатации. Помимо перечисленного, на риск возникновения аварийной ситуации влияет контроль выполнения требований промышленной безопасности, а также контроль за соблюдением трудовой и технологической дисциплины. Хотелось бы обратить внимание, что риски, сформированные на этапе проектирования, имеют более катастрофический характер, чем те риски, которые формируются в результате эксплуатации [5].

Учет комплекса условий формирования рисков в сочетании с инженерным обоснованием критических параметров принимаемых технологических решений в подземном строительстве является важным аспектом обеспечения промышленной безопасности.

При этом особое внимание должно уделяться системе вентиляции [12], оценке деформации крепей и других конструкций подземных и наземных сооружений, виброустойчивости, акустической изоляции, воздействию сейсмических волн.

Рациональность распределения трудовых ресурсов, оптимальный характер размещения материально-технических производственных элементов во времени и в пространстве характеризуют уровень организации производства. В настоящее время этот уровень достигается либо структурным объединением, либо дроблением технологических участков. Подготовка же персонала осуществляется по направлениям планирования численности, обучения работе на новом оборудовании, периодической аттестации в соответствии с требованиями Правил безопасности.

Необходимо вести постоянный контроль над тем, как в процессе проектирования, строительства, испытаний и эксплуатации при переходе от штатной ситуации (безопасный уровень) в аварийную (особо опасную) или катастрофическую (чрезвычайно опасную) будут нарастать все виды рисков.

Разработка мероприятий по предупреждению рисков и недопущению развития аварийных ситуаций должна включать комплексную оценку, которая охватывает человеческий, горно-технологический и техногенный факторы. То есть необходимо определять степень защищенности объектов через оценку всех видов существующих рисков при подземном строительстве (таблица).

Общая структура обеспечения безопасности

Общая структура обеспечения безопасности

Базовые требования	Критерии	Неблагоприятные события
Прочность	Неразрушаемость	Риски повреждений
Жесткость, устойчивость	Сохранение размеров и формы	
Ресурс	Долговечность	Риски отказов
Надежность	Отказоустойчивость	
Живучесть	Трещиностойкость	Риски разрушений
Безопасность	Управление безопасностью	Аварии
Персонал		
Защищенность	Обеспечение защищенности	Риски катастроф

Необходимо для оценки всех строительных рисков найти общий комплексный критерий, который бы учитывал совокупность их воздействия на безопасность при подземном строительстве.

На современном этапе научного развития вероятности возникновения опасных процессов (коррозии, деформации, аварий и т.д.), влекущие за собой социально-экономический ущерб, формируют количественные параметры строительных рисков [1, 4, 13–15].

Удержание этих рисков на уровне, не превышающем приемлемый риск, составляет основное условие безопасности. В свою очередь, уровень приемлемого риска определяется на основании анализа его критических значений в конкретной ситуации и расчета необходимых затрат на его минимизацию и удержание в обозначенных пределах.

Заключение

На сегодняшний день, когда обеспечение безопасности в строительной отрасли является приоритетной задачей, необходимо изменить подход к оценке рисков и разработать новый критерий оценки достижения соответствующего уровня безопасности. Таким критерием может являться степень защищенности объектов и персонала при подземном строительстве. Степень защищенности включает в себя совокупность всех рисков, которые оказывают воздействие на объект как на стадиях проектирования, строительства, так и при эксплуатации подземных сооружений. Для оценки влияния существующих рисков разра-

ботаны методики и осуществляется постоянный производственный контроль.

В результате контроля оценивается состояние подземных сооружений и разрабатываются рекомендации эксплуатационному персоналу для устранения нарушений, а также для реализации необходимых технических и организационных мер.

Снижение технических рисков (т.е. объективных причин инцидентов, аварий, травм и профзаболеваний) базируется на совершенствовании технологии и технических средств строительства, защитных средств и систем, обеспечивающих коллективную защиту трудящихся. Сюда же относится совершенствование нормативной базы, методик оценки состояния производственной среды, методов проектирования горно-технологических систем и др.

Снижение организационных рисков (субъективных причин инцидентов, аварий, травм и профзаболеваний) предполагает создание таких социально-психологических условий, при которых персонал компании максимально мотивирован на эффективную и безопасную работу индивидуально для каждого работника и для всего предприятия (фирмы, компании) в целом.

Методика снижения организационных рисков в части управления персоналом будет эффективной и современной только тогда, когда основные решения в ней нацелены на совершенствование квалификации и компетентности кадров, принимающих важнейшие технико-экономические решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kulikova E. Yu.* Estimation of factors of aggressive influence and corrosion wear of underground structures // *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931. Pp. 385–390. DOI: 10.4028/www.scientific.net / MSF.931.385 Trans Tech Publications, Switzerland.
2. *Natocheeva N. N.* Risk management and optimization of bank loans allocation in the project financing program // *Journal of Applied Economic Sciences*. 2018. Vol. 13. No 1. Pp. 65–73. [http://cesmaa.org /Docs/JAES%20SpringVolumeXIII_1 \(55\)2018_online.pdf](http://cesmaa.org /Docs/JAES%20SpringVolumeXIII_1 (55)2018_online.pdf).

3. Hebblewhite B. K. Geotechnical risk in mining methods and practice: critical issues and pitfalls of risk management / Proceedings of the First International Conference on Mining Geomechanical Risk, Australian Centre for Geomechanics, Perth, 2019, pp. 299 – 308.

4. Kulikova E. Yu. Assessment of operating environment of concrete lining of sewage collector tunnels // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. Article 044035. DOI: 10.1088/1757-899X/687/4/044035.

5. Воробьева О. В. Научное обоснование оценки и управления производственными рисками на угледобывающих предприятиях с учетом влияния человеческого фактора: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 2009. – 137 с.

6. Куликова Е. Ю., Гришин А. В., Мурин К. М. Геомониторинг в городском подземном строительстве. – М.: Изд-во «У Никитских ворот», 2015. – 292 с.

7. 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.

8. Скопинцева О. В., Вертинский А. С., Иляхин С. В., Савельев Д. И., Прокопович А. Ю. Обоснование рациональных параметров обеспыливающей обработки угольного массива в шахтах // Горный журнал. – 2014. – № 5. – С. 17 – 20.

9. Скопинцева 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.

10. Скопинцева О. В., Ганова С. Д., Бузин А. А., Федотова В. П. Мероприятия по борьбе с пылью при погрузке и транспортировании твердых полезных ископаемых // Горный журнал. – 2019. – № 12. – С. 76 – 79. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.16.

11. Каледина Н. О., Воробьева О. В. Производственный контроль на угледобывающем предприятии: роль человеческого фактора // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № S12-1. – С. 28 – 36.

12. Баловцев С. В. Оценка схем вентиляции с учетом горно-геологических и горно-технологических условий отработки угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 6. – С. 173 – 183. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-173-183.

13. Batugin A., Odintsev V., Kolikov K., Lijiang Y., Khotchenkov E. Displacement and mine seismicity processes during undermining of a tectonically active fault area at the sinvay deposit // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2018. 2018. Vol. 18. No 1.3. Pp. 319 – 326. DOI: 10.5593/sgem2018/1.3/S03.041.

14. Cisco Connected Mining, 2016, https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/automotive/docs/connected_mining_at-a-glance.pdf.

15. Centers for Disease Control and Prevention, NIOSH, Mining. Advanced tutorial on wireless communication and electronic tracking: electronic tracking systems performance. 3.0 Electronic Tracking Systems Performance, 2013, <https://www.cdc.gov/niosh/mining/content/emergencymanagementandresponse/comtracking/advcommtrackingtutorial2.html>. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Kulikova E. Yu. Estimation of factors of aggressive influence and corrosion wear of underground structures. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931. Pp. 385 – 390. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.385 Trans Tech Publications, Switzerland.

2. Natocheeva N. N. Risk management and optimization of bank loans allocation in the project financing program. *Journal of Applied Economic Sciences*. 2018. Vol. 13. No 1. Pp. 65 – 73. [http://cesmaa.org/Docs/JAES%20SpringVolumeXIII_1\(55\)2018_online.pdf](http://cesmaa.org/Docs/JAES%20SpringVolumeXIII_1(55)2018_online.pdf).

3. Hebblewhite B. K. Geotechnical risk in mining methods and practice: critical issues and pitfalls of risk management. *Proceedings of the First International Conference on Mining Geomechanical Risk*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, 2019, pp. 299 – 308.

4. Kulikova E. Yu. Assessment of operating environment of concrete lining of sewage collector tunnels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 687. Article 044035. DOI: 10.1088/1757-899X/687/4/044035.

5. Vorob'eva O. V. *Nauchnoe obosnovanie otsenki i upravleniya proizvodstvennymi riskami na ugledobyvayushchikh predpriyatiyakh s uchetom vliyaniya chelovecheskogo faktora* [The scientific substantiation of the assessment and management of production risks in coal mining enterprises, taking into account the influence of the human factor], Candidate's thesis, Moscow, 2009, 137 p.

6. Kulikova E. Yu., Grishin A. V., Murin K. M. *Geomonitoring v gorodskom podzemnom stroitel'stve* [Geomonitoring in urban underground construction], Moscow, Izd-vo «U Nikitskikh vorot», 2015, 292 p.

7. 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. [In Russ].

8. Skopintseva O. V., Vertinskiy A. S., Ilyakhin S. V., Savel'ev D. I., Prokopovich A. Yu. Substantiation of efficient parameters of dust-controlling processing of coal massif in mines. *Gornyi Zhurnal*. 2014, no 5, pp. 17–20. [In Russ].

9. Skopintseva O. V., Ganova S. D., Demin N. V., Papichev V. I. Integrated method of dust and gas hazard reduction in coal mines. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no 11, pp. 97–100. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.11.18.

10. Skopintseva O. V., Ganova S. D., Buzin A. A., Fedotova V. P. Measures to reduce dusting during loading and transportation of solid mineral resources. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no 12, pp. 76–79. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.16.

11. Kaledina N. O., Vorob'eva O. V. Production control at a coal mining enterprise: the role of the human factor. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no S12–1, pp. 28–36. [In Russ].

12. Balovtsev S. V. Assessment of ventilation circuits with regard to geological and geotechnical conditions of coal seam mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(6):173-183. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-173-183.

13. Batugin A., Odintsev V., Kolikov K., Lijiang Y., Khotchenkov E. Displacement and mine seismicity processes during undermining of a tectonically active fault area at the sinvay deposit. *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2018*. 2018. Vol. 18. No 1.3. Pp. 319–326. DOI: 10.5593/sgem2018/1.3/S03.041.

14. *Cisco Connected Mining*, 2016, https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/automotive/docs/connected_mining_at-a-glance.pdf.

15. *Centers for Disease Control and Prevention, NIOSH, Mining. Advanced tutorial on wireless communication and electronic tracking: electronic tracking systems performance. 3.0 Electronic Tracking Systems Performance*, 2013, <https://www.cdc.gov/niosh/mining/content/emergencymanagementandresponse/commtracking/advcommtrackingtutorial2.html>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Виноградова Оксана Владимировна¹ — канд. техн. наук, доцент, e-mail: sapik@mail.ru,
¹ НИТУ «МИСиС».

Для контактов: Виноградова О. В., e-mail: sapik@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E. Yu. Kulikova¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: fragrante@mail.ru,

O. V. Vinogradova¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: sapik@mail.ru,

¹ National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

Corresponding author: O. V. Vinogradova, e-mail: sapik@mail.ru.

Получена редакцией 11.03.2020; получена после рецензии 13.04.2020; принята к печати 20.06.2020.

Received by the editors 11.03.2020; received after the review 13.04.2020; accepted for printing 20.06.2020.