

КОНЦЕПЦИЯ ПРИЕМЛЕМОГО РИСКА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

Е.Ю. Куликова¹, С.А. Жуков²

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

² АО «Мосметрострой», Москва, Россия

Аннотация: Концепция «приемлемого риска» в настоящее время становится основой прогнозирования нештатных ситуаций при освоении городского подземного пространства. Ее основные принципы изложены в Государственной научно-технической программе и сформулированы Объединенным Комитетом по управлению рисками. Концепция приемлемого риска при эксплуатации подземных объектов метрополитена включает в себя инженерный, имитационный, экспертный и социологический аспекты. Наиболее приемлемые приемы эксплуатации подземных сооружений с позиций экологической безопасности могут быть обоснованы только при обеспечении экологической совместимости технологий с постоянно меняющимся характером взаимодействия между элементами природно-технической геосистемы «породный массив – подземное сооружение – окружающая среда». Причем главный фактором приемлемости является инженерно-геологический. Нормативные документы слабо регламентируют приемлемый риск для подземных объектов. Для подземных сооружений метрополитена, особенно в период эксплуатации, такая регламентация вообще отсутствует. Тем не менее, нормирование риска во многом определяет характер управления им при эксплуатации подземных объектов метрополитена. Поэтому была предложена обобщенная модель концепции снижения риска при эксплуатации подземных объектов метрополитена. Модель предусматривает тщательный прогноз и управление геологической средой, учет человеческого фактора и основывается на погашении остаточного риска за счет использования данных информационных ресурсов Big Data, Internet of Things, BIM.

Ключевые слова: концепция, приемлемый риск, эксплуатация подземных объектов метрополитена, информационный ресурс, экологическая безопасность, породный массив, нормирование риска, техническая авария породный массив, нормирование риска, техническая авария.

Для цитирования: Куликова Е. Ю., Жуков С. А. Концепция приемлемого риска при эксплуатации объектов метрополитена // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 2. – С. 140–150. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_2_0_140.

Concept of acceptable risk in operation of subway facilities

E.Yu. Kulikova¹, S.A. Zhukov²

¹ National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia

² JSC «Mosmetrostroy», Moscow, Russia

Abstract: The acceptable risk concept becomes currently a framework for the prediction of contingent situations in development of urban underground space. The general provisions of the concept are formulated by the Joint Risk Management Committee and are recited in the State Science and Technology Program. The acceptable risk concept in operation of underground facilities in subways includes the aspects of engineering, simulation, expertise and sociology. The most acceptable techniques in operation of underground structures from the viewpoint of ecological safety can only be relevant at ecological compatibility of technologies and fluid relations between the constituents of the natural-and-technical rock mass–underground construction–environment geosystem. In this regard, the main thing, is the geotechnical factor. Regulatory documents offer a deficient regulation of acceptable risks for underground facilities. For subway structures, especially in the period of operation, such regulation is absent at all. Nonetheless, the risk rating in many ways governs the risk management efficiency during operation of underground facilities of subways. This article proposes a generalized model of risk reduction in operation of subway facilities. The model includes the thorough prediction and monitoring of the geological environment, takes into account human factor and is based on mitigation of residual risks using the Big Data, Internet of Things and BIM resources.

Key words: concept, acceptable risk, operation of underground facilities in subways, information resource, ecological safety, rock mass, risk rating, technological accident.

For citation: Kulikova E. Yu., Zhukov S. A. Concept of acceptable risk in operation of subway facilities. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(2):140-150. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_2_0_140.

Введение

Подземные объекты метрополитена эксплуатируются в условиях воздействия разнообразных факторов природного и техногенного генезиса, что позволяет оценивать их как сложные геотехнические системы.

Эксплуатационная и экологическая безопасность таких объектов должна строиться на системном анализе уровня риска, что подразумевает разработку логико-вероятностных математических моделей и критериев приемлемой безопасности [1 – 3]. Метод вероятностного анализа безопасности позволяет оценивать функционирование объектов метрополитена с позиций рисков воздействия на окружающую среду.

Одним из наиболее ярких проявлений риска при эксплуатации объектов метрополитена является нештатная ситуация или техническая авария. Анализ

причин аварий позволяет оценить уязвимость проектных решений, вскрыть закономерности проявления рисков, углубленно изучить закономерности развития экологических опасностей при эксплуатации тоннелей метрополитена. Это способствует не только повышению надежности подземных сооружений, но и обеспечению экологической безопасности освоения подземного пространства.

Виды аварий при эксплуатации подземных объектов метрополитена

Эксплуатационные аварии при освоении подземного пространства связаны преимущественно с нарастающими во времени процессами, ведущими к деформационному нарушению целостности несущих конструкций.

К наиболее распространенным видам аварий в эксплуатируемых подземных

Статистика аварий на метрополитенах ряда городов РФ и других стран мира по причине геотехнического риска
Statistics of accidents on subways of a number of cities of the Russian Federation and other countries of the world due to geotechnical risk

Дата	Краткая характеристика	Число погибших / раненых, чел.
Метрополитен Москвы		
20.10.1974	Взрыв при выполнении сварочных работ	–
15.04.1979	Сход пассажирского состава с рельсов	–
12.06.1981	Пожар в пассажирском составе	7 / 1
17.02.1982	Применение конструкции ленты эскалатора, не отвечающей грузонесущей способности в час пик	8 / 30
51.12.1984	Затопление тоннеля	–
30.04.1987 17.01.1994	Пожар в пассажирском составе	–
30.03 – 31.03.1994	Столкновение метropоездов и их сход с рельсов	– / 4
1996	Чрезмерный разгон метropоезда и повреждение стеновой конструкции депо	–
15.11.2003	Повреждение конструкций в результате прорыва пльвуна	–
29.11.2004	Столкновение метropоездов	–
25.03.2005	Неисправность энергосистем, в результате чего 20 тыс. чел. оказались заблокированными в вагонах метropоездов	–
19.03.2006	Повреждение конструкций тоннеля и пожар в метropоезде в результате того, что при ведении наземных строительных работ забивная свая пробилa сводовую часть тоннеля	– / 9
25.07.2008	Сход метropоезда с рельсов. Из тоннеля эвакуировано 800 чел.	–
08.07.2008	Повреждение конструкций тоннеля и пожар в метropоезде в результате того, что при ведении наземных строительных работ забивная свая пробилa сводовую часть тоннеля	–
04.06.2010	Падение дерева на открытый участок перегонного тоннеля при урагане	–
26.10.2011	Пожар в тоннеле	–
15.04.2012	Неисправность эскалатора	– / 10
05.05.2013	Пожар, потребовавший эвакуацию 300 чел. из тоннеля	– / 3
05.06.2013	Пожар, потребовавший вывода из тоннеля 5 тыс. чел.	– / 80
11.06.2013	Сбой в подаче электроэнергии, в результате чего 900 чел. оказались заблокированы в метropоезде в течение часа	= / 14
20.09 – 04.12.2013	Задымления в разных местах станционного тоннеля	–
21.01.2014	Пробой сводовой части тоннеля на Замоскворецкой линии в результате установки сваи рекламного щита на земной поверхности	–

15.07.2014	Сход метропоезда с рельсов на скорости 70 км/ч и удар его о стену при ведении работ в сбойке и монтаже стрелки для перевода поездов с одного пути на другой на перегоне «Парк Победы» — «Славянский бульвар»	24 / 255
07.03.2016	Отказ оборудования при развитии пожара в вестибюле станции	—
08.07.2016	Пожар в административной части станции	—
22.12.2016	Взрыв баллона с газом в вестибюле станции	— / 4
Метрополитен Санкт-Петербурга		
04.12.1995	Затопление большого участка тоннеля в результате прорыва плывуна. Возобновить движение метропоездов удалось лишь к 2004 г.	—
10.06.1999	Обрушение бетонного козырька у входа на станцию	— / 7
20.08.2010	Нарушение в работе энергоснабжения метрополитена	—
Метрополитен Нижнего Новгорода		
Июнь 2013	Обрушение облицовочной мраморной плитки в вестибюле станции	— / 3
Метрополитен Новосибирска		
11.04.2016	Поломка вагона привела к сбою графика	—
Метрополитен Екатеринбурга		
15.11.2016	Авария на линии электропередач, парализовавшая город. Давка в метрополитене	—
Метрополитен Казани		
9.02.2015	Остановка движения поездов на несколько минут из-за перепад напряжения на линии	—
Метротрам Волгограда		
19.04.2013	Обрыв контактной сети в подземной части линии Метро-трама, за 50 м до станции	—
Зарубежные метрополитены		
Метрополитен Баку		
28.10.1995	Воспламенение двигателя одного из вагонов метропоезда, приведшее к остановке в тоннеле и задымлению, в результате которого часть пассажиров задохнулась, а часть погибла от удара током от соприкосновения с кабелями в тоннеле	289 / 270
Метрополитен Парижа		
10.08.1903	Столкновение подвижного состава при следовании в депо с отцепленным от состава вагоном с технической неисправностью, приведшее к его возгоранию и задымлению в тоннеле	100 /
Метрополитен Лондона		
1973	Сход метропоезда с рельсов на скорости 65 км/ч и удар его о стену в тупиковой зоне	45 /

Метрополитен Валенсии		
Лето 2006	Крушение подвижного состава из 4 вагонов в результате превышения допустимой скорости движения на повороте, приведшее к опрокидыванию состава	41 / 70
Метрополитен Вашингтона		
22.06.2009	Столкновение следующих друг за другом подвижных составов в час пик между станциями Takoma и Fort Totten из-за неисправности компонента системы безопасности, установленного в тоннеле метрополитена	9 / 76
Примечание: в таблице не указаны данные по терактам, так как они не являются предметом геотехнических рисков		

объектах метрополитена относятся: обрушение породы; инфильтрация грунтовых вод, образование «свищей» и течей», вынос грунта, просадка лотка, деформирование обделки; нарушение целостности внутренних конструкций; биологическая и химическая коррозия несущих конструкций, эллиптичность элементов обделки; загазованность воздуха; пожары, взрывы; оледенение конструкций и проезжей части; разрушение порталов и предпортальных выемок. Авария возможна в любом месте от въездного до выездного портала.

Статистика аварий от проявления геотехнических рисков в метрополитене ряда городов РФ и зарубежных стран представлена в таблице.

Определение приемлемого риска применительно к геотехнической аварии дается в РД 03-418-01 и определяется следующим образом: это максимальный уровень риска, который оправдан с социально-экономических позиций. Риск эксплуатации подземного объекта может считаться приемлемым, если ради пользы от освоения подземного пространства на данном участке городской территории общество готово пойти на этот риск.

Приемлемый риск аккумулирует в себе технические, социально-экономические, политические аспекты и ряд других [4, 5].

Основные аспекты концепции оценки приемлемого риска при эксплуатации подземных объектов метрополитена

Концепция оценки приемлемого риска при эксплуатации подземных объектов метрополитена включает в себя следующие аспекты:

- инженерный — построение иерархии опасностей и иерархии отказов;
- имитационный — моделирование развития риска при строительстве метрополитена и его влияния на окружающую среду, персонал и посетителей [6];
- экспертный — профессиональное мнение специалистов о характере развития и факторах риска;
- социологический — опрос групп населения в районе размещения подземного объекта.

Концепция оценки приемлемого или допустимого риска связана с высокой вероятностью снижения безопасности технологических процессов [7—9] по причинам прежде всего экологической несовместимости применяемых способов с природными факторами. Причем первостепенное значение принадлежит инженерно-геологическим факторам.

Нормативные документы слабо регламентируют приемлемый риск для промышленных объектов. В основном дается статистика смертельных случаев при пожарах, радиоактивном заражении,

ДТП и т. п. Для подземных сооружений метрополитена, особенно в период эксплуатации, такая регламентация вообще отсутствует. Тем не менее, нормирование риска — это важный аспект управления безопасной эксплуатацией подземных объектов метрополитена.

Ситуация, при которой ведение горно-строительных работ допускается, но подземный объект не может быть отнесен к безопасному, характеризуется понятием контролируемый риск. Уровень контролируемого риска эксплуатируемого подземного объекта в системе управления рисками [10, 11] регулируется достижением приемлемого риска.

Как правило, последствия нештатной ситуации таковы, что рациональнее заложить в проект превентивные мероприятия в области безопасной эксплуатации подземных сооружений. В основе этого подхода заложена оценка фактического состояния несущих и ограждающих конструкций объекта с учетом изменившихся эксплуатационных характеристик, нагрузок и проявившихся дефектов.

При этом допускается, что нештатная ситуация может возникнуть на любом этапе жизненного цикла природно-технической геосистемы (ПТГС) «подземное сооружение — породный массив — окружающая среда», когда уровень предельно допустимого риска будет превышен.

Для подземных объектов самым важным критерием приемлемости является совместимость с геологической средой. АНО НИИЦ «Геориск» и Е.В. Петренко для условий Москвы определено 28 типов геологической среды по степени приемлемости, в том числе и экологической, к освоению подземного пространства, таких как [12]:

- разуплотнение и переуплотнение грунтов, деформационные изменения земной поверхности и недр;

- суффозионное разрушение, тиксотропия, карст;
- образование пльвунов и псевдопльвунов, подтопление выработок;
- коррозионные проявления;
- морозное пучение породного массива;
- загрязнение грунтовых вод и т. п.

Эти критерии стали основой для оценки приемлемых геологических опасностей при освоении подземного пространства в Москве. При этом было принято, что вероятность развития геологических опасностей $P_i = 1$ для инженерно-геологических условий, удовлетворяющих размещению в них подземных сооружений; $P_i = 0,5$ — для частичного удовлетворения этого требования и $P_i = 0$ — при полной несовместимости геологической среды и подземных сооружений.

Зная такую вероятность, можно рассчитать степень потенциальной опасности [13] воздействия инженерно-геологических процессов на подземные объекты метрополитена и на окружающую застройку [14].

$$D = \sum (P_i R_i),$$

где R_i — риск каждого из видов геологических нарушений.

Определив наименьшее и наибольшее значения опасности и разделив полученный диапазон на равные интервалы, можно ранжировать риски [15, 16], определяя приемлемые значения для каждого типа инженерно-геологических условий.

Обобщенная модель концепции снижения риска при эксплуатации подземных объектов метрополитена

Помимо ранжирования рисков и выбора приемлемых значений для каждого типа горно-геологических условий необходимо определиться с мерой экологической безопасности тоннелей метро-

политена. Для сравнения с приемлемым уровнем безопасности в качестве таких мер могут служить непосредственно риск и полнота безопасности. Полнота экологической безопасности оценивается качественными и количественными методами [17] с учетом определенного типа подземного объекта метрополитена и конкретных геоэкологических условий, влияющих на его эксплуатацию.

Необходимое сокращение риска — это уменьшение уровня риска до допустимого в конкретных условиях эксплуатации. При этом определяется приемлемость вероятности развития риска и его потенциальных последствий для данного подземного объекта или его части. Допустимый риск зависит от целого ряда факторов [18], таких как количество людей из персонала и посетителей, подвергшихся последствию от рискованного события, частота аварий, серьезность травм, время ликвидации аварии, уровень нежелательных экологических воздействий, а также незащищенность лю-

дей в штатной ситуации, общественный резонанс и т.п.

Полнота безопасности — это вероятность безотказной эксплуатации подземного сооружения метрополитена с эколого-технологических позиций в течение установленного проектом периода времени. Полнота безопасности подразумевает:

- технико-технологическую полноту безопасности, связанную с возникновением случайных отказов в конструкциях и оборудовании при развитии штатной ситуации;
- системную полноту безопасности, т.е. системные отказы при авариях, оцениваемые как среднее частотное значение при анализе общих отказов в подземных сооружениях метрополитена. Однако распределение отказов может быть трудно прогнозируемым. Поэтому при расчетах вероятности отказов конструкций подземных сооружений возникает неопределенность, что требует мер для минимизации последней.



Обобщенная модель концепции снижения риска при эксплуатации подземных объектов метрополитена
Generalized model of the concept of risk reduction in the operation of underground metro facilities

Рисунок иллюстрирует основную модель концепции снижения риска, которая предполагает:

- существование геологической среды, параметры которой контролируются, и системы управления ею (технологические приемы, направленные на изменение прочностных и фильтрационных свойств пород);

- прогнозирование ошибок по вине человеческого фактора;

- использование внешних средств минимизации риска, системы Big Data, IoT, BIM-технологии, связанных с безопасностью, позволяющих осуществлять имитационное моделирование тех многообразных процессов в природно-геотехнической системе, которые развиваются при эксплуатации объекта метрополитена, анализировать имеющийся объем информации для определения рискообразующих факторов, проводить оценку данных о внешней среде, подбирать оптимальное решение по минимизации геологических и геотехнических рисков.

В предложенной модели рассматриваются следующие виды риска:

- геологический риск, управляемый — при этом функционирование подземного объекта метрополитена предполагается без применения эколого-технологических защитных мер;

- допустимый риск, т.е. риск, приемлемый на стадии эксплуатации подземного объекта метрополитена при современном уровне использования соответствующих инженерно-геологическим условиям техники и технологий;

- остаточный риск, т.е. риск, который все же провоцирует некоторый ущерб для подземного сооружения метрополитена после осуществления процедуры управления [19], поэтому для его погашения требуется внедрение внешних средств минимизации риска, информационных ресурсов и систем прогноза

[20] состояния геологической среды в сформировавшейся природно-технической геосистеме.

Необходимое снижение геологического и геотехнического рисков обеспечивается комплексным задействованием всех защитных средств безопасности.

Модель риска для конкретных подземных сооружений метрополитена должна рассматриваться в динамике с учетом специфического поведения ПТГС [21], способов эксплуатации защитных мер, которые направлены на достижение допустимого риска.

Заключение

1. Впервые поставлен вопрос о концепции приемлемого риска на стадии эксплуатации подземных объектов метрополитена, т.е. о том уровне, в соответствии с которым устанавливают пороговые уровни допустимой и желаемой экологической безопасности в каждом конкретном случае. Концепция приемлемого (допустимого) риска связана с высокой вероятностью снижения безопасности технологических процессов по причинам прежде всего экологической несовместимости применяемых способов с природными факторами.

Причем первостепенное значение принадлежит инженерно-геологическим факторам.

2. Предложена обобщенная модель концепции снижения риска при эксплуатации подземных объектов метрополитена. В качестве инструментария управления рисками предложен прогноз развития рисков на стадии эксплуатации, применение информационных ресурсов Big Data, IoT, BIM в качестве источников статистической информации о геологических рисках, данных по внешней среде и моделированию потенциальных аварий при эксплуатации объектов метрополитена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Renaud M., Kumral M. Planning a complex mine construction project under price cyclicity // *Engineering Management Journal*. 2020, vol. 32, no. 6, pp. 120–129. DOI: 10.1080/10429247.2020.1718461.
2. Петров А. М., Магомедов Р. М., Савина С. В. Экологическая безопасность строительства в концепции устойчивого развития // *Строительные материалы и изделия*. — 2023. — Т. 6. — № 1. — С. 5–17. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-1-5-17.
3. Бурков В. Н., Грацианский Е. В., Дзюбко С. И., Щепкин А. В. Модели и механизмы управления безопасностью. — М.: СИНТЕГ, 2001. — 160 с.
4. Буркова И. В., Толстых А. В., Уандыков Б. К. Модели и методы оптимизации программ обеспечения безопасности // *Проблемы управления*. — 2005. — № 1. — С. 51–55.
5. Мазур С. И. Современные методы снижения экологического риска при строительстве и эксплуатации наземных объектов нефтегазотранспортных систем. — М.: ОАО «ВНИИО-ЭНГ», 2001. — 82 с.
6. Shao F., Wang Y. Intelligent overall planning model of underground space based on digital twin // *Computers & Electrical Engineering*. 2022, vol. 104, article 108393. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2022.108393.
7. Mishra R., Uotinen L., Rinne M. A Bayesian network approach for geotechnical risk assessment in underground mines // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2021, vol. 121, no. 6, pp. 287–294. DOI: 10.17159/2411-9717/581/2021.
8. Панарин И. И., Федюк Р. С., Выходцев И. А., Вавренюк С. В., Ключев А. В. Инъекционные растворы на композиционных цементах для закрепления грунтов // *Строительные материалы и изделия*. — 2023. — Т. 6. — № 4. — С. 15–29. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-4-15-29.
9. Ютяев А. Е., Якунчиков Е. Н., Оганесян А. С., Агафонов В. В. Оценка проектных решений технологических систем угольных шахт с учетом риска // *Уголь*. — 2019. — № 7. — С. 52–57. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-7-52-57.
10. Баловцев С. В., Скопинцева О. В., Коликов К. С. Управление аэрологическими рисками при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 6. — С. 85–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.
11. Куликова А. А., Овчинникова Т. И. К вопросу снижения геоэкологических рисков на горнодобывающих предприятиях // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 2-1. — С. 251–262. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262.
12. Brillinger D. R. Risk analysis: Examples and discussion, applications of statistics and probabilities in civil engineering. Millpress, Rotterdam, the Netherlands, 2003, pp. 115–122
13. Carlsson Mats Management of geotechnical risks in infrastructure projects. Division of Soil and Rock Mechanics Department of Civil and Architectural Engineering. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2005, pp. 240–251
14. Clayton Ch. Managing geotechnical risk: Time for change // *ICE Proceedings Geotechnical Engineering*. 2001, vol. 149, pp. 3–11. DOI: 10.1680/geng.2001.149.1.3.
15. 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*, 2019, pp. 299–308.
16. Hebblewhite B. K. Northparkes findings – the implications for geotechnical professionals in the mining industry / *Proceedings of the First Australasian Ground Control in Mining Conference*. University of New South Wales, Sydney, 2003, pp. 3–10.
17. Hebblewhite B. K. Management of core geotechnical risks for underground mining projects / *Mining Risk Management Conference*. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne. 2003, pp. 5.
18. Mishra R. K., Rinne M. Geotechnical Risk classification for underground mines // *De Gruyter Open*. 2015, no. 60, pp. 51–60.
19. Trofimova T. E., Rodionovsky A. N. Development of public spaces: the impact of metro stations construction on the formation of the structure of the adjacent territory // *Строительные материалы и изделия*. — 2023. — Т. 6. — № 5. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-5-5.
20. Ключев Р. В., Босиков И. И., Майер А. В., Гаврина О. А. Комплексный анализ применения эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической систе-

мы // Устойчивое развитие горных территорий. — 2020. — Т. 12. — № 2. — С. 283–290. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-2-283-290.

21. 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, vol. 191, pp. 361–368. [DOI](#)

REFERENCES

1. Renaud M., Kumral M. Planning a complex mine construction project under price cyclicity. *Engineering Management Journal*. 2020, vol. 32, no. 6, pp. 120–129. DOI: 10.1080/10429247.2020.1718461.

2. Petrov A. M., Magomedov R. M., Savina S. V. Ecological safety of construction in the concept of sustainable development. *Construction Materials and Products*. 2023, vol. 6, no. 1, pp. 5–17. [In Russ]. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-1-5-17.

3. Burkov V. N., Gratsianskiy E. V., Dzyubko S. I., Shchepkin A. V. *Modeli i mekhanizmy upravleniya bezopasnost'yu* [Models and mechanisms of safety management], Moscow, SINTEG, 2001, 160 p.

4. Burkova I. V., Tolstykh A. V., Wandykov B. K. Models and methods of optimization of safety programs. *Control sciences*. 2005, no. 1, pp. 51–55. [In Russ].

5. Mazur S. I. *Sovremennye metody snizheniya ekologicheskogo riska pri stroitel'stve i ekspluatatsii nazemnykh ob'ektov neftegazotransportnykh sistem* [Modern methods of reducing environmental risk in the construction and operation of ground-based oil and gas transportation systems], Moscow, OAO «VNIIO-ENG», 2001, 82 p.

6. Shao F., Wang Y. Intelligent overall planning model of underground space based on digital twin. *Computers & Electrical Engineering*. 2022, vol. 104, article 108393. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2022.108393.

7. Mishra R., Uotinen L., Rinne M. A Bayesian network approach for geotechnical risk assessment in underground mines. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2021, vol. 121, no. 6, pp. 287–294. DOI: 10.17159/2411-9717/581/2021.

8. Panarin I. I., Fediuk R. S., Vykhodtsev I. A., Vavrenyuk S. V., Klyuev A. V. Injection mortars based on composite cements for soil fixation. *Construction Materials and Products*. 2023, vol. 6, no. 4, pp. 15–29. [In Russ]. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-4-15-29.

9. Yutyaev A. E., Iakunchikov E. N., Oganesyana A. S., Agafonov V. V. Evaluation of design solutions and technological systems of coal mines taking into account the risk. *Ugol'*. 2019, no. 7, pp. 52–57. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-7-52-57.

10. Balovtsev S.V., Skopintseva O.V., Kolikov K.S. Aerological risk management in designing, operation, closure and temporary shutdown of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 85–94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.

11. Kulikova A. A., Ovchinnikova T. I. On the issue of reducing geoeological risks at mining enterprises. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 251–262. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262.

12. Brillinger D. R. *Risk analysis: Examples and discussion, applications of statistics and probabilities in civil engineering*. Millpress, Rotterdam, the Netherlands, 2003, pp. 115–122

13. Carlsson Mats *Management of geotechnical risks in infrastructure projects*. Division of Soil and Rock Mechanics Department of Civil and Architectural Engineering. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2005, pp. 240–251

14. Clayton Ch. Managing geotechnical risk: Time for change. *ICE Proceedings Geotechnical Engineering*. 2001, vol. 149, pp. 3–11. DOI: 10.1680/geng.2001.149.1.3.

15. 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*, 2019, pp. 299–308.

16. Hebblewhite B. K. Northparkes findings – the implications for geotechnical professionals in the mining industry. *Proceedings of the First Australasian Ground Control in Mining Conference*. University of New South Wales, Sydney, 2003, pp. 3–10.

17. Hebblewhite B. K. Management of core geotechnical risks for underground mining projects. *Mining Risk Management Conference*. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne. 2003, pp. 5.

18. Mishra R. K., Rinne M. Geotechnical Risk classification for underground mines. *De Gruyter Open*. 2015, no. 60, pp. 51 – 60.

19. Trofimova T. E., Rodionovsky A. N. Development of public spaces: the impact of metro stations construction on the formation of the structure of the adjacent territory. *Construction Materials and Products*. 2023, vol. 6, no. 5, p. 5. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-5-5.

20. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Mayer A. V., Gavrina O. A. Comprehensive analysis of the effective technologies application to increase sustainable development of the natural technical system. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, vol. 12, no. 2, pp. 283 – 290. [In Russ.]. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-2-283-290.

21. 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, vol. 191, pp. 361 – 368.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Куликова Елена Юрьевна – д-р техн. наук,
профессор, НИТУ «МИСиС»,

e-mail: fragrante@mail.ru,

Жуков Сергей Анатольевич – Генеральный директор,
АО «Мосметрострой»,

e-mail: 1reception-3@metrostroy.com.

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.Yu. Kulikova, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail: fragrante@mail.ru, National University
of Science and Technology «MISiS», 1

19049, Moscow, Russia,

S.A. Zhukov, General Director,

JSC «Mosmetrostroy», 127051, Moscow, Russia,

e-mail: 1reception-3@metrostroy.com.

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

Получена редакцией 12.11.2023; получена после рецензии 15.12.2023; принята к печати 10.01.2024.

Received by the editors 12.11.2023; received after the review 15.12.2023; accepted for printing 10.01.2024.



НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»



Кобзев А.С.

Радиометрическое обогащение минерального сырья

Год: 2023

Страниц: 196

ISBN: 978-5-98672-572-7 (<https://www.gornaya-kniga.ru/catalog/2418>)

Рассмотрены методы радиометрического обогащения минерального сырья. Дано описание основных элементов оборудования для сепарации и сортировки. Изложены последовательность работ и основы оценки обогатимости минерального сырья радиометрическими методами. Приведен обзор и анализ развития рынка оборудования радиометрического обогащения. Большое внимание уделено опыту промышленного применения радиометрического обогащения на различных горнодобывающих и металлургических предприятиях.