ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019;(10):44-54

УДК 69.035.4 DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-44-54

ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИМИ РИСКАМИ НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ МЕТРОПОЛИТЕНА В ГОРОДЕ МОСКВЕ

Е.В. Потапова

МГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: elka23sp@yandex.ru

Аннотация: Подземное строительство в крупных городах практически всегда связано с риском. Вопросы исключения возможности проявления рисков должны обсуждаться на этапах планирования и проектирования, наряду с вопросами по безопасности, эффективности выбранных технологических решений и обеспечения надежности. В процессе сооружения объекта метрополитена часто возникают проблемы, которые приводят к увеличению сроков и стоимости строительства, а в некоторых случаях — к развитию аварийной ситуации. Данные проблемы обусловлены недостаточным вниманием со стороны участников строительства к управлению геотехническими рисками. От своевременной и правильной оценки рисков во многом зависит продолжительность строительства объекта метрополитена в целом. Эффективность этой оценки напрямую связана с качеством идентификации рисков экспертами, пониманием механизма развития аварийных ситуаций и последующим анализом полученной информации. Произведена идентификация геотехнических рисков в метростроении на примере сооружения вертикальных стволов метрополитена с указанием возможных последствий проявления рисков. Разработана схема каскада геотехнических рисков. Рассмотрены проблемы управления рисками на различных стадиях реализации проекта строительства метрополитена, их причины, намечены основные направления совершенствования подхода к управлению геотехническими рисками.

Ключевые слова: строительство метрополитена, строительство вертикальных стволов, геотехнический риск, каскад геотехнических рисков, управление рисками, оценка рисков.

Для цитирования: *Потапова Е. В.* Общие проблемы управления геотехническими рисками на примере строительства вертикальных стволов метрополитена в городе Москве // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 10. – С. 44–54. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-44-54.

General problems of geotechnical risk management in terms of construction of vertical shafts in the Moscow subway

E.V. Potapova

Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
Moscow, Russia, e-mail: elka23sp@yandex.ru

Abstract: Underground construction in megacities is always associated with risk. Potentiality of risk elimination is to be discussed at all stages of planning and design, together with safety, efficiency and reliability of selected engineering solutions. Construction of subway objects often stumbles on

© Е.В. Потапова. 2019.

problems which result in the increased period and cost of construction, and, sometimes, in accidents. These problems are conditioned by insufficient concern of construction participants with geotechnical risk management. The prompt and correct risk assessment in many ways governs duration of construction of subway objects. Efficiency of such assessment directly depends on the quality of risk identification by experts, on understanding of the accident mechanism and on the further analysis of the obtained information. In this article, the geotechnical risk identification is carried out in terms of construction of vertical subway shafts with specification of possible consequences. The cascade pattern of geotechnical risks is developed. The problems of risk management and their causes at different stages of subway construction are discussed, and the basic approaches to improvement of geotechnical risk management are outlined.

Key words: subway construction, vertical shaft construction, geotechnical risk, geotechnical risk cascade, risk management, risk assessment.

For citation: Potapova E. V. General problems of geotechnical risk management in terms of construction of vertical shafts in the Moscow subway. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(10):44-54. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-44-54.

Введение

Развитие мегаполисов характеризуется постоянно возрастающими темпами подземной урбанизации. Это связано с ростом численности населения и необходимостью рационального использования городского пространства. Во многих городах мира успешно реализованы программы комплексного освоения геосферы в концепции «подземных городов» с развитой инфраструктурой.

Градостроительная политика Москвы строится в соответствии с мировыми тенденциями. Одной из актуальных проблем на сегодняшний день является сложная транспортная ситуация, вызванная непрерывным увеличением пассажиропотока (с 2005 по 2015 гг. количество поездок с использованием линий метрополитена увеличилось с 3,5 млн/год до 8,5 млн/год, [1, 2]). Строительство метрополитена открывает значительные перспективы в решении этой задачи. Использование подземного пространства позволяет разгрузить наземные магистрали, повышает скорость и качество передвижения по городу, снижает показатели по выбросам и шумовому воздействию. Вместе с тем, подземное строительство в городах сопряжено с определенными трудностями: плотная застройка, наличие памятников архитектуры, насыщенность коммуникациями, активное дорожное движение [3]. В некоторых случаях сюда добавляются сложные горно-геологические условия, а также проявления геологических процессов.

Управление геотехническими рисками при строительстве метрополитенов

Проходка вертикальных стволов метрополитена традиционно является сложной задачей. Она сопряжена с высокой долей ручного труда при разработке грунта и возведении обделки, низкими темпами проходки, трудностями при обеспечении безопасности рабочих, преодолением сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условий. Использование механизированных тоннелепроходческих комплексов при строительстве тоннелей способствовало получению высокотехнологичных результатов по всем параметрам проходки. В области строительства вертикальных стволов ситуация иная. В последнее десятилетие наблюдается определенный прогресс в этом направлении: все чаще стали применяться механизированные стволопроходческие комплексы, в частности, VSM (Vertical Shaft Machine) немецкой фирмы «Herrenknecht AG» [4]. Применение данных комплексов поз-

волило значительно увеличить скорость выполнения основных операций при строительстве стволов и сделать технологию проходки более безопасной и универсальной. В то же время замещение традиционных технологий современными происходит достаточно медленно. Это связано с сопротивлением со стороны проектных организаций, несовершенством сметно-нормативной базы, фактором неопределенности.

Практика последних инцидентов при строительстве стволов свидетельствует о том, что даже применение прогрессивных технологий не устраняет возможности развития неблагоприятных событий и не исключает необходимость проведения детального анализа инженерно-геологических условий и контроля со стороны всех участников геотехнического строительства, которое характеризуется значительным количеством факторов риска [5].

Риски при строительстве стволов метрополитена целесообразно отнести к отдельной категории строительных рисков [6] — к геотехническим рискам. Геотехнический риск (ГТР) — это риск нанесения вреда здоровью человеку или имуществу (в связи с возникновением/возможностью возникновения аварийной ситуации, изменением исходных параметров окружающей среды), в частности существующим зданиям, а также сложившимся геологической, гидрогеологической и экологической ситуациям участка строительства при проведении работ по возведению подземных и заглубленных со-

Идентификация геотехнических рисков при строительстве стволов метрополитена
Identification of geotechnical risks construction vertical shafts metro

№ п/п	Наименование риска	Факторы риска (причины проявления риска)	Вероятные последствия проявления риска (негативные события)
1	Затопление ствола водой и плывунными грунтами	1. Объем и качество инженерно-геологических изысканий (недостаточный объем и ненадлежащее качество). 2. Объем гидрогеологических изысканий в части объемов водопритока (недостаточный объем изысканий). 3. Качество проектирования, в т.ч. при выборе спец. метода и расчете его параметров (ошибки при проектировании). 4. Сейсмическое воздействие взрывов (недостаточный контроль при строительстве и проведении буровзрывных работ, ошибки при проектировании буровзрывных работ). 5. Техническое состояние насосного оборудования (неисправность оборудования) 6. Качество работ по искусственному упрочнению вмещающего массива (нарушение целостности или недостаточная толщина ледопородного ограждения*) 7. Соблюдение технологии работ и качество технического надзора (нарушение технологии, недостаточный контроль).	1. Травмы и гибель людей. 2. Сверхнормативные деформации и провалы земной поверхности. 3. Сверхнормативные деформации зданий и сооружений окружающей застройки. 4. Повреждение действующих коммуникации. 5. Выход из строя горнопроходческого оборудования в стволе. 6. Социальные последствия: выведение из строя коммунальных систем жизнеобеспечения, невозможность (постоянная или временная) жителей проживать в близлежащих зданиях. 7. Увеличение продолжительности и стоимости строительства.

2	Отклонение оси ствола	1. Объем и качество инженерно-геологических изысканий (недостаточный объем и ненадлежащее качество). 2. Качество маркшейдерского сопровождения (недостаточный контроль маркшейдерской службы). 3. Качество проектных работ (ошибки при проектировании, в т. ч. при анализе системы «обделка-вмещающий массив», несоблюдение норм проектирования). 4. Величина давления на обделку (превышение расчетного давления на обделку). 5. Соблюдение технологии работ и качество технического надзора (нарушение технологии строительства, недостаточный контроль).	1. Невозможность эксплуатации ствола. 2. Невозможность установки армировки без изменения существующего проекта (необходимость проведения дополнительных проектных работ). 3. Разрушение и/или сверхнормативные деформации обделки. 4. Нарушение герметизации обделки, фильтрация воды через стыки/трещины. 5. Увеличение продолжительности и стоимости строительства.
3	Деформации и разрушение обделки	1. Качество проектных работ (ошибки при проектировании обделки, в т.ч. при анализе системы «обделка — вмещающий массив», несоблюдение норм проектирования). 2. Объем и качество инженерно-геологических изысканий (недостаточный объем и ненадлежащее качество). 3. Объем гидрогеологических изысканий в части влияния агрессивности подземных вод на материал обделки (недостаточный объем изысканий). 4. Соблюдение технологии работ по возведению обделки и качество технического надзора (нарушение технологии возведения обделки, превышение рабочего давления домкратов при способе опускной крепи, несоблюдение требований при производстве бетонных работ, нарушение схем строповки блоков, недостаточный контроль и т.д). 5. Качество материалов обделки (несоответствие характеристик применяемых материалов обделки проектным характеристикам). 6. Сейсмическое воздействие взрывов (недостаточный контроль при строительстве и проведении буровзрывных работ, ошибки при проектировании буровзрывных работ). 7. Условия хранения и транспортировки элементов обделки (нарушения при хранении и транспортировке элементов обделки).	1. Травмы и гибель людей. 2. Невозможность эксплуатации ствола. 3. Затопление ствола водой и плывунными породами. 4. Нарушение герметизации обделки, фильтрация воды через стыки/трещины. 5. Сверхнормативные деформации и провалы земной поверхности. 6. Сверхнормативные деформации зданий и сооружений окружающей застройки. 7. Повреждение действующих коммуникаций. 8. Увеличение продолжительности и стоимости строительства. 9. Социальные последствия: выведение из строя коммунальных систем жизнеобеспечения, невозможность (постоянная или временная) жителей проживать в близлежащих зданиях.

4	Повреждение действующих коммуникаций	1. Качество работ по инженерным изысканиям в части определения планово-высотного положения действующих коммуникаций (недостаточный объем и качество изысканий). 2. Соблюдение технологии работ и качество технического надзора (повреждение коммуникаций в процессе сооружения свайных фундаментов и ограждений; при бурении скважин для замораживания, цементации и водопонижения; при возведении противофильтрационных завес и т.д.). 3. Качество геотехнического сопровождения (отсутствие или недостаточный объем сопровождения).	1. Социальные последствия: выведение из строя коммунальных систем жизнеобеспечения, невозможность (постоянная или временная) жителей проживать в близлежащих зданиях. 2. Сверхнормативные деформации и провалы земной поверхности (в следствии повреждения сетей водопровода и водоотведения). 3. Увеличение продолжительности и стоимости строительства.
5	Потеря гидропригруза (ствола при способе опускной крепи)	1. Объем и качество инженерно-геологических изысканий (недостаточный объем и ненадлежащее качество; внезапное вскрытие проемов, трещин, карстов, ослабленных зон). 2. Качество проектных работ (ошибки при выборе способа проходки для фактических инженерно-геологический условий, разработке конструкции уплотнительной манжеты ножевого кольца, подборе состава бентонитового раствора и т.д.).	1. Невозможность дальнейшей проходки ствола способом опускной крепи (или стволопроходческим комплексом) вследствии заклинивания обделки, необходимость перехода на другой способ проходки. 2. Сверхнормативные деформации и провалы земной поверхности. 3. Сверхнормативные деформации зданий и сооружений окружающей застройки. 4. Социальные последствия: выведение из строя коммунальных систем жизнеобеспечения, невозможность (постоянная или временная) жителей проживать в близлежащих зданиях. 5. Увеличение продолжительности и стоимости строительства.
6	Невозможность использования оборудования для строительства	1. Качество проектных работ (ошибки при выборе горнопроходческого оборудования и т.д.). 2. Техническое состояние оборудования (неисправное состояние). 3. Соответствие оборудования экологическим требованиям (несоответствующий экологический класс). 4. Соблюдение условий использования оборудования и качество технического надзора (нарушение правил эксплуатации, недостаточный контроль).	1. Невозможность дальнейшей проходки ствола с использованием данного оборудования. 2. Дополнительные затраты на закупку нового оборудования (или ремонт вышедшего из строя). 3. Необходимость проведения дополнительных проектных работ. 4. Увеличение продолжительности и стоимости строительства.

7	Пожар	1. Соблюдение технологии работ и качество технического надзора (нарушение технологии производства работ при кессонном способе проходки, нарушения при производстве огневых работ, недостаточный контроль). 2. Соблюдение требований промышленной безопасности (нарушение требований). 3. Состояние электрооборудования и кабельных линий (наличие неисправностей). 4. Хранение и использование горючих и взрывчатых материалов (нарушения при хранении и использовании). 5. Состояние системы пожаротушения (отсутствие, неисправность, ненадлежащий контроль за техническим состоянием системы).	1. Травмы и гибель людей. 2. Повреждения обделки и армировки ствола различной степени, вплоть до невозможности эксплуатации ствола. 3. Уничтожение оборудования. 4. Увеличение продолжительности и стоимости строительства.
* оценку рисков при замораживании грунтов при проходке следует выделять в отдельную группу в связи с многообразием факторов риска. Проявление рисков при данной технологии может происходить на стадии бурения скважин при их отклонении от вертикального направления [12], в процессе активного и пассивного замораживания, по причине неисправности комплекса оборудования, в процессе оттаивания и т.д.			

оружений или в результате последствия проведения данных работ [7]. Таким образом, ГТР можно определить как произведение вероятности и серьезности проявления геотехнической опасности, [8]. Проявление геотехнических рисков приводит к негативным событиям, которые, в свою очередь, ведут к удорожанию проекта, увеличения сроков строительства и аварийным ситуациям.

Авария представляет собой ситуацию, не поддающуюся контролю, которая может привести к тяжелым последствиям и гибели людей [9]. Как правило, аварийные ситуации и инциденты являются следствием комплекса взаимосвязанных причин (факторов риска). Знание методик оценки рисков и умение управлять рисками необходимы в настоящее время всем участникам строительства. Процесс управления рисками должен включать в себя планирование управления рисками, их идентификацию и оценку, выбор проектных решений, мероприятия по реагированию на риски, контроль риска [10]. Идентификация рисков должна сопровождаться обменом информацией и консультированием с экспертами [11].

В таблице произведена идентификация геотехнических рисков в период строительства стволов метрополитена, выделены факторы, определяющие характер протекания нештатной ситуации, названы причины, приводящие к проявлению риска, приведены вероятные последствия риска.

Как видно из данной таблицы, идентификация геотехнических рисков, выделение особенно значимых факторов и моделирование негативных событий от проявления рисков представляет собой трудоемкий процесс. Это связано с тем, что последствие риска может становиться отдельным риском уже со своей группой событий. Данное явление возможно увидеть на примере риска разрушения и деформации обделки ствола, которое может привести к затоплению ствола водой. Одновременно с этим, проявление рисков, сочетание факторов рисков и присоединение техногенных факторов

(неудовлетворительное состояние фундаментов зданий и подземных сетей) зачастую запускает цепную реакцию и развитие ситуации по каскадному сценарию, приводящему к серьезной аварийной ситуации (рисунок).

Каскадная авария представляет собой наиболее неблагоприятный исход проявления рисков технологических систем. Каждая технологическая система вносит свою специфику в характер реализации и последствий аварии (это особенности оборудования, технологических процессов, среды работы объектов системы, получаемого результата и т.д.). Объекты геотехнического строительства целесообразно относить к отдельной группе систем, где значительное влияние на характер протекания каскадного сценария проявления рисков будут оказывать особенности природно-технической геосистемы (ПТГС) [13].

Каскад геотехнических рисков (ГТР) — это совокупность геотехнических рисков, последовательное или параллельное проявление которых при проведении работ по возведению подземного сооружения приводит к неблагоприятному сценарию протекания аварийной ситуации с включением в следующий этап развития аварии новых элементов строительства подземного сооружения и расширением зоны/площади аварии.

Успешное управление рисками при строительстве стволов должно включать понимание важности прогностической функции данного процесса. Полноценная оценка рисков начинается с глубокого качественного анализа всей совокупности возможных рисков экспертами

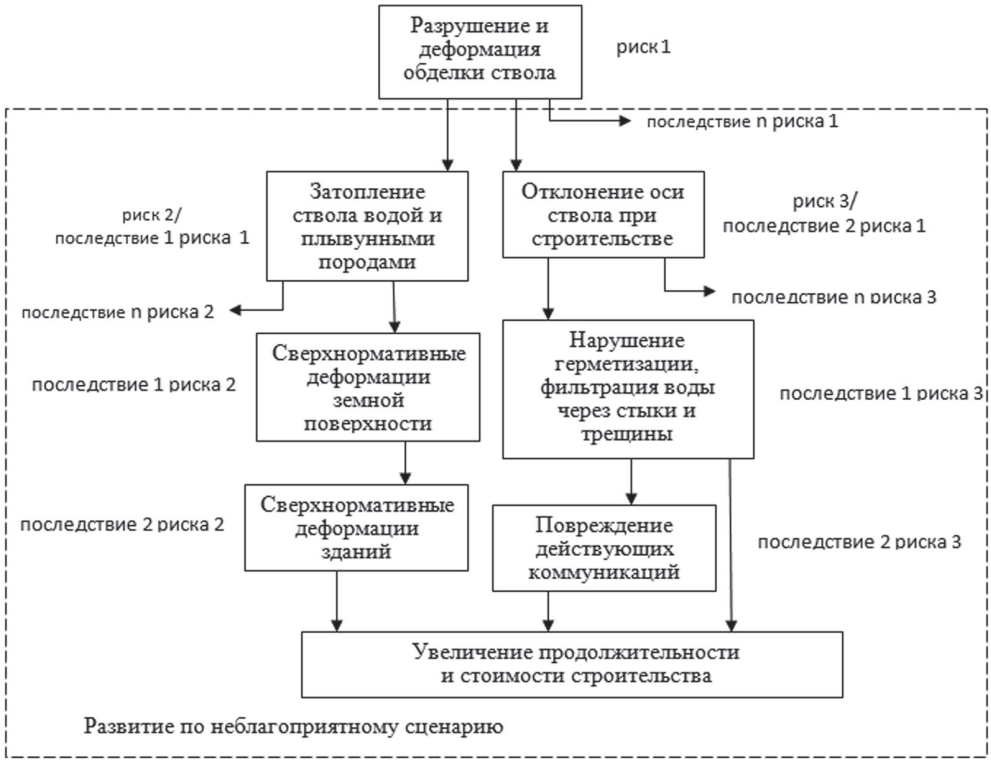

Схема каскада геотехнических рисков и развития аварии при строительстве вертикального ствола метрополитена

Scheme cascade of geotechnical risks and the development of accident during construction vertical shafts

(применение метода экспертных оценок). При этом необходимо соблюдение следующих условий:

• понимание экспертами специфики процесса, знание технологий и обладание опытом в строительстве вертикальных стволов;

• знание факторов риска и характера их проявления при строительстве на практике;

• умение прогнозировать ожидаемое проявление риска и моделировать негативные последствия от его проявления;

• систематическое накопление и анализ данных по случаям проявления геотехнических рисков и аварийным ситуациях, создание статистики.

Сбор информации по экспертным оценкам обязательно должен продолжиться ее обработкой, анализом, передачей результатов и архивацией. Во времена СССР существовала система, при которой все нештатные и аварийные ситуации обсуждались на расширенных собраниях строительных трестов. Результаты обсуждения передавались в проектные и научно-исследовательские институты для анализа причин, рассмотрения принятых мер по локализации аварии и ликвидации последствий, а также разработки организационно-технологических и технических мероприятий по недопущению проявления риска в будущем.

Такой подход был возможен, так как строительством и проектированием столичного метрополитена в рамках плановой экономики занимались две-три крупные организации. В настоящее время реализация инвестиционно-строительных проектов происходит с участием множества строительных организаций в рамках свободной конкуренции. На первый план выходят такие понятия, как «коммерческая тайна» и «репутация фирмы». Если во время строительства объекта происходит нештатная ситуация по причине недостаточной оценки рисков, то результаты, полученные при ее ликвидации, в большинстве случаев, не подвергаются архивации, анализу и формализации. В конечном итоге происходит потеря бесценной практической информации. Наряду с этим отсутствует обратная связь между проектными, строительными организациями и организациями, осуществляющими геотехническое сопровождение по обмену информацией о хронологии нештатной ситуации, предварительных причинах и принимаемых технических решениях [14, 15]. Нет единой базы данных о статистике аварий в метростроении.

Одной из проблем является отсутствие комплексного геотехнического сопровождения при строительстве объектов метрополитена. Геотехническое сопровождение должно начинаться в период оценки инвестиционно-строительного проекта и включать в себя инженерно-геологическое обследование строительной площадки, прогноз деформаций зданий близлежащей застройки, моделирование опасных ситуаций, геотехнический мониторинг, научное сопровождение новых технологий и т.д. [16]. Задача геотехнического сопровождения заключается в максимальном исключении фактора неопределенности, присущей природно-технической геосистеме (ПТГС), элементом которой является строящийся объект метрополитена. В настоящий период времени геотехническое сопровождение в основном включает геотехнический мониторинг, расчет мульд сдвижения (оседания) и прогноз деформаций зданий, попадающих в зону строительства.

Одновременно с этим задача управления рисками, входящая в состав обязательной Системы менеджмента качества (СМК) строительных организаций согласно ГОСТ Р ИСО 31000-2010, носит формальный характер отчетной процедуры, необходимой для сертификации СМК. Выбранные методы оценки риска (ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011) редко ис-

пользуются на практике для принятия решений при проектировании и заключении контрактов на строительство.

Результаты и обсуждение

Таким образом, в настоящий момент в метростроении сложилась ситуация, при которой проявление геотехнических рисков все чаще становится внезапным событием, к которому не готовы участники строительства. В конечном итоге это приводит к удорожанию проекта и увеличению сроков строительства.

Можно выделить следующие общие проблемы в управлении геотехническими рисками при строительстве метрополитенов:

- Отсутствие системного подхода, при котором управление рисками будет рассматриваться как система взаимосвязанных задач, начиная с предпроектной проработки и заканчивая созданием централизованного аналитического архива рисков.
- Отсутствие обратной связи между участниками реализации проекта.
- Формальное отношение к управлению рисками на всех стадиях реализации проекта (только на уровне СМК организации).
- Отсутствие системы накопления данных по возможным рискам и их анализу.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать следующие предложения:

- Необходим системный подход при принятии технических и организационно-технологических решений, включающий обязательную оценку рисков.
- Необходима обратная связь между участниками реализации проекта строительства «проектировщик — подрядчик — геотехническое сопровождение» с учетом утвержденных требований по обмену информацией.
- Должна быть сформирована единая концептуальная модель системы менеджмента качества для подрядных организаций, обеспечивающая организационно-технологическую безопасность строительства с учетом рисков.
- Необходима разработка и формализация механизма сбора, анализа, хранения и передачи информации по аварийным ситуациям и проявлению негативных последствий геотехнических рисков.
- Реализация проекта строительства объекта метрополитена на стадии проектирования должна включать моделирование наиболее опасных ситуаций и вероятных негативных последствий, в том числе, возможность развития каскадной аварии с оценкой величины ущерба.
- Обязательное геотехническое сопровождение всех проектов геотехнического строительства и научное сопровождение сложных и впервые применяемых технологий.

Обсуждение и предложения по направлению будущих исследований

Предложенный подход позволит сделать процесс управления рисками при строительстве метрополитена более эффективным. Он поможет более детально и точно производить качественный анализ в цепи управления рисками, в том числе, с использованием обработанных архивных данных. В настоящий момент для практической реализации необходимо разработать методику оценки каскада геотехнических рисков при строительстве метрополитенов для последующего количественного анализа.

Заключение

Умение управлять геотехническими рисками помогает предотвратить аварии и инциденты и минимизировать последствия от проявления риска. На примере идентификации рисков для вертикальных стволов видно, что необходимо про-

извести детальный анализ, чтобы выявить все возможные риски. При этом важно понимать, что каждое допущенное проявление риска может стать новым риском с отдельной группой последствий. Планирование рисков должно начинаться с момента инициации инвестиционно-строительного проекта. Процесс управления должен продолжаться архивацией фактических данных по нештатным ситуациям. Применение такого подхода сделает более точной оценку рисков для конкретного объекта строительства метрополитена и поможет в прогнозировании и предотвращении аварий.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю проф., д.т.н. Куликовой Е. Ю. за помощь и рекомендации при подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ГУП «Московский метрополитен»*. Годовой отчет за 2005 год. Основные показатели работы Московского метрополитена в отчетном году. URL: http://gup.mosmetro.ru/upload/iblock/3b7/3b7ca87b5146e161c70b9e6a36bdf125.pdf.

2. *Московский транспорт*. Итоги работы транспортного комплекса за 2015 год и планы за 2016 год. URL: http://gup.mosmetro.ru/upload/iblock/fab/fab9f85a001d7fa131cfb5458bd3e4ef.pdf.

3. *Katzenbach R., Leppla S.* Challenging construction projects related to urban tunnels // Geotechnical Engineering. 2014, 45(3), pp. 71—77.

4. *Потапов М. А., Потапова Е. В.* Стволопроходческие комплексы: практика применения для проходки вертикальных стволов московского метрополитена за последние 10 лет // Метро и тоннели. — 2016. — № 2. — С. 12—16.

5. *Мазаник Т. А.*, *Потапов М. А.*, *Потапова Е. В.* Рекомендации по минимизации деформаций земной поверхности (на примере применения стволопроходческого комплекса для строительства метро // Метро и тоннели. — 2016. — № 3. — С. 12—16.

6. *Куликова Е. Ю.* Классификация рисков при строительстве городских подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — № 12. — С. 27—43.

7. *Серова Е. А.*, *Чунюк Д. Ю.* Качественный анализ составляющих геотехнического риска при строительстве подземных и заглубленных сооружений // Вестник МГСУ. — 2010. — Т. 4. — № 4. — С. 136—144.

8. *Mishra R. K.* , Rinne M. Guidelines to design the scope of a geotechnical risk assessment for underground mines // Journal of Mining Science, 2014, Vol. 50, No. 4, pp. 745—756.

9. *Власов С. Н., Маковский Л. В., Меркин В. Е., при участии Куплиса А. Э., Скарабеева В. Ф., Торгалова В. В.* Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов. 2-е изд., доп. — М.: ТИМР, 2000. — 198 с.

10. *Чунюк Д. Ю.* Стратегия управления геотехническим риском // Вестник МГСУ. — 2011. — № 5. — С. 151—154.

11. *Mishra R. K.*, Janiszewski M., Uotinen L. K. T., Szydlowska M., Siren T., Rinne M. Geotechnical risk management concept for intelligent deep mines // Procedia Engineering, 2017, Vol. 191, pp. 361—368.

12. *Паланкоев И. М.* Оценка степени риска возникновения аварийных ситуаций при строительстве вертикальных шахтных стволов способом искусственного замораживания // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 6. — С. 44—51.

13. *Куликова Е. Ю., Корчак А. В., Левченко А. Н.* Стратегия управления рисками в городском подземном строительстве. — М.: Изд-во МГГУ, 2005. — 206 с.

14. *Vervorn R. R. E.*, *Dekker H. R. E.* Using GeoRM to communicate geotechnical risks between engineers and managers / 5th International Symposium on Geotechnical Safety and Risk. Rotterdam, Netherlands, 13—16 October 2015.

15. *McLain K., Gransberg D., Loulakis M.* Managing geotechnical risk on US design-build transport projects // Australasian Journal of Construction Economics and Building, 2014, 14 (1), pp. 1—19.

16. *Чунюк Д. Ю.* Обеспечение безопасности и снижение рисков в геотехническом строительстве // Вестник МГСУ. — 2008. — № 2. — С. 107—111. ГИАБ

REFERENCES

1. *GUP «Moskovskiy metropoliten». Godovoy otchet za 2005 god. Osnovnye pokazateli raboty Moskovskogo metropolitena v otchetnom godu* [Moscow metro. Annual report for 2005. Key performance indicators of the Moscow metro in the reporting year]. URL: http://gup.mosmetro.ru/upload/iblock/3b7/3b7ca87b5146e161c70b9e6a36bdf125.pdf.

2. *Moskovskiy transport. Itogi raboty transportnogo kompleksa za 2015 god i plany za 2016 god* [Moscow transport. The results of the transport complex for 2015 and plans for 2016]. URL: http://gup.mosmetro.ru/upload/iblock/fab/fab9f85a001d7fa131cfb5458bd3e4ef.pdf.

3. Katzenbach R., Leppla S. Challenging construction projects related to urban tunnels. *Geotechnical Engineering*. 2014, 45(3), pp. 71—77.

4. Potapov M.A., Potapova E.V. Vertical shaft sinking machines: application practice for sinking vertical shafts of the Moscow metro over last 10 years. *Metro i tonneli*. 2016, no 2, pp. 12—16. [In Russ].

5. Mazanik T.A., Potapov M.A., Potapova E.V. Recommendations to mini-mize deformations of earth's surface (for example use of VSM complex for subway building. *Metro i tonneli*. 2016, no 3, pp. 12—16. [In Russ].

6. Kulikova E.Yu. Risks classification in the construction of urban underground building. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2006, no 12, pp. 27—43. [In Russ].

7. Serova E.A., Chunyuk D.Yu. Qualitative analysis of components the geotech-nical risk in underground construction. *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Stroitel'nogo Universiteta*. 2010. Vol. 4, no 4, pp. 136—144. [In Russ].

8. Mishra R.K. , Rinne M. Guidelines to design the scope of a geotechnical risk assessment for underground mines. *Journal of Mining Science*, 2014, Vol. 50, No. 4, pp. 745—756.

9. Vlasov S.N., Makovskiy L.V., Merkin V.E., Kuplis A.E., Skarabeev V.F., Torgalov V.V. *Avariynye situatsii pri stroitel'stve i ekspluatatsii transportnykh tonneley i metropolitenov*. 2-e izd. [Accidents in transportation and subway tunnels, 2nd edition], Moscow, TIMR, 2000, 198 p.

10. Chunyuk D.Yu. Management strategy by geotechnical risk. *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Stroitel'nogo Universiteta*. 2011, no 5, pp. 151—154. [In Russ].

11. Mishra R.K., Janiszewski M., Uotinen L.K.T., Szydlowska M., Siren T., Rinne M. Geotechnical risk management concept for intelligent deep mines. *Procedia Engineering*, 2017, Vol. 191, pp. 361—368.

12. Palankoev I.M. Risk assessment of emergency situations during the shaft construction method of artificial freezing. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 6, pp. 44—51. [In Russ].

13. Kulikova E.Yu., Korchak A.V., Levchenko A.N. *Strategiya upravleniya riskami v gorodskom podzemnom stroitel'stve* [Strategy risk management in urban underground construction], Moscow, Izd-vo MGGU, 2005, 206 p.

14. Vervorn R.R.E., Dekker H.R.E. Using GeoRM to communicate geotechnical risks between engineers and managers. *5th International Symposium on Geotechnical Safety and Risk*. Rotterdam, Netherlands, 13—16 October 2015.

15. McLain K., Gransberg D., Loulakis M. Managing geotechnical risk on US design-build transport projects. Australasian Journal of Construction Economics and Building, 2014, 14 (1), pp. 1—19.

16. Chunyuk D.Yu. Safety and risk reduction in geotechnical construction. *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Stroitel'nogo Universiteta*. 2008, no 2, pp. 107—111. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Потапова Елена Владимировна — аспирант,
МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: elka23sp@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

E.V. Potapova, Graduate Student, e-mail: elka23sp@yandex.ru,
Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.