

Бородина Евгения Сергеевна — инженер-технолог НИЛ «Тоннели и метрополитены» СГУПС.

В 2010 г. окончила факультет «Мосты и тоннели», кафедра «Тоннели и метрополитены» СГУПС.

Область научных интересов — обследование, экспертиза, расчеты и проектирование транспортных объектов; оценка строительных рисков при сооружении тоннелей.

УДК 658.012:625

Г.Н. ПОЛЯНКИН, А.Г. ПОЛЯНКИН, Д.А. АНОШЕНКО, Е.С. БОРОДИНА

К ОЦЕНКЕ РИСКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ ТК № 1 СОВМЕЩЕННОЙ ДОРОГИ АДЛЕР — ГОРНОКЛИМАТИЧЕСКИЙ КУРОРТ «АЛЬПИКА-СЕРВИС»

В статье отражаются вопросы особенностей строительства тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях, при наличии оползневых участков, карстов, подземных вод, наличии зон разломов и слабых грунтов.

Анализируются не только основные конструктивно-технологические, но и организационные риски, возникающие при строительстве тоннельных сооружений.

Ключевые слова: *автодорожный и железнодорожный тоннели, проходка тоннелей, обделка, специальные способы, проходческое оборудование, строительные риски, управление рисками, график производства работ, контроль качества работ.*

Известно, что одной из основных задач строительной отрасли России в настоящее время является выполнение Федеральной целевой программы строительства олимпийских объектов в г. Сочи, в рамках которой предусмотрено развитие инфраструктуры для успешного проведения зимних Олимпийских игр 2014 г. В составе Программы строительство тоннелей и других ИССО на совмещенной (автомобильной и железной) дороге Адлер — горноклиматический курорт «Альпика-Сервис».

Важнейшей особенностью строительства является то, что сроки выполнения работ строго регламентированы (начало — 3-й квартал 2008 г., окончание — 2-й квартал 2013 г.).

На автомобильной дороге длиной 45,6 км будет сооружено: три автодорожных тоннеля общей протяженностью 6 753 м, 37 мостов и путепроводов суммарной длиной 12 493 м.

На железной дороге протяженностью 48,2 км 6 тоннелей суммарной длиной 10 823 м, 32 моста и 9 водопропускных труб. Кроме транспортных тоннелей сооружаются: 3 сервисно-эвакуационных штольни суммарной длиной 9 328,7 м; много вспомогательных выработок различного назначения: 60 эвакуационных сбоек общей длиной 2 506 м; 3 вентиляционных сбоек общей длиной 600 м и др.

Реализация столь сложного проекта должна учитывать возможные риски и факторы опасности, зависящие от следующих условий [1]:

- политическая ситуация;
- стихийные бедствия;

- несовпадение интересов сторон, занятых осуществлением проекта;
- технические проблемы;
- другие факторы.

Риски необходимо выявить, нейтрализовать или исключить.

НИЛ ТМ с 2010 г. выполняет научно-исследовательскую работу по теме № 10-100 «Технический надзор за строительством искусственных сооружений (ИССО) на объекте строительства по титулу: «Совмещенная (автомобильная и железная) дорога Адлер — горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» (проектные и изыскательские работы, строительство)», в том числе на тоннельном комплексе № 1.

Общая характеристика объекта. В состав первого тоннельного комплекса входят железнодорожный тоннель, автодорожный тоннель и сервисная штольня (рис. 1).



Рис. 1. Состав тоннельного комплекса № 1

Железнодорожный однопутный тоннель: длина — 2 523,5 м; сечение — 74 м²; способ проходки — горный, калотта с нижним уступом; обделка — монолитный железобетон.

Автодорожный двухполосный тоннель: длина — 2 296,0 м; сечение — 134 м²; способ проходки — горный, калотта с нижним уступом; обделка — монолитный железобетон.

Сервисная штольня: длина — 2 366,1 м; способ проходки — щитовой (ТПК LOVAT RME 232 SE); обделка — сборный железобетон (6+1).

Исходя из горно-геологических условий, длины, сечения и назначения тоннелей и штольни, а также накопленного опыта строительства в данном регионе, при строительстве железнодорожного и автодорожного тоннелей ТК № 1 выбраны следующие основные технологии производства работ [2].

Проходка железнодорожных и автодорожных тоннелей производилась горным способом, методом нижнего уступа, с разработкой грунта: с $f < 6,0$ проходческими комбайнами (ТПК), в более крепких грунтах предусмотрено использование буровзрывных работ (БВР). Метод БВР — контурное взрывание, заходками по 3,0–3,5 м, на полное сечение или с защитным слоем, с дальнейшей доработкой ПК до проектного контура выработки.

Применение проходческих комбайнов нового поколения, в том числе корпорации «Sandvik Corp.» (ALPINE MINER AM-75, ALPINE TUNNEL MINER ATM-105, Sandvik M520), при строительстве олимпийских тоннелей позволило на начальном этапе строительства достигнуть высоких скоростей проходки.

Врезка под экраном из труб и проходка калотты в грунтах $f < 6,0$ осуществлялась в автодорожном тоннеле при помощи ТПК ATM-105 и Sandvik MT520, железнодорожном тоннеле ТПК AM-75, ATM-105, заходками по 1,0–3,0 м в зависимости от устойчивости забоя.

С южного портала автодорожного тоннеля велась разработка грунта нижнего уступа проходческими комбайнами и БВР с доработкой подземным экскаватором «Liebherr», оборудованным гидромолотом.

В грунтах с коэффициентом крепости более семи наилучшие показатели проходки тоннелей и вспомогательных выработок первого тоннельного комплекса получены при использовании буровзрывного способа (БВС). Используются технологии контурного взрывания, заходками по 3,0–3,5 м, на полное сечение или с защитным слоем с дальнейшей доработкой проходческим комбайном до проектного контура выработки.

Место строительства объектов ТК № 1 характеризуется сложными условиями, связанными с рисками пересечения грунтовых массивов с экзогенными геологическими процессами (слабые и раздробленные грунты, оползни, карсты, тектонические разломы, подземные воды) при высокой сейсмичности района 9 баллов.

В процессе строительства и эксплуатации подземного сооружения возникают различные аварийные ситуации, связанные с ошибками в решениях изыскателей, проектировщиков, строителей и эксплуатационного персонала.

Возникновение риска при строительстве сложного тоннельного комплекса неизбежно и поэтому необходимо прогнозировать неблагоприятные события, оценивать риск и не переходить за его допустимые пределы.

Разработка стратегии управления рисками начинается на этапе проектно-изыскательских работ и не прекращается до завершения проекта.

В целом стратегия состоит из трех этапов:

- этап базового проектирования (критерии принятия риска, качественный расчет риска);
- этап тендера и заключения контрактов (дополнительные условия в контракте, связанные с факторами риска; требования, изложенные в тендерной документации);
- этап строительства включает: управление рисками подрядчика, управление рисками заказчика.

Тоннели относятся к наиболее трудоемким и дорогостоящим сооружениям на олимпийской трассе. Стоимость и темпы их строительства определяются инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями места строительства; способами сооружения; конструкциями обделки и другими факторами, среди которых немаловажное значение имеют скорости проходки и возведения конструкций. Повышение этих скоростей позволяет уменьшить затраты на обслуживающие процессы и накладные

расходы, а также, что в данном случае является определяющим, сократить сроки строительства тоннелей и транспортные расходы на строительство и эксплуатацию олимпийской трассы в целом.

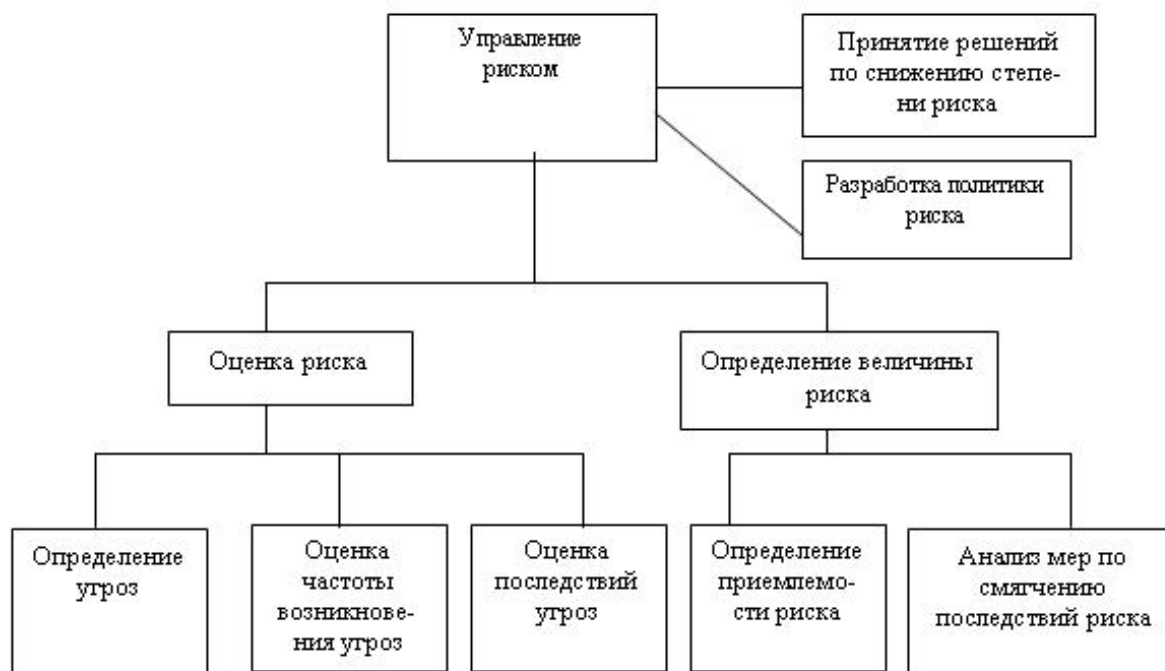


Рис. 2. Процесс оценки и управления риском на различных стадиях проектирования и строительства [3]

Анализируя местные условия строительства, результаты изыскательских и проектных работ, необходимо составить перечень факторов опасности (рисков) и классифицировать по группам.

Классификация факторов производственного риска [4]:

Организационные: методы организации проходческих работ; надежность организационно-технических решений; обеспеченность материально-техническими ресурсами; организация строительно-монтажных работ; организация труда.

Технические: технология производства проходческих работ; технологичность проектных решений; надежность организационно-технических решений; качество проходческих и строительно-монтажных работ; производительность труда; техника безопасности.

Физические: инженерно-геологические и гидрогеологические условия; климатические условия.

Управленческие: квалификация кадров; координация работ; качество управленческих решений.

Рекомендуется следующий порядок управления рисками при строительстве тоннелей [5]:

- вначале должен быть проведен анализ возможных рисков, который включает определение факторов опасности (количественное и качественное);
- затем проводится расчет рисков — взвешивание степени опасности и вероятности ее возникновения;
- как итог выполняется оценка рисков с принятием решения по:
 - уменьшению риска до приемлемого уровня;

принятию риска как незначительного;
 исключению риска (от ограничения эксплуатации до полного закрытия и реконструкции или постройки нового сооружения);
 передаче риска третьим лицам (страхование).

При выборе методов проведения анализа риска, необходимо учитывать этапы жизненного цикла объекта (проектирование, строительство и т.д.), цели анализа, критерии приемлемого риска, тип анализируемого подземного сооружения и характер опасности, наличие необходимой информации и другие факторы.

Так, на стадии идентификации опасностей и предварительных оценок риска рекомендуется применять методы качественного анализа и оценки риска. Эта стадия может именоваться анализом опасностей. Практика показывает, что использование сложных количественных методов анализа риска зачастую дает значения показателей риска, точность которых для сложных технических систем невелика. В связи с этим проведение полной количественной оценки риска более эффективно для сравнения источников опасностей или различных вариантов мер безопасности (например, при размещении объекта), чем для составления заключения о степени безопасности объекта. Однако количественные методы оценки риска всегда очень полезны, а в некоторых ситуациях и единственно допустимы, в частности, для сравнения опасностей различной природы, оценки последствий крупных аварий или для иллюстрации результатов.

Обеспечение необходимой информацией является важным условием проведения оценки риска.

Вследствие недостатка статистических данных на практике рекомендуется использовать экспертные оценки и методы ранжирования риска, основанные на упрощенных методах количественного анализа риска. В этих подходах рассматриваемые события или элементы обычно разбиваются по величине вероятности, тяжести последствий и риска на несколько групп (или категорий, рангов), например, с высоким, промежуточным, низким или незначительным уровнем риска. При таком подходе высокий уровень риска может считаться (в зависимости от специфики объекта) неприемлемым (или требующим особого рассмотрения), промежуточный уровень риска требует выполнения программы работ по уменьшению уровня риска, низкий уровень считается приемлемым, а незначительный вообще может не рассматриваться.

При выборе и применении методов анализа риска рекомендуется придерживаться следующих требований [3]:

метод должен быть научно обоснован и соответствовать рассматриваемым опасностям;

метод должен давать результаты в виде, позволяющем лучше понять формы реализации опасностей и наметить пути снижения риска;

метод должен быть повторяемым и проверяемым.

Расчет рисков. При использовании методики, принятой в еврокодах [7], риск может быть выражен следующим образом:

$$R = Prob(F) \cdot C,$$

где $Prob(F)$ — вероятность возникающей угрозы; C — количественные последствия, выраженные, например, в количестве смертей, вызванных аварией, временных или денежных единицах.

В нижеприведенной таблице представлена оценка вероятности возникновения и степени возможного ущерба.

Определение вероятности возникновения и степени возможного ущерба [1]

Оценка/степень			С: Решающее воздействие	
$Prob(F)$: Вероятность	1	Маловероятно, редко, можно исключить	1	Незначительное
	2	Небольшая вероятность, малая вероятность, вряд ли допустимо	2	Низкое
	3	Случайно, довольно редко, не исключено	3	Значительное
	4	Вероятно, довольно высокая вероятность, возможно	4	Высокое
	5	Вполне вероятно, высокая вероятность, необходимо предусмотреть	5	Чрезвычайно высокое

На основании классификации, принятой с учетом степени опасности и вероятности ее возникновения, можно подготовить следующую матрицу (рис. 3).

		Эффект*						
		5	4	3	2	1		
большой	5	5	10	15	20	25		
	4	4	8	12	16	20		
средний	3	3	6	9	12	15		
	2	2	4	6	8	10		
маленький	1	1	2	3	4	5		
		1	2	3	4	5	Вероятность**	
		низкая		средняя		высокая		

Примечание.

*Решающее влияние на:
стоимость, безопасность труда,
экологию;

**вероятность возникновения:
весьма маловероятно, маловероятно,
случайно,
вероятно, весьма вероятно.

Рис. 3. Матрица классификации степеней опасности и вероятностей возникновения [1]

На основании опыта оценки рисков на аналогичных объектах полученный массив рисков может быть разделен на три группы:

- 1) факторы риска (0–4) — не требуется проведения мероприятий по устранению риска;
- 2) факторы риска (5–12) — рассмотрение возможных мероприятий по уменьшению риска и в случае необходимости их применение;
- 3) факторы риска (12–25) — выполнение мероприятий по устранению риска обязательно.

На стадии идентификации опасностей рекомендуется использовать один или несколько из перечисленных ниже методов анализа риска:

— что будет, если...; проверочный лист; анализ опасности и работоспособности; анализ видов и последствий отказов; анализ «дерева отказов»; анализ «дерева событий»; соответствующие эквивалентные методы.

Краткие сведения о методах анализа риска и рекомендации по их применению представлены в [5].

Таблица рисков должна обновляться постоянно. Повторный расчет (переоценку) необходимо делать при повышении и снижении риска. Для новых этапов строительных работ в тоннелях необходимо определять новые факторы риска, например, при проходке тоннеля: безопасность труда; вопросы экологии; при сооружении постоянной обделки: сроки бетонирования, расходы и др.

При оценке строительных рисков может использоваться методика балльной оценки технического состояния конструкций подземных сооружений, характеризующая уровень их эксплуатационной надежности. В частности, в Положении [6] все замечания и дефекты, определяющие сложность и трудоемкость эксплуатации тоннелей, выделены в следующие четыре категории:

I категория — отсутствие каких-либо вредных воздействующих факторов на конструкции тоннелей или их слабая активность.

II категория — наличие обводненности на отдельных участках или ее сезонные проявления, наличие трещин от температурных воздействий, загазованность, повышенная влажность, наличие вечной мерзлоты.

III категория — повышенная степень обводненности и трещиноватости, наличие несквозных вывалов в бетоне обделки, наличие частой смены знакопеременных температур в течение длительного периода, наличие тектонических маломощных или устоявшихся разрывных нарушений.

IV категория — наличие горного и гидростатического давления, сейсмическая активность до десяти баллов, повышенная степень обводненности и агрессивности водной среды, наличие мощных зон разрывных нарушений.

При определении балльной оценки «К» учитывают, что все дефекты в конструкциях и системах по своей сложности и степени опасности объединяются в следующие группы:

I группа — непосредственно не влияет на долговечность сооружения, но определяет качество работ по текущему содержанию ИССО.

II группа — влияет на долговечность сооружений, ухудшает условия обслуживания.

III группа — снижает уровень безопасности. Развитие дефектов может создать угрозу безопасности работ.

IV группа — угрожает безопасности работ, требует введения особого контроля, введения предупреждений, ограничения скорости.

При определении балльной оценки за базовую принимается оценка дефекта наибольшей категории, т.е. I — К-5, II — К-4, III — К-3, IV — К-2.

Определение балльности состояния сооружения производится по формуле

$$K_{\text{сост}} = K_{\text{баз}} - (KI_{n1} + KII_{n2} + KIII_{n3}),$$

где $KI, KII, KIII$ — коэффициент на опасность 0,05; 0,02; 0,1 соответственно; $n1, n2, n3$ — количество дефектов для данной категории.

За точку отсчета принимается первоначальное определение балльности сооружения.

Оценку технического состояния конструкций тоннеля предлагается осуществлять в виде четырехзначного индекса, в котором *первая цифра* обозначает элемент конструкции; *вторая* — наименование дефекта; *третья* — причину его возникновения; *четвертая* — состояние названного элемента или всей конструкции обделки.

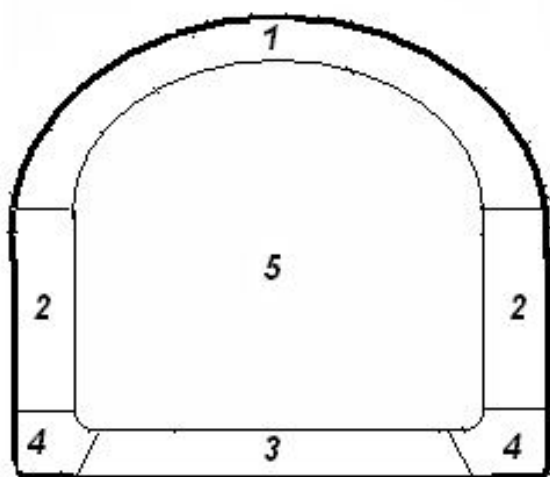


Рис. 4. Условное наименование элементов конструкции:

1 — свод; 2 — стены; 3 — обратный свод;
4 — опорная часть; 5 — вся обделка

Таким образом, общая оценка технического состояния обделки тоннеля на каждом конкретном участке может быть представлена в виде четырехзначного индекса (1–2–3–4) (см. рис. 4), в котором: *первая цифра индекса* — наименование элемента конструкции; *вторая цифра* — наименование дефекта; *третья цифра* — причина возникновения дефекта: горное давление; климатические условия; оползни; недостатки изысканий; недостатки проектирования; недостатки строительства; недостатки содержания, ремонта; *четвертая цифра* — категория технического состояния элементов конструкции (или всей обделки) в соответствии с РД 22-01-97 и СП 13-102–2003.

1. *Нормативный уровень технического состояния* — все параметры технического состояния строительных конструкций обследуемого сооружения соответствуют требованиям нормативов (СНиП, ТСН, ГОСТ и т.п.).

2. *Исправное состояние* — отсутствие каких-либо вредных воздействующих факторов на конструкции сооружений или их слабая активность (наличие в кладке поперечных и волосяных усадочных трещин).

3. *Работоспособное состояние* — некоторые из численно оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта, норм и стандартов, но это не приводит к нарушению работоспособности и снижению несущей способности конструкций (наличие в кладке небольших несквозных вывалов и усадочных трещин раскрытием не более 0,2 мм).

4. *Ограниченно работоспособное состояние* — имеются дефекты и повреждения, приведшие к некоторому снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения конструкций при тщательном и постоянном контроле за их состоянием (выщелачивание бетона, высолы, слабый бетон, дуговые трещины).

5. *Недопустимое состояние* — снижение несущей способности и эксплуатационных характеристик, при котором существует опасность для пребывания людей (наличие в кладке сквозных вывалов или трещин с шириной раскрытия более 0,2 мм; отслоения или заколы, предшествующие вывалам, отслоение защитного слоя бетона с поражением арматуры коррозией).

6. *Аварийное состояние* — повреждения и деформации, свидетельствующие об исчерпании несущей способности и опасности обрушения строительных конструкций, вызывающие необходимость проведения срочных противоаварийных мероприятий (вывалы бетона обделок, сильное развитие трещин с постоянно увеличивающимся раскрытием; полное разрушение конструкции и т.п.).

Ниже приведены примеры оценки рисков, влияния на осуществление проекта и принятых решений.

Пример 1. Оползень на южном портале ТК № 1 (рис. 5).

Для проявившегося фактора риска установлен уровень 20–25, т.е. неприемлемый.



Рис. 5. Оползень на южном портале ТК № 1

Одна из основных причин — неверно принятое решение по месту, способам укрепления откоса и технологии врезки тоннеля. Последствия: задержка сроков начала строительства и многомиллионные затраты на укрепительные сооружения элементов южного портала ТК № 1.

Пример 2. Выход карста в ЖДТ ПК 163+80 в месте проектного расположения людской ниши (рис. 6).



Рис. 6. Выход карста в ЖДТ ПК 163+80 в месте проектного расположения людской ниши

По трассе автодорожного и железнодорожного тоннелей неоднократно встречены карстовые полости, местоположение которых и размеры не соответствуют полученным при проектно-изыскательских работах.

Для проявившегося фактора риска установлен уровень 15, т.е. неприемлемый. Причина — некачественно выполненные работы. Последствия: задержка сроков проходки и затраты на преодоление и заполнение бетоном карстовой полости.

Таким образом, методы оценки и управления риском дополняют традиционные методы расчета сооружений, это дает возможность представить развитие проблемы, оценить ее масштабы и последствия и принять необходимые меры для ее исключения [3].

Наиболее сложной задачей является количественная оценка последствий проявления каждого вида риска и их совокупности, связанная с существованием множества вариантов решений и, как следствие, неопределенностью рискованных ситуаций.

Управление рисками и их оценка при проектировании и строительстве тоннелей, как опасных производственных объектов, должны быть обязательными: это существенно повышает безопасность выполнения работ и последующую надежность сооружений при эксплуатации.

Библиографический список

1. Амберг Ф., Ретлисбергер Б. Управление рисками на примере тоннельных комплексов № 3 и № 5.
2. Антощенко В.П., Балькин В.В., Полянкин Г.Н. Современные технологии проходки тоннелей на олимпийской трассе // Тоннели и метро. 2010. № 4.
3. Улицкий В.М., Лисюк М.Б. Оценка риска и обеспечение безопасности в строительстве // Реконструкция городов и геотехническое строительство (интернет-журнал). 2002. № 5. URL: <http://geotec.narod.ru/mag/2002n5/26/26.htm> (дата обращения 24.01.2013).
4. Онуфриева Т.Л. Оценка производственного риска в строительстве: Дис. ... канд. экон. наук. М., 1997. 136 с.
5. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. (Утв. Постановлением № 30 Госгортехнадзора России от 10.07.2001).
6. Положение по оценке состояния и содержания искусственных сооружений на железных дорогах Союза ССР/ГУПМПСССР. М.: Транспорт, 1991. 28 с.
7. Calgaro J.-A., Gulvanessian H. Management of Reliability and Risk in the Eurocode System // Safety, risk, and reliability — trends in engineering. International Conference. Malta. 2001. P. 155–160.

G.N. Poliankin, A.O. Kuznetsov, A.G. Poliankin, D.A. Anoshenko. Calculation of the Lining at Tunnel Complex № 1 at Railway and Motorway (Adler — Ski Resort “AlpicaService”).

The article describes the peculiarities of tunneling under complex engineer-geological conditions with avalanche areas, karsts, ground waters, fault areas and soft grounds. Main constructive-technological and organizational risks, appearing during tunnel structures constructing are analyzed.

Key words: motorway and railway tunnels; tunneling; lining, special methods, tunnel boring machines, construction risks, risks management, work schedule, work quality control.