

УДК 69.035.4

Е.Ю. Куликова, Ю.Н. Куликов, Т.В. Воронина
**ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ
ПРИ МИКРОТОННЕЛИРОВАНИИ**

Семинар № 18

В настоящее время функционирование жизнеобеспечивающих инженерных коммуникаций различного назначения способствует дальнейшему развитию современного городского хозяйства. Общая протяженность подземных сетей России составляет 373,5 тыс. км (в т.ч. канализация 115,2 тыс. км), из которых отслужили нормативный срок и требуют замены 109,7 тыс. км [8]. Общий объем проведения подземных коммуникаций в России составляет около 200-250 км/год, из которых не менее 75-80 км/год приходится на Москву.

Их распределяются следующим образом:

- около 20 % относится к тоннелям, имеющим диаметр 2 м,
- 23 % – от 1 до 1,5 м,
- 45 % – от 0,5 до 0,8 м [9].

Проведение такого количества тоннелей малого диаметра в условиях плотной городской застройки осуществляют бестраншейной технологией с применением микротоннелепроходческих комплексов (МТПК). В строительном комплексе Москвы не менее 12 организаций занимаются микротоннелированием, сооружая до 15000 п. м тоннелей в год каждая.

Одним из основных преимуществ технологии микротоннелирования является сохранение окружающей среды обитания в месте проходки. При микротоннелировании оказываемые воздействия на среду обитания значительно меньше,

чем при традиционных методах, однако они вызывают различные процессы и изменения во вмещающей и окружающей среде, что может привести к нарушению экологического баланса в формируемой природно-технической геосистеме «породный массив – технология – подземное сооружение» [2].

Одним из аспектов строительной геотехнологии, исследующей закономерности поведения подземных сооружений в массиве горных пород, является изучение поведения и свойств системы, функционирующей в пределах жизненного цикла подземного сооружения, которая называется «природно-технической геосистемой» (ПТГС). В настоящее время понятие «проектирование подземного сооружения» постепенно вытесняется понятием «проектирование ПТГС», которое включает в себя подземный объект (в данном случае трубопровод) и часть породного массива в границах их взаимодействия.

Производятся специальные вероятностные расчеты экологического риска в подземном строительстве.

Экологический риск – это возможность возникновения негативных техногенных изменений окружающей среды в районе строительства и эксплуатации подземного сооружения [7]. Экологический риск существует на всех стадиях ПТГС и определяется из выражения:

$$R = P_{н.о} \cdot UP_{ущ} \text{ или } R = P_{н.о} M_{ущ},$$

где $P_{н.о}$ – вероятность наступления отказа подземного сооружения; U – экологический ущерб от произошедшей аварии; $P_{ущ}$ – вероятность данного экологического ущерба; $M_{ущ}$ – математическое ожидание величины экологического ущерба.

Риск в подземном строительстве, являясь наиболее емким интегрирующим понятием, фактически служит мерой осознаваемой опасности при строительной деятельности. Поэтому при проектировании выделяют систему взаимодействующих компонентов: природные, технологические и технические связи, обуславливающие нормальное функционирование трубопровода на всех стадиях его жизненного цикла с позиций минимального риска [7].

Таким образом, на надежность коммунальных тоннелей, построенных микротоннелепроходческими комплексами, влияет ряд природных, технологических и эксплуатационных факторов.

К природным факторам относятся геологические и гидрогеологические условия залегания микротоннелей.

К технологическим факторам относятся усилия, воспринимаемые обделкой от действия строительных факторов (давление от микрощитовых домкратов при задавливании става труб).

При проведении тоннелей микротоннелепроходческими комплексами основными нагрузками являются продольные монтажные нагрузки от домкратных установок. По экспериментальным данным [1] выявлено, что не обеспечивается трещиностойкость продольных сечений на одновременное воздействие монтажных и эксплуатационных нагрузок.

Другими словами, при проталкивании става труб продольные монтажные нагрузки могут стать причиной образования наклонных трещин в торцевых сечениях, что приводит к сколу в сторону внутренней поверхности обделки. Остальные факторы, действующие на микротоннели в процессе их эксплуатации, относятся к эксплуатационным (горное давление, давление от поверхностных объектов, собственный вес конструкции, перемещение взвешенной жидкости, механическое истирание лотковой части).

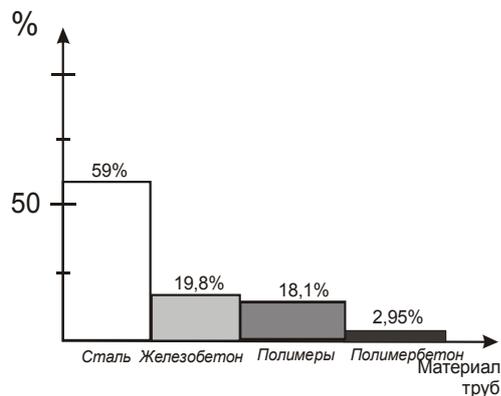
При проектировании микротоннеля, таким образом, необходимо учесть, в первую очередь, такие рискообразующие факторы, как:

- связанные с неподтверждением геологоразведочных данных, которые заложены в проект строительства микротоннеля;
- связанные с неточностью технико-экономических проектных расчетов и возможными ошибками в определении проектных показателей;
- связанные с ошибками в определении критериев экономической эффективности проекта строительства подземного сооружения.

Конструкция микротоннелей испытывает негативное воздействие значительного числа факторов, действующих на нее с двух сторон: с внешней, обращенной в сторону грунта, и внутренней со стороны эксплуатируемой части тоннеля [4]. Действие всех сил и нагрузок, воспринимаемых обделкой, делятся на две группы.

Первая группа – это нагрузка и силы, в результате действия которых может возникнуть механическое прочностное разрушение обделки (горное и гидростатическое давление, давление от поверхностных объектов, сейсмическое воздействие, воздействие строительных нагрузок, нагрузки содержимого труб).

Рис. 1. Удельный вес используемых материалов при микротоннелировании



Вторая группа – это действие сил, вызывающих коррозию обделки под влиянием химического и биологического воздействия окружающей среды и условий эксплуатации (действие подземных вод, влияние минерализованных грунтов, перемещение по тоннелю больших масс фекальных жидкостей, вызывающих коррозионное разрушение обделки из-за возникающей газовой и биологической коррозии, механическое истирание лотковой части).

При этом принято во внимание, что при эксплуатации труб имеют место следующие виды контактов:

- контакт внутренней поверхности обделки с агрессивной средой самотечной хозяйственно-фекальной канализации;
- контакт с обделкой исключен (первичная обделка используется в качестве футляра для прокладки рабочих трубопроводов);
- контакт с внутренней поверхности обделки с неагрессивной средой (системы водоснабжения, стоков воды и т.п.).

Безотказность работы трубопроводов обязательно предполагает их устойчивость и оптимальный характер взаимодействия с массивом окружающих горных пород, т.е. экологическая надежность связана с надежностью подземного сооружения и с технологической надежностью. Оценивается эксплуатационная надежность подземных сооружений показателем долговечности.

Долговечность – это интервал времени, в течение которого подземные сооружения сохраняют работоспособ-

ность до наступления предельного состояния.

Изучив потребность в трубах для строительства и восстановления наружных сетей, сосредоточим внимание на 3-х видах труб: стальных, ж/б и полимерных (рис. 1).

По известным закономерностям и разработкам, были просчитаны граничные условия, после которых возникает угроза разрушения элементов микротоннелей.

Предельным состоянием для железобетонных микротоннелей следует считать момент достижения полной карбонизации защитного слоя или нарушение пассивности арматуры в наиболее слабом месте.

Предельное состояние металлических футляров микротоннелей наступает при изменении толщины конструкции в результате коррозии металла на определенной площади, которое приводит к смятию и последующему обрушению металлического футляра.

Граничные условия для железобетонных труб и стальных футляров определялись по методике расчета сплошных кольцевых обделок как кольцевых бесшарнирных конструкций [5]. Нагрузки рассчитывались с учетом воздействия на трубы давления полного столба грунта в природном залегании (вертикальное и

горизонтальное) при заложении до верха трубы равном 15 м, а также собственный вес трубы и транспортируемой жидкости.

В результате расчетов установлено: железобетонные обделки микротоннелей теряют свою несущую способность при нейтрализации защитного слоя на глубину, указанную в таблице. Критерием потери несущей способности стальных футляров будет коррозия стенки металлической трубы стандартной толшины на глубину 8 8 мм

Класс бетона	В 35	В 45	В 50
Нейтрализация защитного слоя на глубину, см	0,7	1,55	Нейтрализация на всю глубину, до арматуры

Трубопроводы имеют длительный срок службы и в процессе эксплуатации воздействуют на окружающую среду и человека. При наступлении предельного состояния в металлических трубопроводах водоснабжения (изменение толщины конструкции в результате коррозии металла на определенной площади) через образовавшиеся отверстия вода поступает в грунт, вызывая повышение уровня грунтовых вод.

Слабым местом канализационных трубопроводов, выполняемых из железобетонных раструбных труб, являются раструбные соединения, которые разгерметизируются из-за недолговечных уплотнений (применение деревянных вкладышей или резиновых уплотнителей из химически стойкой резины, о долговечности которой ничего неизвестно, поскольку в машиностроении, откуда взяли данную резину, не нужны были длительные сроки ее эксплуатации).

При разрушении железобетонных обделок в виде свищей (сквозные от-

верстия диаметром от 0,5 до 5 см), в целом не создается аварийная обстановка, но они являются причиной утечки фекальных масс в окружающий массив. Образование продольных и поперечных трещин увеличивает водопроницаемость обделки микротоннеля и может привести к излиянию сточных вод на водоносный горизонт, что недопустимо с точки зрения санитарных норм. В результате газовой коррозии металлических и железобетонных элементов ежегодно происходят аварийные обрушения коммунальных тоннелей, особенно коллекторов сточных вод [3].

Большое влияние на надежность трубопроводов, построенных с применением МТПК, оказывают способы соединения труб. В связи с практической недоступностью швов микротоннеля их конечная заделка осуществляется при стыковке труб в стартовой камере.

Места расположения технологических швов являются наиболее слабыми конструктивными узлами в микротоннелях, что подтверждается данными об аварийных дефектах: 12% - разгерметизация раструбных соединений, 10 % - дефекты сварки. Также согласно исследованиям [6] линии разрыва корпуса могут проходить в зоне термовлияния, а также в случае скрытого несправки в стыковом шве.

Таким образом, возникает *производственный риск*, т.е. риск, связанный с вероятностью потерь от остановки строительства объекта вследствие возникновения описанных факторов и риск, связанный с внедрением в строительное производство новой техники и технологии.

Безопасное состояние природно-технической геосистемы определяется сочетанием показателей различных воздействий (химических, биологических, фильтрационных, тепловлажностных),

которые исключали бы появление дефектов обделок, развитие

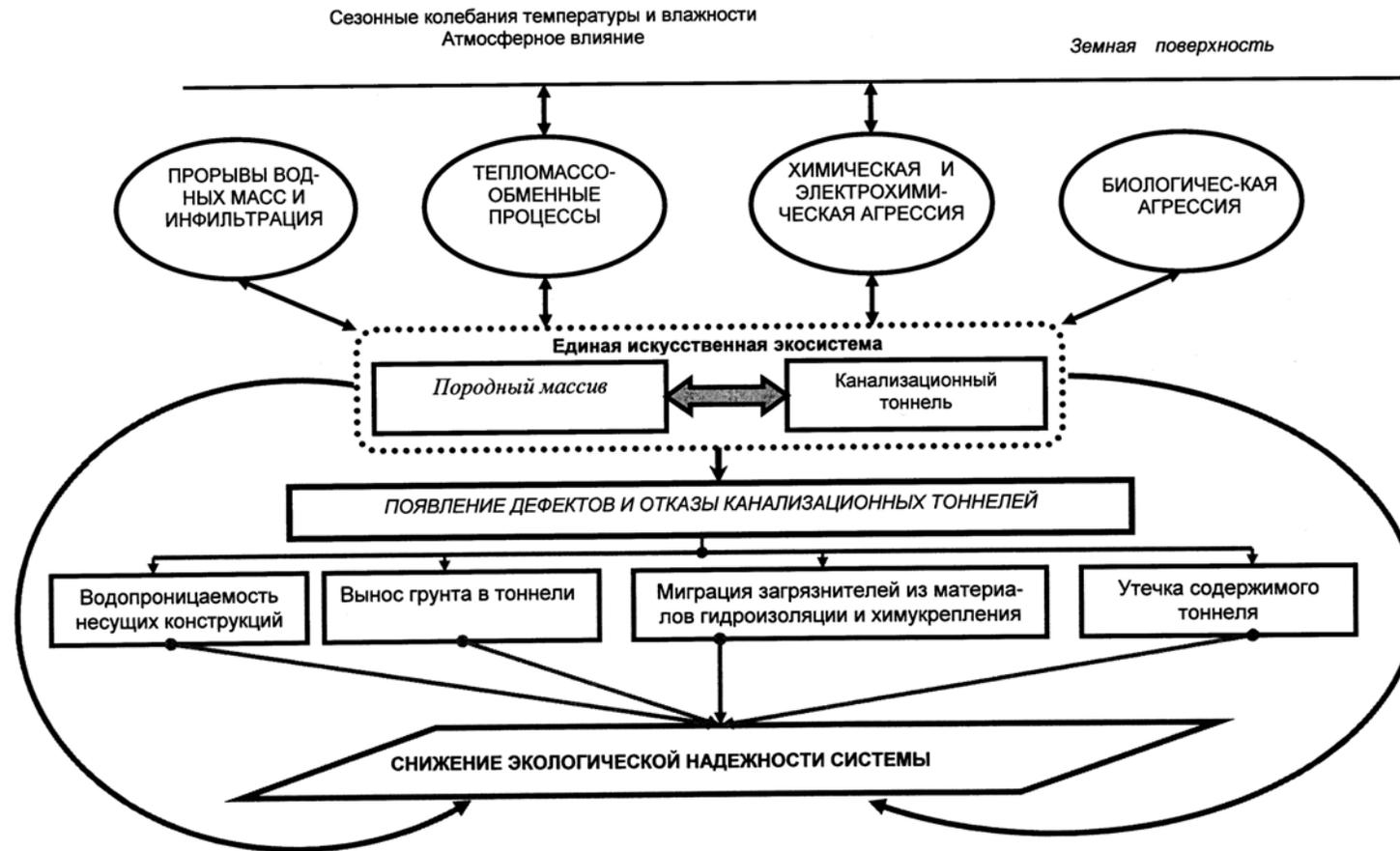


Рис. 2

отказов и возникновение технологического и экологического рисков в системе. Характер таких взаимосвязей представлен на рис. 2 [2].

Анализ и учет данных взаимосвязей при проектировании подземного сооружения реализуется за счет специальных мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду. При этом исходят из правил допустимого риска.

Правила допустимого экологического риска включают в себя:

- неизбежность потерь в природных системах;
- сведение этих потерь к минимуму;
- возможность восстановления потерь;
- отсутствие вреда здоровью человека.

Все решения об освоении территории с целью размещения подземного объекта должны приниматься из расчета не превышения пределов вредного воздействия на природную среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баклашов И.В., Штернагель Йорг Кристиан* Статические расчеты в технологии микротоннелирования на современном этапе. // Строительная инженерия. – 2005. - №11 – С. 36-41.
2. *Временные рекомендации* по расчетной оценке экологической безопасности некоторых типов проектируемых и строящихся коммунальных и канализационных тоннелей. – М.: МГГУ, 2002.
3. *Горнев Ю.В., Кукушкин Н.В.* Как предотвратить аварию канализационного коллектора? // ППИМ. - 2004. - №2,3 – С.27-28.
4. *Долговечность и защита конструкций от коррозии.* Материалы международной конференции 25-27 мая 1999 г. – М.: 1999.
5. *Картозия Б.А., Борисов В.Н.* Инженерные задачи механики подземных сооружений. – М.: МГГУ, 2001.
6. *Коррозия и защита строительных конструкций* и совершенствование их технологий. Научные труды / Чуйко А.В./ – Саратов: СПИ, 1974.
7. *Куликова Е.Ю., Корчак А.В., Левченко А.Н.* Стратегия управления рисками в городском подземном строительстве. – М.: МГГУ, 2005.
8. *Рыбаков А.П.* Основы бестраншейных технологий. – М., 2005.
9. *Федунец Б.И., Панкратенко А.Н.* Отчет о научно-исследовательской работе «Определение целесообразности применения микроскопических технологий при строительстве подземных коммуникаций в различных горно- и гидрогеологических условиях». – М.: МГГУ, 2004. **ГИАС**

Коротко об авторах

Куликова Е.Ю. – профессор, доктор технических наук,
Куликов Ю.Н. – кандидат технических наук, профессор,
Воронина Т. В. – аспирант,

кафедра «Строительство подземных сооружений и шахт», Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 18 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *Б.А. Картозия*.