

УДК 69.035.4

*Е.Ю. Куликова***ТРЕБОВАНИЯ К БЕТОННЫМ ОБДЕЛКАМ  
КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРНЫХ  
ТОННЕЛЕЙ**

**О**сновные требования, предъявляемые к обделкам канализационных коллекторных тоннелей можно разделить на следующие:

- гидроизоляционные свойства;
- механическая стойкость;
- коррозионная стойкость;
- стойкость против гидроабразивного износа.

В настоящее время ни в литературе, ни в практике подземного городского строительства нет сведений о количественных параметрах вышеназванных требований. Это приводит к неопределенности при создании новых средств защиты бетонных обделок от воздействия внешних факторов и агрессивности сред, протекающих по коллекторным тоннелям.

Ставя задачу дальнейших исследований в части повышений коррозионной стойкости, водонепроницаемости, прочности и износостойкости обделок коллекторных тоннелей, необходимо оценить вышеуказанные требования.

*Гидроизоляционные свойства обделок канализационных коллекторных тоннелей* должны обеспечивать их достаточную водонепроницаемость, в том числе за счет прекращения капиллярного движения влаги в порах бетона.

Рассматривая водонепроницаемость бетонной обделки, необходимо отметить, что перенос влаги в бетоне может осуществляться вязкостным или капил-

лярным потоками, а также за счет диффузионного переноса. В первых двух случаях осуществляется перенос собственно жидкости со всеми растворенными в ней веществами. Движение жидкости по порам и капиллярам, вызванное ее испарением, определяется выражением [1]:

$$i = X_{\Psi} \cdot \Delta\Psi; \quad (1)$$

где  $X_{\Psi}$  – коэффициент капиллярной проводимости жидкости;

$$X_{\Psi} = \frac{\gamma_{жс}}{8\mu} \int_{r_0}^{2r_x} r^2 f \delta(r) dr, \quad (2)$$

$$\Delta\Psi = \frac{\delta}{\gamma_{жс}} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right), \quad (3)$$

где  $\gamma_{жс}$  – удельный вес жидкости;  $\mu$  – вязкость жидкости;  $r_{1,2}$  – радиус кривизны менисков.

Рядом авторов теоретически и экспериментально доказано, что все три вида переноса имеют место при следующих коэффициентах фильтрации материалов (табл. 1). Как следует из таблицы, только при  $K_{\phi} = (3\div 4) \cdot 10^{-7}$  см/час можно гарантировать необходимый и достаточный количественный уровень гидроизоляционной защиты коллекторного тоннеля.

*Прочность бетона обделки коллекторных тоннелей.* Грузонесущая способность обделки коллекторных тонне-

Таблица 1

Механизм переноса жидкости	Коэффициент фильтрации $K_{\phi}$ , см/час
Молекулярная диффузия	$3,48 \cdot 10^{-7}$
Капиллярный поток	$3,48 \cdot 10^{-7} \div 3,48 \cdot 10^{-5}$
Вязкостный поток	$3,48 \cdot 10^{-5} \div 3,48 \cdot 10^{-4}$

лей в известной степени определяется прочностью материала. Так как условия работы конструкции обделки коллекторного тоннеля меняются в зависимости от динамики развития горного давления и характера взаимодействия массива горных пород с крепью, то и прочностные свойства материала обделки должны быть соответственно изменены. В этой связи каждый материал должен рассматриваться с точки зрения его конечной прочности.

На рис. 1 показаны зависимости некоторых показателей, характеризующих прочность обделок коллекторных тоннелей, от конструктивных параметров несущих элементов [2].

Как показывает практика подземного городского строительства, при возведении обделок канализационных коллекторных тоннелей наибольшее распространение получили бетоны класса «В 40», в зависимости от горно-геологических условий.

Обследование состояния обделок канализационных коллекторных тоннелей г. Москвы, проведенное МГУП «Мосочиствод», показали, что в ряде случаев бетонная обделка коллекторов не удовлетворяет заданной прочности. Следовательно, для обеспечения необходимой прочности бетона необходимо завышать его проектируемую прочность в 1,2-1,4 раза, а в сложных гидрогеологических условиях еще больше.

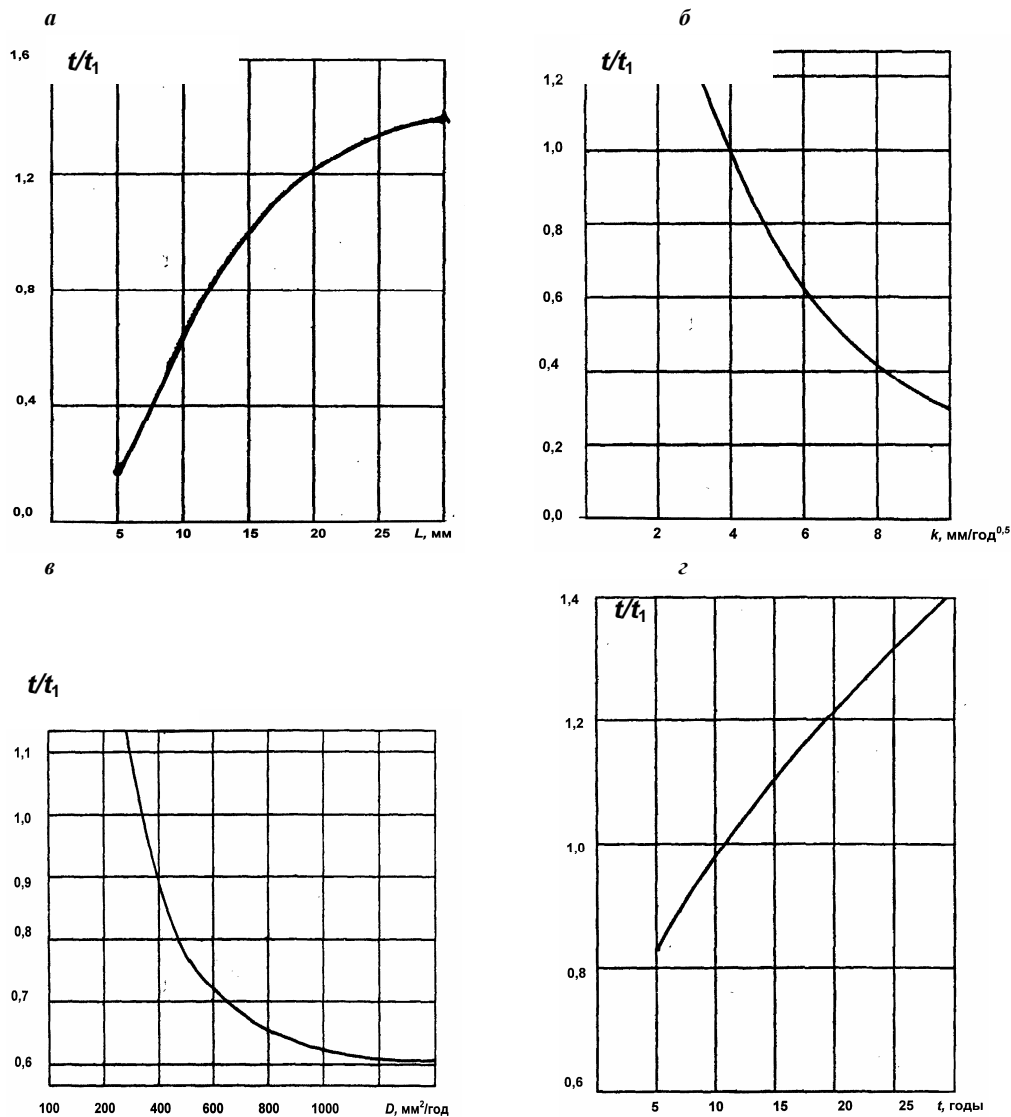
*Коррозийная стойкость бетонных обделок коллекторных тоннелей.* Статистика отказов инженерного оборудования городов показывает, что частота аварий канализационных сетей увеличи-

вается с каждым годом. Нередки аварии, приносящие значительный материальный ущерб, связанный с провалами дорог, обрушением зданий, сооружений, а иногда и гибелью людей. Часто отказы канализационных сооружений сопровождается загрязнением вмещающих сооружение грунтов и грунтовых вод, сбросом хозяйственно-бытовых стоков в водоемы. Поэтому борьба с нарушениями (отказами) канализационных сетей является актуальной.

Одним из аспектов проблемы борьбы с отказами является задача по своевременному выявлению коррозионных поражений железобетонных конструкций коллекторов.

Непосредственный осмотр железобетонных элементов конструкций колодцев и железобетонных труб, измерение прочностных параметров и скорости разрушения железобетонных элементов под воздействием агрессивной газовой среды, дает возможность принять меры по предотвращению разрушения конструкций, определить сроки их службы и своевременно проводить ремонтно-строительные работы, а в случае отсутствия коллекторов-дублеров и невозможностью отключения действующего коллектора ставить вопрос о строительстве нового коллектора.

На долговечность обделок коллекторных тоннелей наибольшее воздействие оказывает коррозионная стойкость материала обделки. Расчет влияния коррозионного ослабления бетона на несущую способность обделки коллекторного тоннеля показывает: потеря несущей способности обделки наступает при



**Рис. 1.** Зависимость времени начала трещинообразования ( $t/t_1$ ) в конструкциях тоннеля: а – от толщины защитного слоя бетона  $L$ ; б – от коэффициента карбонизации  $k$ ; в – от коэффициента диффузии ионов  $\text{Cl}^-$   $D$ ; г – от времени отказа гидроизоляции  $t$ ;  $t$  – среднее время начала трещинообразования, годы;  $t_1$  – время, соответствующее времени начала спада надежности отделки коллектора,  $t_1 = 18,3$  года

уменьшении прочности бетона в 2 раза по сравнению с проектной (при соответствующих горно-геологических условиях). Развитию процессов коррозии бето-

на способствует, прежде всего, неплотность бетона.

Результаты количественной оценки степени коррозионной стойкости метал-

Таблица 2

Степень агрессивного воздействия среды	Металлические конструкции		Железобетонные конструкции	
	Скорость равномерной коррозии, мм/год	Среднегодовая потеря несущей способности при эксплуатации, %	Среднегодовая потеря несущей способности при эксплуатации в %	
			Подземные конструкции	Несущие и ограждающие конструкции
Слабая	до 0,1	5	3	5
Средняя	0,1 – 0,5	10	5	10
Сильная	более 0,5	15	8	15

Таблица 3

*Скорость коррозии стали в бетоне во влажной атмосфере*

Бетон	Потеря массы, г/кв.м в год	Максимальная глубина коррозионных язв за год, мм
Обычный, без добавок:		
• плотный	0	0
• пористый	13-210	0,48
С добавками хлоридов	10-660	1,63
Карбонизированный	30	-

лических и железобетонных конструкций приведены в табл. 2.

При этом предполагается, что конструкция подлежит капитальному ремонту или замене при потере несущей способности 40-60 %.

Наличие добавок в бетоне накладывает свой отпечаток и на степень коррозионной стойкости арматурного каркаса (табл. 3).

Степень коррозии арматуры зависит от наличия и величины раскрытия трещин  $K$  в теле бетона обделки подземного сооружения, что наглядно демонстрирует рис. 2 и формула (4) [2]:

$$K = \frac{10L^3\delta}{L/d + 1} \cdot d^4, \quad (4)$$

где  $L$  – толщина защитного слоя бетона, м;  $d$  – диаметр арматуры, м;  $\delta$  – раскрытие трещины, м.

Величина коррозии арматуры является граничным условием перехода конструкций подземного сооружения из од-

ного технического состояния в другое. Так, при величине коррозии  $K(t) = 2\%$  происходит переход конструкций из I во II категорию технического состояния, при  $K(t) = 7\%$  – из II в III категорию,  $K(t) = 15\%$  – из III в IV категорию,  $K(t) = 25\%$  – из IV в V категорию [2].

Коррозию бетона вызывает и фильтрация мягких вод через обделку тоннеля. Вымывание 25 % CaO из цемента приводит к резкому падению прочности и к полному разложению бетона в дальнейшем. Если принять, что средний расход цемента на  $1 \text{ м}^3$  бетона равен 350 кг и что в среднем на  $1 \text{ м}^3$  бетона приходится 210 кг CaO, то можно сделать вывод: выщелачивание 52,5 кг CaO на  $1 \text{ м}^3$  бетона обделки коллекторного тоннеля может привести к его разрушению.

Исследованиями установлено, что процесс распада органических соединений, находящихся в сточных водах, приводит к появлению в надводной части самотечных коллекторов углекислого газа, аммиака, сероводорода, метана и других газов.

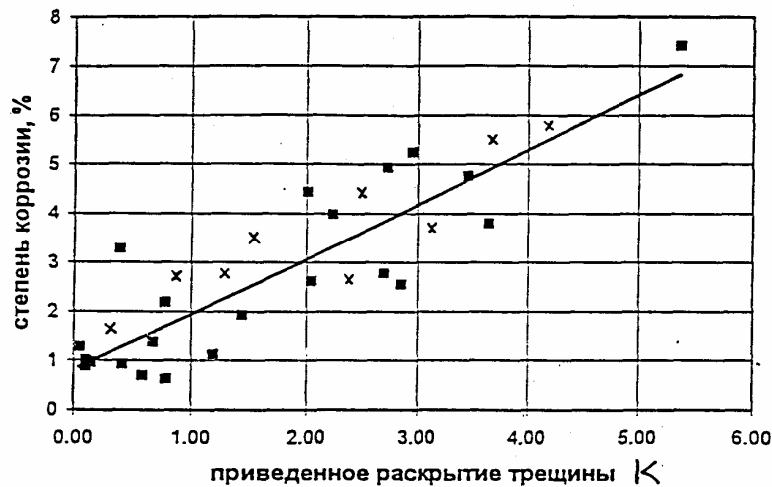


Рис. 2. Зависимость степени коррозии отделки от приведенного раскрытия трещин в бетоне

При аэробных процессах разложения (с участием кислорода) происходит в основном выделение углекислого газа, а при анаэробных (бескислородных) процессах основными продуктами распада являются сероводород и метан, причем наибольший процент приходится на сероводород. Появление сероводорода в атмосфере надводного пространства коллектора сопровождается развитием на его стенках тионовых бактерий, под действием которых сероводород окисляется до серной кислоты и в виде кислотного конденсата воздействует на сводовую часть коллектора.

Химический анализ продуктов коррозии бетона показывает, что они состоят в основном из гипса, кремнезема, гидроксидов алюминия и соединений железа. В водонасыщенном состоянии продукты коррозии имеют консистенцию жидкого теста и легко отваливаются от потолочных и вертикальных поверхностей. Скорость коррозии бетона зависит от концентрации сероводорода и иногда достигает до 20 мм в год. Это приводит к тому, что подобные участки коллектора отваливаются через 5-10 лет эксплуатации.

Помимо выщелачивающей агрессии на бетонную отделку действует агрессия протекающих сточных вод. В результате действия на бетонную отделку сточных вод, конденсата газа и микроорганизмов, хорошо развивающихся в слизистой пленке, покрывающей стенки канала, происходит значительное уменьшение содержания СаО в бетоне с 60-64 % до 12 % и увеличение сульфатов с 1,5 % до 42 %. В среднем глубина коррозии бетонной отделки коллекторных тоннелей оценивается в 6-13 мм в год [3].

Следовательно, можно предположить, что срок службы бетонной отделки по фактору коррозионной стойкости колеблется в пределах 20-35 лет. Однако известно, что коррозия бетона может иметь лавинный характер, что, вероятно, должно приводить к быстрому разрушению отделки.

В настоящее время можно управлять характеристиками бетона (повышать его плотность и снижать пористость) путем введения добавок (суперпластификаторов для снижения водоцементного отношения, микросилики) или покрывая бетонную поверхность материалами, способст-

вующими кольматации пор (ксайпекс, кальматрон, пенетрон и др.). Это способствует увеличению водонепроницаемости бетона тоннельной обделки, ее стойкости к агрессивным воздействиям. Однако этого не достаточно для предотвращения разрушения бетона при воздействии на него агрессивной среды. Защиту бетонной обделки от коррозионного разрушения можно осуществлять по двум направлениям: либо увеличивая плотность бетона, либо защищать бетон антикоррозийными покрытиями.

*Износостойкость бетонных обделок коллекторных тоннелей.*

Истираемость бетонной обделки определяется величиной потери первоначального веса отнесенной к поверхности площади истирания. Вследствие воздействия абразивных материалов в сточной воде при скоростях движения более 2 м/сек происходит интенсивное истирание лотка тоннеля.

Как показали оценочные расчеты влияния гидроабразивного износа лотковой части бетонной обделки на несущую способность крепи коллекторного тоннеля, при истирании 40-60 % толщины лотковой части крепь тоннеля теряет свою несущую способность. На основании статистической обработки данных установлено, что в год, в среднем истирается 1,2 см лотка. Следовательно, срок возможной эксплуатации

коллекторного тоннеля по фактору истираемости находится в пределах 10-12 лет. Гидроабразивный износ обделки коллекторного тоннеля начинается с вымывания цементного камня и отрыва зерен крупного и мелкого заполнителя, в результате обделка тоннеля становится более шероховатой, а это в свою очередь усугубляет изнашивание.

Рассмотрев основные требования, предъявляемые к бетонным обделкам коллекторных тоннелей, можно считать, что основным направлением увеличения долговечности бетонной обделки канализационных коллекторных тоннелей является:

- правильный подбор плотного водонепроницаемого состава бетона (т.е. методика расчета состава водонепроницаемого бетона);
- выбор добавок обеспечивающих повышенную плотность, прочность, и водонепроницаемость бетона;
- исследование некоторых параметров составов бетонных смесей обеспечивающих их стойкость к истиранию;
- выбор средств и способов защиты бетонной обделки против гидроабразивного износа и коррозии бетона вызываемой агрессивностью сред протекающих по тоннелям.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Моцанский Н.А., Путляев И.Е.* Защита эпоксидными мастиками от коррозии железобетонных резервуаров для промышленных стоков. – М.: 1965

2. *Шилин А.А.* Повышение гидроизоляционных свойств монолитных бетонных крепей вертикальных стволов шахт. – Диссертация на

соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МГИ, 1976

3. *Алексеев С.Н., Розенталь Н.Е.* Коррозионная стойкость бетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. – М.: Стройиздат, 1976, 396 с. **ГИАБ**

#### **Коротко об авторах**

*Куликова Елена Юрьевна* – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительство подземных сооружений и шахт», Московский государственный горный университет.

Статья представлена кафедрой «Строительство подземных сооружений и шахт» Московского государственного горного университета.

Рецензент д-р техн. наук, проф. *Б.А. Картозия.*