© Е.Ю. Куликова, 2007

УДК 69.035.4

Е.Ю. Куликова

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ РАБОТЫ БЕТОННЫХ ОБДЕЛОК КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРНЫХ ТОННЕЛЕЙ

В настоящее время основным материалом крепления коллекторных тоннелей является бетон.

Технологическое сечение и внутренняя конструкция тоннеля зависят в основном от его назначения. ГУП «Мосинжпроект» разработаны 4 типа технологических сечений и внутренних конструкций для канализационных и водосточных тоннелей, представленных на рис. 1.

- *Тип I.* Для сооружения под автомагистралями, городскими проездами и открытой местностью. Нижняя лотковая часть внутренней обделки – из сборных железобетонных изделий или из монолитного бетона;
- *тип II* – для сооружения на криволинейных участках;
- *тип III* – для сооружения под железными дорогами, метрополитенами и в сложных гидрогеологических условиях;
- *тип IV* – для сооружения под железнодорожными путями, метрополитеном и городскими магистралями в сложных гидрогеологических условиях с гидростатическим напором грунтовых вод или с напором в тоннель до 0,2 МПа (на уровне лотка).

Обделка тоннелей всех типов двухслойная: крупноблочная наружная (первичная) и внутренняя (вторичная). Первичная обделка в основном состоит из блоков и тюбингов, собирающихся в кольца. Швы расчеканиваются расширяющимся цементом (РЦ).

Применяются: трапециидальные тюбинги, прямоугольные с замковым блоком, прямоугольные без замкового блока и с радиальными связями, трапецеидальные блоки со сферическими торцами и др. Наиболее совершенными являются прямоугольные укрупненные блоки, получающие все большее распространение на стройках Москвы.

Конструктивные размеры рассмотренных типов бетонных блоков приводятся в табл. 1.

С целью улучшения гидроизоляционных свойств обделки и повышения коррозийной стойкости бетона в последнее время находят применений покрытия на основе эпоксидных смол, которые механизированным способом наносятся по верхнему слою вторичной обделки. Также применяются «рубашки», возводимые из бетона механизированным способом.

Особого внимания заслуживает обделка из монолитного прессованного бетона. Так, применение прессованного бетона в Санкт-Петербурге обеспечивает прочность бетона в возрасте 7 суток 170-200 кг/см^2, в возрасте 28 суток – 400 кг/см^2.При строительстве коллекторного тоннеля в Киеве по ул. Белицкого прочность прессбетона после суточной выдержки составляла 110-130 кг/см^2 , после 9-х суток – 250-270 кг/см^2 и после 28 суток – 380-420 кг/см^2.

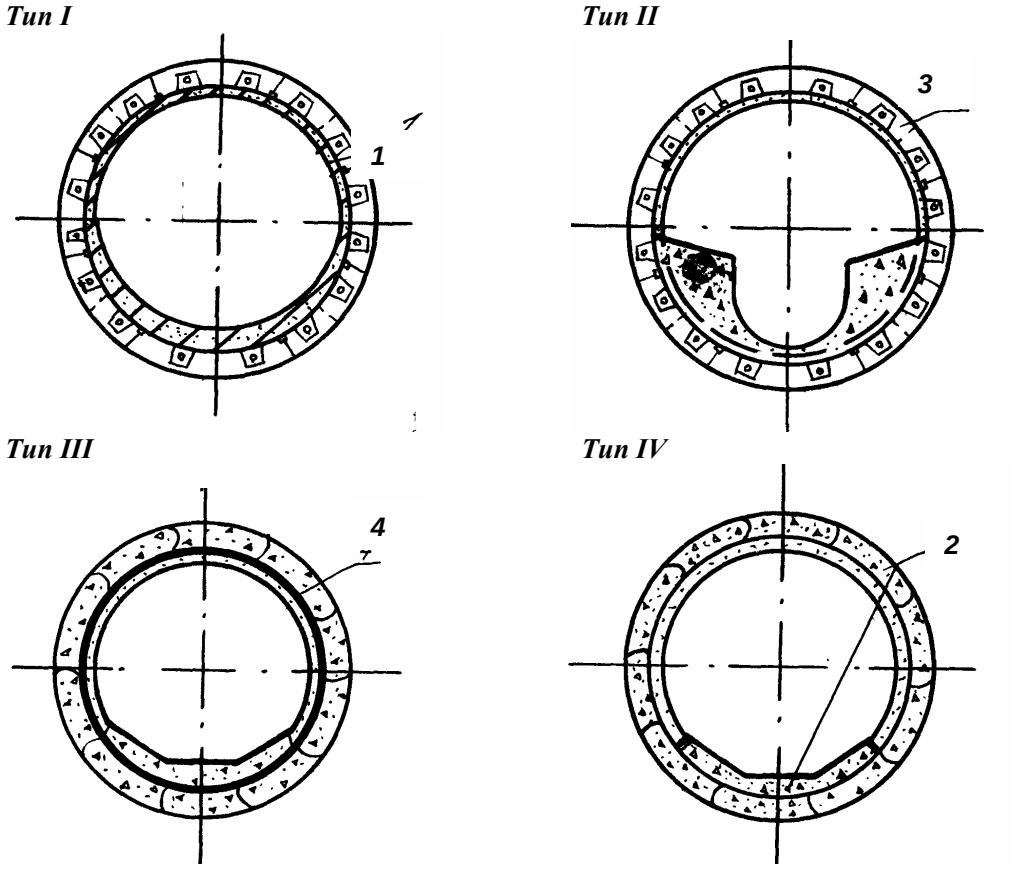

Рис. 1. Технологические сечения и внутренняя конструкция обделок канализационных коллекторных тоннелей: *1* – внутренняя обделка; *2* – сборный железобетонный блок; *3* – сборная обделка из блоков; *4* – гидроизоляция

В основе безотказной работы коллекторных тоннелей лежит долговечность обделок.

Под условиями работы коллекторных тоннелей *принимается весь комплекс факторов, как химических, так и физико-механических, при которых происходит разрушение бетонной обделки.*

С целью выявления основных факторов был обследован ряд коллекторов и проанализировали имеющиеся сведения об отказах, полученных в МГУП «Мосочиствод». Всего рассмотрено 9611 м, эксплуатируемых коллекторных тоннелей, пройденных щитовым способом, закрепленных железобетонными блоками с железобетонной вторичной рубашкой. Одновременно были собраны сведения о дефектах более 600 м железобетонных вторичных обделок строящихся тоннелей.

Результаты обследования приводятся в табл. 2. Из таблицы следует, что выход из строя (по фактору гидроизоляции) 30-35 % обделки делает невозможным ее дальнейшую эксплуатацию, хотя в целом обделка сохраняет устойчивость и, в основном, необходимую прочность.

Таблица 3

№ коллектора по табл. 3.2	Срок службы (лет)	% размытой части обделки	Средняя глубина размыва	Средний прирост см в год
1	2	3	4	5
2	6	0,5	8-9	1,6
5	13	27	10-15	1,2
б	19	34	7-10	0,5
7	21	37	30-40	1,6

Значительное влияние на наруше-ния гидроизоляционных свойств несу-щих конструкций подземных сооруже-ний оказывают свищи, диаметр которых колеблется от 0,5 до 5 см. Свищи являются активными проводниками в коллектор водно-песчаной смеси.

При протекании по коллекторному тоннелю канализационных масс через «свищи» может иметь место недопустимая утечка. Расчеты, проведенные по методике В.М. Насберга, показа-ли, что при количестве «свищей», ука-занных в табл. 2, и диаметре их 0,5 мм утечка при заложении тоннеля в сильно водонепроницаемых грунтах ($K_ф$ = 30-100 м/сут) составляет от 30 до 121 м^3 на 1 км трассы, а при за-ложении в слабопроницаемых грун-тах ($K_ф$ = 0,1-10 м/сутки) – 3-12 м^3/сут. При диаметре свища 5 см эти цифры возрастают соответственно до 600-1200 м^3/сут 62-260 м^3/сут на 1 км тоннеля. Сопоставление результатов расчетов с требованиями на до-пустимые утечки показывают, что утеч-ки через «свищи» значительно превы-шают допустимые (50-100 м^3/сут на 1 км).

Характерно также ослабление бетона в зоне свищей. Ослабление бетона происходит в результате выщелачивания гидрата оксида кальция (CaO) из бетона. Так, лабораторные испытания образцов обделки коллектора от ул. Н. Рязанская до ул. К. Маркса показали на значительное ослабление бетона: $P_{сж}$ = 100 кг/см^2 против проектного $P_{сж}$ = 400 кг/см^2. Характерно, что большинство «свищей» приурочено к местам технологических швов, т.к. при осмотре замечено, что они располагаются кратно 3 или 5 м, что соответствует длине применяемых опалубок.

Изучение результатов обследования строящихся коллекторов также показало, что уже при возведении крепи возникают «свищи» и течи, подтеки, поражающие 8-10 % площади обделок, причем, в основном, эти дефекты также приурочены к местам технологических швов.

Следовательно, указанные дефекты, несмотря на последующие усилия изолировщиков, являются в дальнейшем наиболее уязвимым местом обделок и местом образования эксплуатационных свищей.

При изучении материалов обследования коллекторов также был обнаружен гидроабразивный износ лотка. Причем, как следует из табл. 3, гидроабразивный износ лотка прогрессирует по мере увеличения срока эксплуатации подземного сооружения. Этот рост характеризуется не только увеличением площади поражения, но и увеличением глубины истирания лотка.

Истирание лотка способствует активизации свищей и ослаблению прочности лотка. Образование полостей в этих

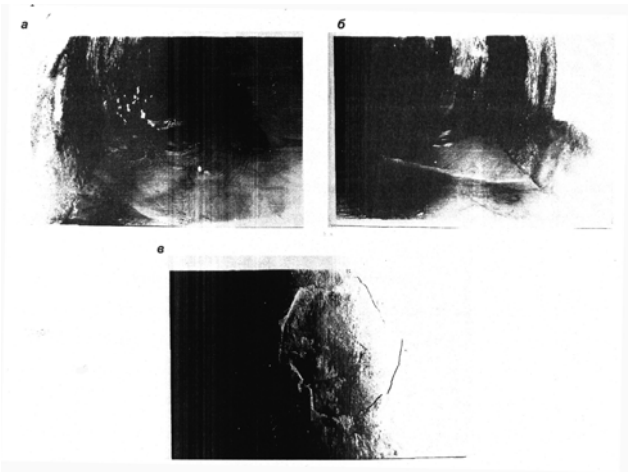

Рис. 2. Дефекты обделок коллекторных тоннелей

условиях приводит к просадке лотка, что было зарегистрировано в ряде тоннелей. По статистическим данным в среднем в год истирается 1,2 см лотка тоннеля.

В результате воздействия агрессивных сред может иметь место коррозия бетона в своде коллектора и отслоение торкрет-бетона (рис. 2, *в*).

Изучение результатов обследование коллекторов и анализ сведений об отказах несущих конструкций подземных сооружений позволяют сделать следующие выводы.

Разрушение коллекторных тоннелей и преждевременный выход их из строя происходит в результате следующих факторов:

- выщелачивание, газовая и химическая коррозия в результате агрессивности сред, протекающих по тоннелям;
- механический износ наносами;
- трещинообразование под воздействием внешних нагрузок.

Каждый из названных факторов в отдельности или совместное действие нескольких из них разрушают обделку подземного сооружения, выводя его из эксплуатации на долгое время и уменьшая срок его службы.

Ниже подробно рассматриваются вышеизложенные факторы и их воздействие на бетонную обделку коллекторных тоннелей.

Агрессивность сред, протекающих по тоннелям

По своей природе фекальные массы, протекающие по коллекторам, делятся на минеральные, органические и бактериальные.

К минеральным загрязнениям относятся: песок, глинистые частицы, частицы руды, шлака, растворы солей, кислот и щелочей, минеральные масла и многие другие вещества.

Органические загрязнения бывают растительного и животного происхождения. К растительным относятся: остатки растений, плодов, овощей и злаков, бумага, растительные масла и т.д. Основным химическим элементом этого загрязнения является углерод. К загрязнениям животного происхождения относятся остатки тканей, клеевые вещества, молочный сахар и т.д. Основным химическим элементом является азот.

К бактериальным загрязнениям относятся: микробы, водоросли, дрожжевые и плесневые грибы.

Наибольшее воздействие на бетонную отделку коллекторных тоннелей оказывают минеральные загрязнения. По данным профессора С.Н. Строганова минеральных веществ в загрязнениях содержится 42 %, а органических – 58

Таблица 4

Наименование	Азот, N	Фосфор P_2O_5	Калий K_2O	Натрий Na_2O	Известь CaO	Экстракт эфира (жира)
Осадок						
По данным РФ (Москва)	2,9	3,7	0,2	-	-	-
По данным Чехии	1,8-2,5	1,1-1,3	0,2-0,4	0.2-0,3	1,7-5,6	1,5-4,5
По данным США	1,8-2,6	1,3-3,2	0,4-0,5	-	-	4,8
Навоз						
Сухой	2	1	2,4	-	2	-
Содержание 75 % H_2O	0,5	0,2	0,6	-	0,5	-

Таблица 5

Показатель загрязнения	Концентрация, мг/л	
	Левобережный коллектор	Правобережный коллектор
pH	3,4-8,5	2,7-5,1
Азот общий	10-150	12-210
Фосфор	20-160	40-110
Взвешенные вещества	94-400	120-481
Хлориды	8-177	8-161
БПК	14-126	15-138

Таблица 6

Размер частиц (мм)	% по объему	Содержание минеральных веществ	Состав наносов
Свыше 10	3,5	-	битое стекло, гравий, кирпич и т.д.
5-10	3,5	70,6	стекло, каменный уголь, кости
3-5	4,5	79,17	стекло, каменный уголь, кости
2-3	3	83,24	стекло, кирпич
1-2	7	90,2	песок, кирпич, уголь
0,5-1	9	95,9	песок, обломки отдельных минералов
0,25-0,5	35	98,14	песок
до 0,25	36	98,33	песок

%. Кроме этого значительное влияние на бетон оказывает газовая коррозия.

По оценкам различных специалистов содержание минеральных веществ в сточных водах достигает 30-40 %, а органических – 58-75 %.

Органические вещества являются источником целого ряда веществ, отрицательно сказывающихся на стойкость материалов обделок тоннелей.

Химический состав осадка бытовых сточных вод и навоза (в % от сухого вещества) приводится в табл. 4.

Значительное количество вредных веществ содержится в сточных водах промышленных предприятий. Для примера в табл. 5 приводятся характеристи-

ки сточных вод поступающих на Яузскую насосную станцию от Левобережного коллектора, в который поступают сточные воды с завода «Серп и Молот» и с завода «Семашко».

Как указывает ряд специалистов, бытовые сточные воды менее опасны для бетонных обделок канализационных тоннелей, чем промышленные. В последних может оказаться ощутимое количество сульфатов, различных кислот, углекислого газа и т.п., предопределяющих развитие коррозии I, II и III вида. Содержание оксидов натрия и калия в свою очередь ведет к развитию щелочной коррозии.

Наряду с действием оксидов натрия и калия на стойкость обделок может оказать действие углекислота, получающаяся в результате разложения мочевины. При медленном течении сточных вод по коллектору концентрация CO_2 может достигнуть опасных пределов.

Таким образом, анализ сточных вод, протекающих по коллектору, показывает, что имеются все необходимые условия для разрушения обделок агрессивными компонентами. Известно, что щелочные фекальные воды частично нейтрализуют кислотные сточные воды промышленных предприятий. Однако глубина этой нейтрализации чаще всего недостаточна и практически не исключаем агрессивности сточных вод.

Наряду с вредным действием на обделку агрессивных сред, протекающих по коллектору, особое внимание следует уделить загрязнениям, которые вызывают гидроабразивный износ лотка коллекторного тоннеля.

Все виды загрязнений, протекающие по канализационным коллекторам, подразделяются на грубодисперсные, коллоидно-растворенные и истинно растворенные.

В бытовых сточных водах по данным С.Н.Строганова ориентировочно содержится 40 г грубодисперсных (взвешенных), 10 г коллоидно-рас-творенных и 50 г истинно растворенных веществ на одного человека в сутки.

Грубодисперсные вещества состоят из частиц больше 0,1 мм в диаметре. В составе осадка в канализационной сети имеется: органических веществ – 3 %, по объему и минеральных 97 %.

Следовательно, большая часть в осадке вещества минерального происхождения. К ним относятся: песок, камни, кирпич, стекло и т.д. (тяжелые наносы).

Характеристика тяжелых наносов по механическому составу приводится в табл. 6.

Данные показывают, что в канализацию поступают главным образом мелкие фракции песка. Так, например, по данным МГУП «Мосочиствод» только за 1993 г. на Люберецкой станции аэрации задержано песка фракции крупностью свыше 0,25 мм – 12207 $м^3$ при 7,6 %-ной влажности. На Люблинской станции аэрации задержано 2878 $м^3$ песка при 31,4 %-ной влажности.

При движении сточных вод по коллектору грубодиспереные вещества истирают стенки обделки, особенно в их нижней части. В этой связи к материалам обделки тоннеля должно быть предъявлено требование повышенной устойчивости против истирания. ГИАБ

Коротко об авторах

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