

ЗАВИСИМОСТЬ СРОКА СЛУЖБЫ ПОДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ АГРЕССИВНЫХ ФАКТОРОВ

Л.И. Ольховая, канд. техн. наук, доцент

Е.И. Михалев, магистрант

Российская открытая академия транспорта Российского университета транспорта (Россия, г. Москва)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-11-4-90-96

Аннотация. В данной статье рассмотрены особенности подземных сооружений, их номенклатура в соответствии с назначением и расположением. Основное содержание исследования составляет анализ различных видов агрессивного воздействия на подземные сооружения и пути их предотвращения. Авторами представлена общая целостная картина разрушения железобетонных подземных конструкций от основных агрессивных факторов внешней среды. В результате анализа состояния канализационных сооружений г. Москвы, г. Санкт-Петербурга и обобщения практического опыта показана скорость коррозии бетона обделки канализационных тоннелей, отмечено, что большое количество очистных сооружений характеризуется значительным физическим износом и нуждается в реконструкции и строительстве новых блоков.

Ключевые слова: подземные сооружения, надежность, долговечность, канализация, коллектор, железобетон, агрессивная среда, коррозия, срок службы.

Современная среда обитания человека, ее безопасность и комфорт создается различными сооружениями, обеспечивающими функционирование основных общественных или экономических механизмов, значительная часть которых находится под землей.

Подземные сооружения подразделяют по функциональному назначению, материалам конструкций, глубине расположения, технологии строительства, возможности использования и применения. Особенность каждого из этих признаков оказывает на их характеристики и свойства значительное влияние. К подземным сооружениям относятся: фундаменты ниже планировочной отметки земли, подвалы и цокольные этажи жилых домов и общественных зданий, подземные парковки и гаражи, транспортные сооружения городской инфраструктуры, а именно, подземные пешеходные переходы, тоннели и т.д. Сюда же следует отнести подземные инженерные

коммуникации: водосточные, водопроводные, канализационные коллекторы и тоннели, силовые кабели, теплопроводы, водопроводы и другие коммуникации. Критически важное значение вышеназванных сооружений для жизнеобеспечения городов и населенных пунктов и обусловило актуальность выбранной для исследования темы.

Одним из критериев надежности зданий и сооружений является долговечность, характеризующаяся сохранением их работоспособности до наступления предельного состояния и оцениваемая сроком службы отдельных элементов. Окончание срока службы считается в тот момент, когда дальнейшая эксплуатация объекта становится недопустимой или невозможной. Требования к долговечности подземных конструкций изложены в [1].

Номенклатура подземных объектов в соответствии с их назначением приведена на рисунке 1.



Рис. 1. Номенклатура подземных объектов в соответствии с их назначением

Подземным сооружениям с учетом их назначения, как правило, присваивается класс КС-2, так как в большинстве случаев это объекты жизнеобеспечения городов и других населенных пунктов. При проектировании сооружений, относящихся к категории уникальных, особо опасных и технически сложных объектов, устанавливается класс КС-3, за исключением отдель-

ных типов сооружений, для которых допускаются иные классы сооружений.

Условия эксплуатации подземных конструкций в большой степени зависят от пространственной компоновки. В зависимости от расположения в пространстве подземные сооружения могут быть линейными или компактными (рис. 2) [1].

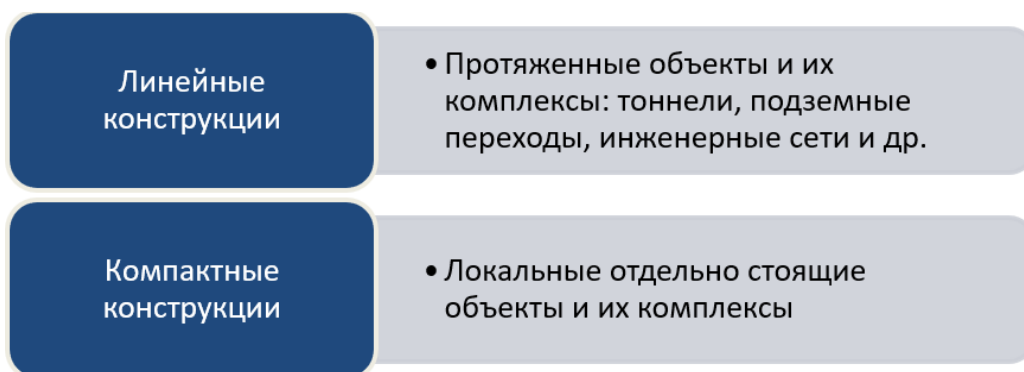


Рис. 2. Расположение подземных сооружений

Нормативный срок службы подземных сооружений составляет не менее 50 лет. Но на реальный срок эксплуатации подземных сооружений влияют различные условия, и прежде всего – воздействия

агрессивных факторов внешней среды. Признаки, свидетельствующие об опасности различных видов агрессивного воздействия на подземные сооружения, представлены далее на рисунке 3.

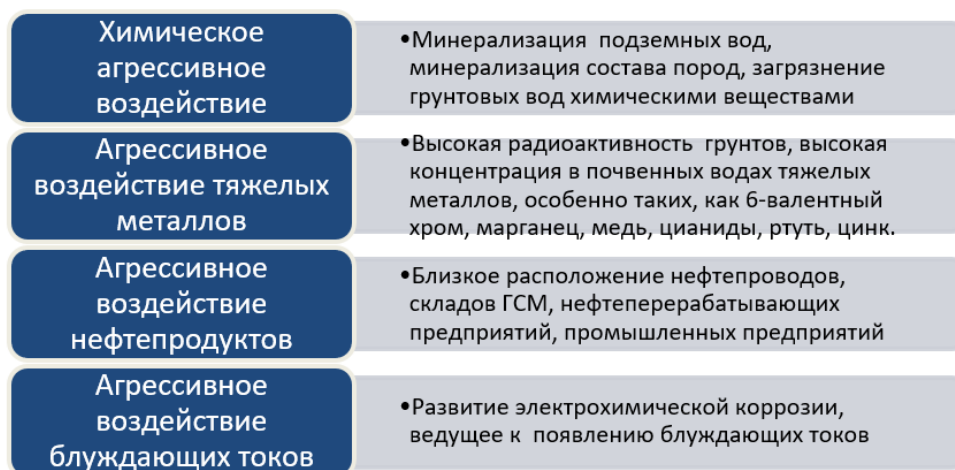


Рис. 3. Виды агрессии внешней среды в отношении подземных сооружений [2]

Портландцемент, как составляющая часть тяжелых конструктивных бетонов, подвергается разрушительному химическому воздействию растворенных солей. Это обстоятельство учитывается при проектировании фундаментов и других подземных сооружений введением коэффициента фильтрации пород. Коррозия бетона, согласно общепринятой классификации, делится на три основных вида:

- коррозия выщелачивания;
- коррозия реакции с кислотами;
- коррозия с образованием кристаллической фазы в порах бетона.

Коррозия выщелачивания происходит вследствие растворения и вымывания цементного камня. Этот процесс вызван механизмом фильтрации пресной воды через подземные железобетонные конструкции. Он всегда проявляется нарушением химического равновесия между структурными составляющими бетона, что приводит к снижению механической прочности. Белый налет, который возникает на поверхности конструкций, свидетельствует о наличии такого вида коррозии.

Кислотная коррозия происходит под воздействием кислот, солей и щелочей органического и неорганического характера. В результате в бетоне образуются легко-растворимые соли, которые вымываются из бетона. Снижение прочности бетона происходит из-за образования рыхлых несвязанных остаточных продуктов, вследствие чего, в конечном итоге, цементный камень может полностью разрушиться.

Коррозия с образованием кристаллической фазы в порах бетона или солевая коррозия обуславливает механизм разрушения бетона (возникновение внутренних напряжений и трещин) из-за кристаллизации солей и испарения минерализованной воды в порах и капиллярах бетона. Отмечается также специфика воздействия определенных химических групп: сульфатная и магниевая. Воздействие сульфатной группы приводит к разрушению бетона вследствие его усадки и расширения или набухания алюминатов.

При действии магниевой группы – разрушение бетона происходит из-за образования и появления рыхлости и потери в цементном камне связующих свойств.

Как правило, подземные конструкции испытывают на себе все три вида коррозионного воздействия. Вызывают их природные грунтовые, бытовые сточные и промышленные сточные воды.

Агрессивные условия ведут к сокращению срока службы железобетонных конструкций не только из-за коррозии бетона, но и в большой степени вследствие коррозии арматуры. Интенсивная коррозионная активность подземных вод связана с растворенными в них солями и газами, а также с наличием агрессивной углекислоты, минеральных и органических кислот, солей тяжелых металлов, сероводорода, хлористых и других солей. Наибольшее разъедание металлов связано с влиянием сильноокислых и сильнощелочных вод. К факторам, ускоряющим коррозию арматуры и других металлов, можно также отнести

повышение температуры воды, увеличение скорости ее движения, развитие электрохимической коррозии, ведущее к появлению блуждающих токов в грунтовых толщах. Однако, если бетон обладает высокими показателями прочности, он может сохранять способность защиты железной арматуры в течение длительного времени.

Если на арматуре появляются признаки коррозии, это означает, что бетон под воздействием агрессивной среды утрачивает свою защитную способность. Основные виды коррозионного воздействия на подземные сооружения – это физическое, химическое и физико-химическое воздействие (рис. 4).

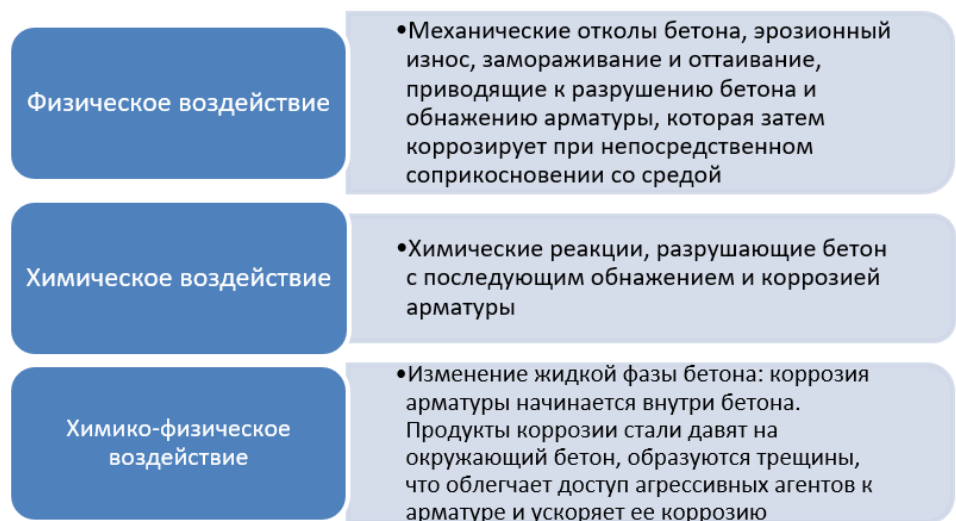


Рис. 4. Виды воздействий на подземные конструкции

Такова общая целостная картина разрушения железобетонных подземных конструкций от основных агрессивных факторов внешней среды. Особенно это касается канализационных сооружений, поскольку через коллекторы происходит слив жидких отходов различного вида, обладающих агрессивными свойствами.

Несущие конструкции канализационных коллекторов воспринимают все действующие нагрузки, воздействия подземных вод и воздействия со стороны бытовых и промышленных сточных вод. Поэтому главные характеристики материалов для возведения канализационных коллекторов – это повышенная прочность, водонепроницаемость, морозостойкость, устойчивость к химической и электрохимической агрессии.

Бытовые сточные воды – это воды от санитарных узлов производственных и непромышленных корпусов и зданий, душевых установок и т.п.

К категории промышленных сточных вод относятся воды, использованные в технологическом процессе. Загрязненные

сточные воды могут содержать следующие примеси: минеральные, органические, бактериальные, биологические. Минеральные примеси образуются на предприятиях содовой, калийной промышленности, по производству минеральных удобрений, кислот и других химических производств. К органическим загрязняющим веществам относятся нефть и нефтепродукты, пестициды, продукты деятельности предприятий анилиноокрасочной и фармацевтической промышленности, производства искусственных материалов. Бактериальные и биологические загрязнения свойственны в большей степени бытовым сточным водам и некоторым видам промышленных сточных вод, таким как у предприятий пищевой, текстильной промышленности, кожевенных заводов, биофабрик и др. Они представляют собой различные микроорганизмы: грибки, водоросли и бактерии. По своему химическому составу они выделяются в отдельную группу несмотря на то, что, по сути, относятся к органическим загрязнениям. Это вызвано особым харак-

тером взаимодействия с загрязнениями других видов.

Промышленные сточные воды классифицируются по степени концентрации загрязняющих веществ на четыре группы, а

по степени агрессивности – на три группы в зависимости от значения рН. Схема классификации сточных вод приведена на рисунке 5.

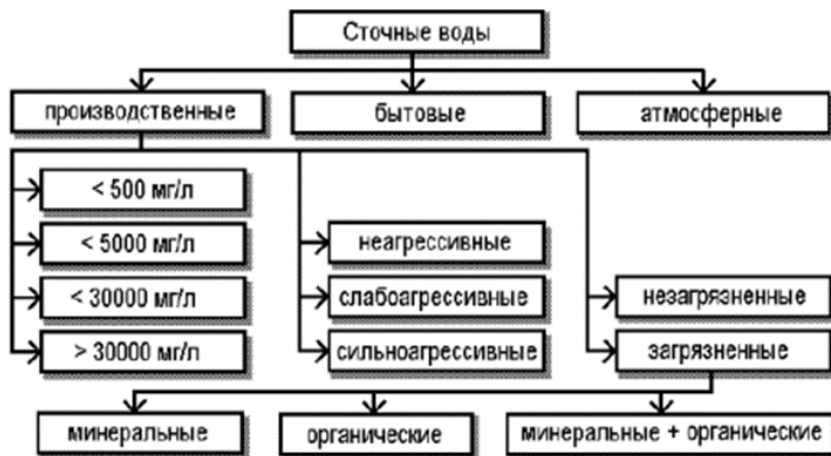


Рис. 5. Схема классификации сточных вод

Реконструкция канализационных коллекторов является очень сложной задачей, поэтому при проектировании и строительстве таких объектов необходимо использование самых современных технологий и наиболее долговечных материалов.

В условиях специфики климата РФ сточная вода обычно бывает теплее воздуха и теплее бетонной обделки канализационных коллекторных тоннелей. Основной воздушный поток в коллекторе идет по ходу течения стоков. Однако, в связи с разницей температур происходит генерация восходящих потоков по оси тоннеля,

способствующих ускорению газовой коррозии.

Уровень коррозии бетона обделки различается по всей длине тоннеля. Самые опасные участки с точки зрения развития коррозии – это локации, в которых к тоннелю присоединены длинные напорные трубопроводы, а также перепадные камеры.

Скорость разрушения бетонной обделки канализационного коллектора зависит от множества факторов. Ниже, на рис.6 представлена скорость коррозии бетона в подземных коллекторных сооружениях некоторых городов России (рис. 6).

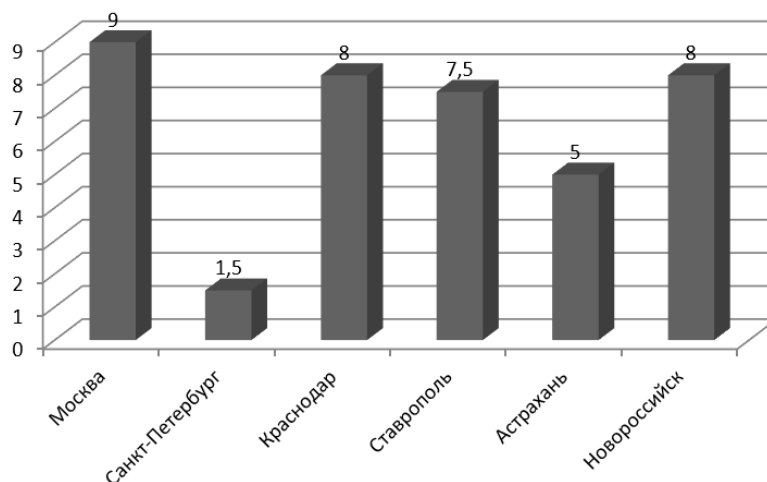


Рис. 6. Скорость коррозии бетона обделки, мм/год [3]

Система водоотведения г.г. Москвы и Санкт-Петербурга представляет собой широко разветвленную систему труб разного диаметра, коллекторов, каналов, КНС (канализационных насосных станций) и напорных трубопроводов. Благодаря ей на канализационные очистные сооружения (КОС) доставляются загрязненные воды, которые проходят очистку сбрасываются в водоемы, в частности, в г. Санкт-Петербурге в Финский залив, а в г. Москва – в реку Москва и ее притоки.

Диаметры трубопроводов водоотводящей сети – от 50 мм (дворовые сети) до 4,9 м (тоннельные коллекторы). Внутренний диаметр тоннельных коллекторов колеблется от 1 до 4,9 м, а глубина заложения – от 9 до 90 м.

По состоянию на 01.01.2023 водоотведение Санкт-Петербурга включает: канализационная сеть – 9582,7 км, тоннельные коллекторы – 286,9 км, канализационные насосные станции (КНС) – 252, очистные сооружения различной производительности – 21 и др. объекты.

Как видно из рисунка 6, в Санкт-Петербурге бетон обделки канализационных коллекторов подвергается коррозии со скоростью 1,5 мм в год. Главный вид повреждения – коррозионные изменения, происходящие из-за нейтрализации бетона кислотными газами. Газовая коррозия воздействует и на металлические, и на железобетонные элементы, и является причиной аварийных обрушений в петербургских коллекторах. Обследование Восточного канализационного коллектора, который был сооружен в 1972 г. на участке длиной 2,3 км показало, что в нижней половине обделки, на уровне, расположенном ниже диаметра, лоток в некоторых местах стерт, а глубина стирания достигает 5 см. На отдельном участке тоннеля длиной более 500 м наблюдается разрушение слоя бетона от 7 до 10 см вследствие газовой коррозии. Выявленная в ходе обследования скорость разрушения бетона составила примерно 3 мм в год [3].

Применение широко разветвленной системы коллекторов, каналов, КНС и напорных трубопроводов позволило централизовать систему Московской канали-

зации, организовав очистку стоков на двух крупнейших в Европе комплексах очистных сооружений – Курьяновских и Люберецких.

В 1970-х годах протяженность городской канализационной сети Москвы составляла 5 тыс. км. В настоящее время общая протяженность канализационной сети Москвы составляет 8354 км. Они имеют глубину заложения до 50 м и состоят из самотечных сетей протяженностью $\approx 6,93$ тыс. км, из них: дворовых ($\approx 4,03$ тыс. км) и городских уличных ($\approx 1,67$ тыс. км) сетей диаметром от 125 мм до 600 мм, каналов и коллекторов диаметром от 600 мм до 4500 мм ($\approx 1,13$ тыс. км); а также напорных трубопроводов диаметром от 100 мм до 3000 мм протяженностью 0,65 тыс. км.

Канализационные тоннели Москвы весьма протяжены: длина Восточного канала составляет 13,1 км, Черкизовского – 11,6 км, Юго-Западного – 9,1 км, длина усиления Юго-Западного канала – 18,4 км, длина Филевского канала – 8,4 км, длина отводящего канала от Филевской КНС – 9,1 км и т.д. Все эти сооружения оборудованы монолитными железобетонными обделками. Спустя несколько лет после запуска сооружений бетон уже имел признаки коррозионных изменений. Самые большие разрушения имели место на Филевском и Восточном каналах. В Филевском канале было выявлено повышенное содержание сульфатов и хлоридов, а также металлов, нефтепродуктов и жиров, чем в Восточном. Однако коррозия бетона в обоих тоннелях приблизительно одинакова. Скорость коррозии бетона возрастает из-за подсоединения к безнапорным коллекторам длинных напорных коллекторов, а также в наличие высокой концентрации сульфатов и хлоридов [3].

Следует отметить, что значительное количество очистных сооружений, особенно на территории ТиНАО (12 ед.), построены в 1960-1980-е годы и находятся в аварийном состоянии. Сооружения, построенные в более поздний период, характеризуются значительным физическим износом. Большое число очистных сооружений нуждается в реконструкции и строитель-

стве новых блоков на существующих промплощадках со сносом существующих сооружений. В Москве ежегодно ремонтируется 1% канализационных коллекторов.

Таким образом, подземные сооружения, как критически важная часть инфраструктуры, требуют особого внимания к их техническому состоянию. Особенно это касается подземных канализационных коллекторов, на несущие конструкции и другие конструктивные элементы которых суще-

ственным образом влияет внутренняя эксплуатационная среда. Воздействие агрессивных факторов на подземные канализационные коммуникации ведет к сокращению срока службы данных сооружений. Агрессивность среды можно снизить специальными конструктивными решениями. С помощью таких решений при проектировании можно снизить газообразование и обеспечить их безаварийную работу на нормативный срок.

Библиографический список

1. СП 248.1325800.2016. Свод правил. Сооружения подземные. Правила проектирования. Underground structures. Design principles. Дата введения 2016-09-01.
2. Дрозд Г.Я., Хвортова М.Ю. Коррозия бетонных канализационных труб // Агротехника и энергообеспечение. – 2020. – №3 (9). – С. 14-22.
3. Куликова Е.Ю. Исследование факторов агрессивного воздействия и коррозии конструкций подземных сооружений // ГИАБ. – 2007. – №6. – С. 26-38.

DEPENDENCE OF THE SERVICE LIFE OF UNDERGROUND STRUCTURES ON AGGRESSIVE FACTORS

L.I. Olkhovaya, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

E.I. Mikhalev, *Graduate Student*

Russian open transport academy at the Russian University of Transport (Russia, Moscow)

Abstract. *This article discusses the features of underground structures, their nomenclature in accordance with the purpose and location. The main content of the study is the analysis of various types of aggressive effects on underground structures and ways to prevent them. The authors present a general holistic picture of the destruction of reinforced concrete underground structures from the main aggressive environmental factors. As a result of the analysis of the condition of sewage facilities in Moscow, St. Petersburg and generalization of practical experience, the corrosion rate of concrete lining of sewer tunnels is shown, it is noted that a large number of sewage treatment plants are characterized by significant physical wear and needs reconstruction and construction of new blocks.*

Keywords: *underground structures, reliability, durability, sewerage, collector, reinforced concrete, aggressive environment, corrosion, service life.*