РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРБЕТОНА

ФРОГ Д.Б.¹, ПРИМИН О.Г.², ТЕН А.Э.¹

¹Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

²Акционерное общество «Мосводоканал», Москва, Россия

Аннотация. Аварии на канализационных коллекторах, особенно сопровождающиеся разрушением строительных конструкций, являются серьезнейшей проблемой не только для водохозяйственной отрасли, но и для города в целом. Ущерб от разрушения железобетонных канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие коррозии в целом по миру исчисляется миллиардами евро в год.

Одним из выходов из сложившейся ситуации с коррозией на канализационных коллекторах может являться своевременное и оперативное проведение ремонтно-восстановительных работ с использованием защитных покрытий, наносимых в период ремонта бестраншейными методами. К таким методам восстановления коллекторов могут быть отнесены: облицовка внутренних стенок коллекторов плиточными композитными материалами (блоками) или сплошными защитными покрытиями, в качестве которых может быть применен полимербетон.

В статье дана оценка технико-экономических показателей реконструкции эксплуатируемых канализационных коллекторов с использованием полимербетонных блоков. На реальном примере показано, что наиболее оптимальный вариант реконструкции канализационного канала - реконструкция облицовкой полимербетонными блоками (сегментами).

Ключевые слова: полимербетон, коллектор, канализация, коррозия, ремонтные и восстановительные работы.

RECONSTRUCTION OF PIPELINES USING POLYMERBETON

FROG D.B.¹, PRIMIN O.G.², TEN A.E.¹

¹Scientific Research Institute of Building Physics of RAACS, Moscow, Russia

²JSC "Mosvodokanal", Moscow, Russia

Abstract. Accidents on sewers accompanied by the destruction of building structures have been a most serious problem not only for the water industry but also for the entire city. In the world the damage from the deterioration of reinforced concrete sewer tunnels and in-line structures due to corrosion is estimated at billions of euros per year. A way out of the current situation with corrosion in sewers can be timely and prompt repair and rehabilitation using protective coatings applied by trenchless methods.

One of the methods of sewer rehabilitation is lining the internal walls of the sewers with plate composite materials (blocks) or continuous protective coatings where polymer concrete can be used. Polymer concrete comprises a thermosetting organic binder (usually epoxy resin) and a large amount of dispersed filler (talc, aerosil, crushed quartz, basalt, granite chips, etc.). The special composition of filler materials and advanced production technologies ensures the high qualities of polymer concrete.

An assessment of the technical and economic indicators of the reconstruction of existing sewers and canals using polymer concrete blocks is given. Through a realistic example it is shown that the most effective option of the reconstruction of a sewer canal while ensuring environmental safety is lining with polymer concrete blocks (segments).

Key words: polymer concrete, collector, sewerage, corrosion, reconstruction, repair and rehabilitation works.

Введение

В настоящее время в нашей стране эксплуатируются подземные коммунальные канализационные каналы и коллектора протяженностью в сотни километров. Значительная часть из них выполнена из железобетона. Отмечается большое количество аварий на железобетонных коллекторах, трубопроводах и сооружениях, транспортирующих сточные воды, в том числе в Москве, Санкт-Петербурге, Краснодаре, Уфе, Набережных Челнах, Курске и многих других городах [1,2,3,4,5]. Разрушения коллекторов из железобетона наблюдались в США, Франции, Японии, где разработаны специальные национальные программы по их ремонту [6,7]. Результаты теледиагностики коллекторов современной аппаратурой с ультразвуковым сканированием показывают, что основной причиной разрушения коллекторов является воздействие агрессивной газовой среды, что и приводит к серьезным дефектам в подсводном пространстве. Рисунок 1.

Одной из наиболее актуальных проблем обеспечения надежности и экологической безопасности железобетонных канализационных коллекторов, каналов и камер является их защита от газовой, химической и биокоррозии.

Рисунок 1 - Газовая коррозия железобетонного трубопровода

Проблемой коррозии железобетонных конструкций в сооружениях, транспортирующих сточные воды, инженеры и ученые по всему миру занимаются, начиная с 40-х годов XX века. За это время шло формирование представления о процессе коррозии, предлагались и внедрялись на практике различные способы защиты. Несмотря на ряд работ по проблеме защиты от коррозии трубопроводов исследование факторов, ускоряющих или замедляющих процесс, по-прежнему остается более чем актуальной задачей [8,9,10].

При воздействии транспортируемых по безнапорному канализационному трубопроводу сточных вод на его внутренней поверхности происходит многостадийное бактериальное воздействие на материал трубопровода. [11,12]. Стадии коррозии связаны с последовательным заселением стенок коллектора (сооружения) различными видами сероокисляющих микроорганизмов, которые способствуют снижению pH, что является причиной интенсивного разрушения структуры бетона. Согласно [12] предлагается разделение всех методов борьбы с подобной коррозией на активные и пассивные. Под активными методами понимаются различные технологические мероприятия, направленные на снижение уровня агрессивности среды, а под пассивными – конструктивные изменения, позволяющие сооружению функционировать при заданном уровне агрессивности.

Исследования АО «Мосводоканал» и НИИСФ РААСН показали, что одной из перспективных и конкурирующих технологий защиты железобетонных канализационных каналов и коллекторов от газовой коррозии является реконструкция трубопроводов с использованием материала «полимербетон». Технология реконструкции заключается в облицовке внутренней поверхности каналов полимербетонными элементами. Полимербетон обладает высокой химической стойкостью к средам, концентрация которых в канализации Москвы достигает высоких

величин.

Полимербетон состоит из полиэфирного связующего на основе фталевых кислот и минерального наполнителя в виде кварцевых песков и щебней различного фракционного состава. Для обеспечения надежной защиты от коррозии полимербетон покрывается защитным слоем на основе эпоксивинилэфирных смол.

Материал полимербетон включает термореактивное органическое связующее (обычно эпоксидную смолу) и большое количество дисперсного наполнителя (тальк, аэросил, толчёный кварц, базальт, гранитная крошка и др.).

По многим характеристикам полимербетон далеко обходит обычный бетон. Превышая показатели по прочности – от четырех до шести раз, по преодолению растяжения – от пяти до десяти. А по стойкости к износу – в пятнадцать-тридцать раз.

Руководствуясь высокими прочностными свойствами полимербетона, его химической стойкостью к различным средам и другими положительными свойствами в АО «Мосводоканал» был проведен комплекс ремонтно-восстановительных работ на канализационных коллекторах, что позволило накопить определенный опыт применения полимербетонных изделий.

Одним из первых объектов использования полимербетонных элементов была реконструкция подводящего канала к Люберецким очистным сооружениям (ЛОС). В результате проведённой комплексной технической диагностики установлена прогрессирующая газовая коррозия от газо-воздушной среды внутренней рабочей поверхности трубопровода с частичным разрушением свода, отслоение защитного слоя бетона, оголение и коррозия арматуры, рисунок 2.

Рисунок 2 - Техническое состояние подводящего канала к ЛОС до реконструкции

Рисунок 3 - Подводящий канал к ЛОС после реконструкции

Руководствуясь высокими прочностными свойствами полимербетона, его химической стойкостью к различным средам и другими положительными свойствами в АО «Мосводоканал» был проведен комплекс ремонтно-восстановительных работ на канализационных коллекторах, что позволило накопить определенный опыт применения полимербетонных изделий.

Одним из первых объектов использования полимербетонных элементов в г. Москве была реконструкция подводящего канала к Люберецким очистным сооружениям (ЛОС). Технология реконструкции заключалась в монтаже внутри существующего трубопровода нового трубопровода из полимербетонных элементов, соединяющихся между собой на специальном клеевом составе, с последующей забутовкой межтрубного пространства высокотекучим раствором, рисунок 3.

На сегодняшний день общая протяженность канализационных каналов, которые могут быть отремонтированы с использованием материала «Полимербетон» составляет порядка 50 км. Для сравнительной оценки технико-экономических показателей и сметной стоимости работ по реконструкции канализационных коллекторов в качестве примера была выбрана рекон-

струкция подводящего канала к ЛОС на участке К2- К4, Год постройки канала - 1994 г. На участке от камеры К-2 до К-4 канал имеет круглое сечение $D_n=5600$ мм, $D_u=4500$ мм (щитовой тоннель из ж/б блоков). Существующие камеры выполнены из сборного железобетона (стены из монолитного железобетона, плиты перекрытия типа «ВП»). Проведенное обследование конструкций выявило сильную коррозию железобетонных и металлических конструкции камер и канала.

Стены камер подвержены коррозии, защитный слой бетона разрушен, глубина коррозии составляет 2-4 см, существующее защитное покрытие отслоилось на всей поверхности камер. Металлические конструкции корродировали на 100% и обрушились. Для оценки технико-экономических показателей реконструкции канализационных коллекторов были рассмотрены следующие варианты:

Вариант 1. Реконструкция канализационного канала облицовкой полимербетонными сегментами. На участке от К-2 до К-4 реконструкция канализационного канала $D=4500$ мм выполняется устройством железобетонной рубашки всей внутренней поверхности канала с последующей облицовкой полимербетонными сегментами с маркировкой «Полибетон». Протяженность канала составляет 1422,65 м. Сечение канала до и после реконструкции показано на рисунке 4.

Рисунок 4 - Сечение канала до и после реконструкции

Вариант 2. Реконструкция на участке от К-2 до К-4 канализационного канала методом «труба в трубе» – протяжка двух стеклопластиковых труб для хозяйственно-бытовой канализации (НТТ «ХИМ»), ТУ 2296-004-99675234-2007. Диаметр $D_{нар}=2045$ мм, $D_{вн}=2000$ мм., рисунок 5. Труба «НТТ ХИМ» - изготавливается на основе специального химически стойкого связующего и превышающая по своей стойкости к агрессивным средам такие материалы, как железобетон и сталь, а по экономичности - полиэтилен, чугун и полипропилен.

Вариант 3. Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе» – протяжка двух полимерных труб Корсис - плюс для хозяйственно-бытовой канализации рисунки 6 и 7. Диаметр $D_{нар}=2045$ мм, $D_{вн}=1800$ мм (две трубы). Длина трубы 6 м (рис. 8). Материал труб: полиэтилен высокой плотности (ПЭВП). Максимальная кратковременная температура транспортируемой среды: 60°C. Нормативная документация: ГОСТ 54475-2011 «Трубы полимерные со структурированной стенкой и фасонные части к ним для систем наружной канализации», ТУ 22.21.21-005-73011750-2017. Длина: 6 м.

Вариант 4. Протяжка в канализационный коллектор стеклопластиковой трубы НТТ, $D_{вн}=3850$ мм, рисунок 8. В таблице 1 приведены итоговые сравнительные технико-экономические показатели вариантов реконструкции подводящего канала к ЛОС на участке К2- К4, канал железобетонный круглого сечения $D_{нар}=5600$ мм, $D_{вн}=4500$ мм, длина 1422,65 м.

Сечение 1–1
(после восстановления)

Рисунок 5 - Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе» с использованием стеклопластиковых труб ТУ 2296-004-99675234-2007

Сечение 1–1
(после восстановления)

Рисунок 6 - Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе» с использованием полимерных труб Корсис –плюс

Рисунок 7 - Реконструкция канализационного коллектора

Сечение 1-1
(после восстановления)

Рисунок 8 - Сечение канала $D=4500$ мм при протяжке в него стеклопластиковой трубы - $D_{вн}=3850$ мм

Таблица 1 - Итоговые сравнительные технико-экономические показатели вариантов реконструкции подводящего канала к ЛОС на участке К2- К4, канал железобетонный круглого сечения $D_{нар}=5600$ мм, $D_{вн}=4500$ мм, длина 1422,65 м

№ вариан-та	Методы реконструкции	Стоимость всего, тыс. руб.
1	Реконструкция канализационного канала облицовкой полимербетонными блоками (сегментами).	517 740,78
2	Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе» – протяжка двух стеклопластиковых труб для хозяйственно- бытовой канализации. Диаметр $D_{нар}=2045$ мм, $D_{вн}=2000$ мм.	606 985,48
3	Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе»– протяжка двух полимерных труб Корсис - плюс для хозяйственно-бытовой канализации $D_{вн}=1800$ мм	486 322,78
4	Протяжка в канализационный коллектор стеклопластиковой $D_{вн}=3850$ мм	1 305 662,10

Наиболее оптимальный вариант реконструкции подводящего канала ЛОС- реконструкция канализационного канала облицовкой полимербетонными блоками (сегментами). Реконструкция канализационного канала методом «труба в трубе»— протяжка двух полимерных труб Корсис -плюс Двн =1800 мм дешевле на 30 000 р, но не обеспечивает требуемые гидравлические параметры движения жидкости и пропускную способность.

Выводы

1.Одной из наиболее актуальных проблем обеспечения надежности и экологической безопасности железобетонных канализационных коллекторов, каналов и камер является их защита от газовой, химической и биологической коррозии.

2. Наиболее перспективной технологией защиты железобетонных канализационных каналов и коллекторов от газовой и химической коррозии является реконструкция трубопроводов с использованием материала «полимербетон». Полимербетон обладает высокой химической стойкостью к средам, концентрация которых в канализации Москвы достигает высоких величин.

3. Руководствуясь высокими прочностными свойствами полимербетона, опытом его применения за рубежом, его химической стойкостью к различным средам и другими положительными свойствами в АО «Мосводоканал» был проведен комплекс ремонтно-восстановительных работ на канализационных коллекторах, что позволило накопить определенный отечественный опыт применения полимербетонных изделий. Проведенная в АО «Мосводоканал» диагностика и обследование реконструированных с использованием полимербетона канализационных коллекторов показала их высокие эксплуатационные свойства и подтвердили эффективность их применения для защиты коллекторов больших диаметров от газовой и химической коррозии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. Реконструкция трубопроводных систем. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008 г. 215 с.
2. Столбихин Ю.В. Разработка методов предотвращения коррозии канализационных коллекторов и сооружений на основе совершенствования камер гашения напора. Автореферат кандидатской диссертации // ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». - 2016. -27 с.
3. Васильев, В. М. Методы антикоррозионной защиты тоннельных коллекторов и сооружений на них / В. М. Васильев, М. Н. Клементьев, Ю. В. Столбихин // Водоснабжение и санитарная техника. - 2015. - №1. - С. 58-66.
4. Васильев, В. М. Техническая эксплуатация системы канализационных тоннелей: учеб. пособие / В. М. Васильев, П. П. Бессолов, О. Н. Булгаков, М. Б. Лившиц, В.Т. Шаповалов. – СПб.: СПбГАСУ, 2002. - 59 с.
5. Zhang, L. Chemical and biological technologies for hydrogen sulphide emission control in sewer systems: A review / L. Zhang, P. De Schryver, B. De Gusseme, et al // Water Research. - 2008. - №42. - P. 1 – 12.
6. Richman, M. Microbial system control odors in Florida collection systems / M. Richman // Water Environ Technol. – 2015. - № 9. - P. 20-22.
7. Firer, D. Control of sulfide in sewer systems by dosage of iron salts: Comparison between theoretical and experimental results, and practical implications / D. Firer, E. Friedler, O. Lahav // Science of the environment. – 2008. - № 392. - P. 145-156.
8. Wells, P. A. R. E. Melchers «Factors involved in the long term corrosion of concrete». //Conference Proceedings. Coffs Harbour, Australia 2009. - P. 15 – 18.
9. Васильев В.М., Дмитриева Е.Ю. Современное представление о микробиологической биодеструкции бетона и металлов при эксплуатации канализационных коллекторов // Инженерно-экологические системы: Материалы Между-нар. науч.-практ. конференции 10–12 октября 2012 г. – СПб, СПбГАСУ, 2012, -С. 26-31.
10. Beixing Li, Laohu Cai, Wenkai Zhu Predicting Service Life of Concrete Structure Exposed to Sulfuric Acid Environment by Grey System Theory. // International Jorنال of Civil Engineering / 2018, Volume 16, Issue 9, P. 1017–1027
11. Дрозд Г.Я. Прогнозирование степени агрессивности эксплуатационной среды канализационных коллекторов // Водоснабжение и водоотведение – 2012. - №5. – С. 15-19.

12. Диденко Е. А. Влияние состава транспортируемых сточных вод на состояние канализационных трубопроводных систем / Е.А. Диденко, Я.Л. Хромченко, В.А. Светлополянскй // Водоснабжение и санитарная техника. - 2002. - № 5. - С.33 – 35.

REFERENCES

1. Khramenkov S. V., Primin O. G., Orlov V. A. Rekonstruktsiya truboprovodnykh system. [Reconstruction of pipeline systems. Moscow, Publishing House of the Association of Civil Engineering Universities, 2008, 215 p.].
2. Stolbikhin Iu. V. Razrabotka metodov predotvrashcheniya korrozii kanalizatsionnykh kollektorov i sooruzheniy na osnove sovershenstvovaniya kamer gasheniya napora. [Development of methods for preventing corrosion of sewers and structures based on the improvement of pressure release chambers. Ph. D. thesis in Engineering Science. Saint Petersburg, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2016, 227 p.].
3. Vasil'ev V. M., Klement'ev M. N., Stolbikhin Iu. V. [Methods of protecting tunnel sewers and in-line structures from corrosion]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*, 2015, no. 1, pp. 58–66. (In Russian).
4. Vasil'ev V. M., Bessolov P. P., Bulgakov O. N., Livshits M. B., Shapovalov V. T. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sistemy kanalizatsionnykh tonney. [Operation and maintenance of a sewer tunnel system]. Saint-Petersburg, SPbGASU Publ., 2002, 59 p.].
5. Zhang L., de Schryver P., de Gussem B., et al. Chemical and biological technologies for hydrogen sulphide emission control in sewer systems: A review. *Water Research*, 2008, no. 42, pp. 1–12.
6. Richman M. Microbial system control odors in Florida collection systems. *Water Environ Technology*, 2015, no. 9, pp. 20–22.
7. Firer D., Friedler E., Lahav O. Control of sulfide in sewer systems by dosage of iron salts: Comparison between theoretical and experimental results, and practical implications. *Science of the Environment*, 2008, no. 392, pp. 145–156.
8. Wells P. A., Melchers R. E. Factors involved in the long term corrosion of concrete sewers (Paper 54). Corrosion and Prevention 2009: The Management of Infrastructure Deterioration: Conference Proceedings, Coffs Harbour, Australia, Nov 2009, Coffs Harbour, 2009, pp. 15–18.
9. Vasil'ev V. M. Povyshenie effektivnosti raboty kanalizatsionnykh kollektorov i sooruzheniy na nikh pri sovmestnom dvizhenii stochnykh vod i gazov [Improving the efficiency of sewer and in-line structures operation at joint movement of wastewater and gases: Doctoral thesis. Saint-Petersburg, 1996, 343 p.].
10. Flemming H. C. Biofilmas a particular from of microbial life in Biofouling and corrosion in industrial wastewater systems. 1991, pp. 1–9.
11. Drozd G. Ia. [Concrete and reinforced concrete sewers]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*, 1988, no. 2, pp. 8–10. (In Russian).
12. Didenko E. A., Khromchenko Ia. L., Svetlopolianskii V. A. [Effect of the composition of the transported waste- water in the condition of sewer pipelines]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*, 2002, no. 5, pp. 33–35. (In Russian).

Информация об авторах:

Фрог Дмитрий Борисович

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия,
Кандидат технических наук, заведующий лабораторией № 35,
E-mail: dbf135@yandex.ru

Примин Олег Григорьевич

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия,
Доктор технических наук, вед. научный сотрудник лаб. № 35,
E-mail: primin@mvkniipr.ru

Тен Андрей Эдисович

Акционерное общество «Мосводоканал», Москва, Россия,
Зам. главного инженера по ремонту и реконструкции,
Производственно – эксплуатационное управлени канализационной сети,
E-mail: ten_ae@mosvodokanal.ru

Information about authors:

Frog D. B.

Research Institute of Building Physics of RAACS, Moscow, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory No. 35,
E-mail: dbf135@yandex.ru

Primin O.G.

Research Institute of Building Physics of RAACS, Moscow, Russia,
Doctor of Technical Sciences, Ved. Researcher Lab. No. 35,
E-mail: primin@mvkniipr.ru

Ten A.E.

JSC "Mosvodokanal", Moscow, Russia,
Deputy Chief engineer for repair and reconstruction,
Production - operational management of the sewer network,
E-mail: ten_ae@mosvodokanal.ru