

# ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРБЕТОНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

**О.Г. Примин, А.Э. Тен, Г.Н. Громов**

**АО "МосводоканалНИИпроект",  
АО "Мосводоканал"**

Дана оценка технико-экономических показателей реконструкции эксплуатируемых канализационных коллекторов и каналов с использованием полимербетонных блоков. На реальном примере показано, что наиболее оптимальный вариант реконструкции канализационного канала и обеспечения и экологической безопасности – реконструкция облицовкой полимербетонными блоками (сегментами).

*Ключевые слова:* полимербетон, коллектор, канализация, коррозия, авария, реконструкция, облицовка, оценка, эффект

## Application of Polymer Concrete for Corrosion Protection of Sewage Conduits

**O.G. Primin, A.E. Ten, G.N. Gromov**

**Stock company "MosvodokanalNIIProekt", 105005 Moscow, Russia,  
Stock company "Mosvodokanal", 105005 Moscow, Russia,**

An assessment of the technical and economic indicators of the reconstruction of operating sewage conduits and channels using polymer concrete blocks is given. A real example shows that the best option for the reconstruction of sewage channels and ensuring environmental safety is the reconstruction using lining with polymer concrete blocks (segments).

*Keywords:* polymer concrete, conduit, sewage, corrosion, emergency, reconstruction, lining, assessment, effect

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-05-4-9

**В** настоящее время в нашей стране эксплуатируются подземные коммунальные канализационные каналы и коллекторы протяженностью в тысячи 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 горо-

дах [1–5]. Аварии коллекторов нередко приводят к техногенным катастрофам и наносят значительный ущерб окружающей среде и населению. 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 воздей-

ствие агрессивной газовой среды, что и приводит к серьезным дефектам в подводящем пространстве (рис. 1).

Проблемой коррозии железобетонных конструкций в сооружениях, транспортирующих сточные воды, инженеры и ученые по всему миру занимаются начиная с 40-х гг. XX в. За это время шло формирование представления о процессе коррозии, предлагались и внедрялись на практике различные способы защиты. Несмотря на то, что общие положения теории микробиологи-

ческой (газовой коррозии) могут считаться определенными, исследование факторов, ускоряющих или замедляющих процесс, по-прежнему остается более чем актуальной задачей [8–10].

Коррозию бетона индуцируют различные группы микроорганизмов, последовательно сменяющие друг друга. Вследствие ведущей роли биологического фактора в этом процессе данную коррозию чаще называют биокоррозией, а не газовой, хотя, безусловно, концентрации агрессивных газов в подводящем пространстве коллектора — первый индикатор наличия проблемы [11].

Экспериментальными исследованиями установлено, что сульфат-восстанавливающие бактерии показывают высокую способность колонизации цементных материалов, когда создаются благоприятные условия для их развития [11, 12].

Для трубопроводов, проложенных в подземном пространстве, следует различать два пути коррозионного воздействия на тело трубы: с внешней стороны и с внутренней.

С внешней стороны идентификация бактерий связана с наличием грунтовых вод, в которых могут присутствовать: тиосульфатвосстанавливающие бактерии *Desulfovibrio vulgaris*, сульфат-восстанавливающие бактерии *Desulfovibrio gigas* и сульфид-окисляющие бактерии *Thiobacillus thiooxidans*. Необходимо отметить, что грунтовые воды, как правило, не являются агрессивной средой, но они содержат микроорганизмы, способные создавать биопленки, долгосрочное действие которых вызывает биоразрушение бетонных строительных конструкций, включая внешнюю поверхность бетонных и железобетонных труб.

Так как цементные материалы представляют собой композитные гетерогенные материалы с пористой шеро-

ховатой поверхностью, создается возможность проникновения в их толщу не только химических элементов внешней среды, но и микроорганизмов в виде мхов, лишайников и т.д. Это, в свою очередь, приводит к появлению дефектов на внешней поверхности труб, что в конечном итоге приводит к их раннему старению и выходу из строя.

В этой связи очевидно, что одной из наиболее актуальных проблем обеспечения надежности и экологической безопасности железобетонных канализационных коллекторов и каналов является их защита от газовой и биокоррозии. 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 "МосводоканалНИИпрект" 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



Рис. 1. Газовая коррозия железобетонного трубопровода, обнажение арматуры

Fig. 1. Gas corrosion of reinforced concrete pipeline, armature scouring

покрывается защитным слоем на основе эпоксивинилэфирных смол.

Впервые в Москве полимербетонные сегменты диаметром 400 мм и длиной 2 м были проложены с использованием микротоннелепроходческого комплекса в 1995 г. При обследовании в 2017 г. отмечено удовлетворительное состояние трубопровода. В 2006 г. по данной технологии восстановлен и пущен в эксплуатацию экспериментальный участок Ново-Люберецкого канализационного канала диаметром 2800 мм. Организовано ежегодное обследование его технического состояния путем проходки, которое показывает отсутствие изменений восстановленной внутренней поверхности.

Полимербетон включает терморезистивное органическое связующее (обычно эпоксидную смолу) и большое количество дисперсного наполнителя (талька, аэросила, толченого кварца, базальта, гранитной крошки и др.).

Особый состав материалов-наполнителей и современные производственные технологии обеспечивают полимербетону высокое качество, в частности следующие показатели:

- прочность на растяжение при изгибе  $> 22 \text{ Н/мм}^2$ ;
- прочность на сжатие  $> 90 \text{ Н/мм}^2$ ;
- модуль упругости около  $25 \text{ кН/мм}^2$ ;

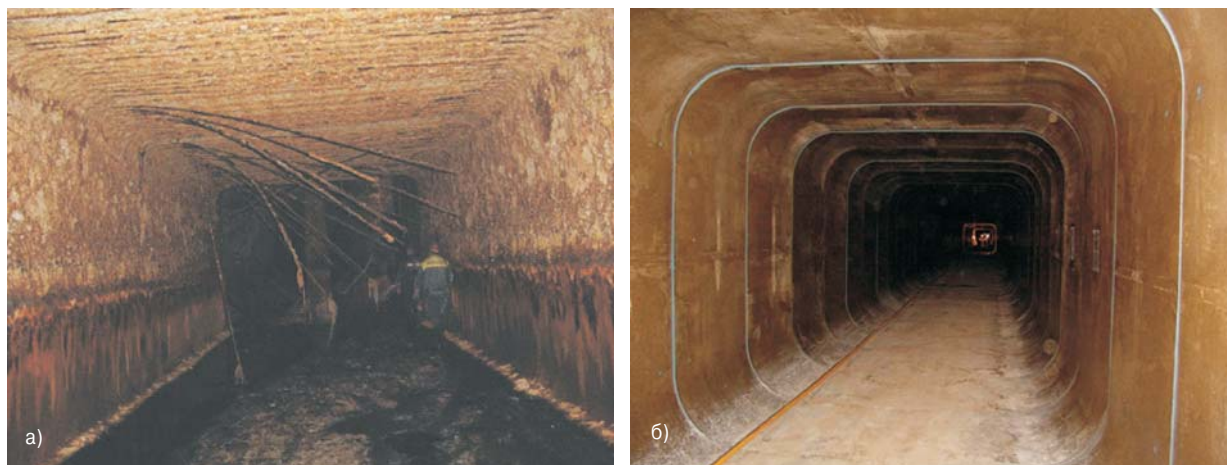


Рис. 2. Подводящий канал к ЛОС до реконструкции (а) и после реконструкции (б)

Fig. 2. Supply channel to LTF before reconstruction (a) and after reconstruction (b)

- плотность 2,1-2,3 г/см<sup>3</sup>;
- водопроницаемость 0 мм;
- химическая стойкость — высокая;
- глубина неровностей (шероховатости) около 25 мкм;
- износостойкость менее 0,2 мм после 10000 циклов испытаний на истирание;
- гидрофобность — высокая благодаря гладкой поверхности, позволяющей воде и частицам грязи быстро стекать с боковой поверхности трубопроводов;
- стойкость в диапазоне рН = 1÷12.

По многим характеристикам полимербетон далеко обходит обычный бетон, превышая показатели по прочности от 4 до 6 раз, по преодолению растяжения — от 5 до 10, а по стойкости к износу — в 15–30 раз.

Руководствуясь высокими прочностными свойствами

полимербетона, его химической стойкостью к различным средам и другими положительными свойствами, специалисты АО "Мосводоканал" провели комплекс ремонтно-восстановительных работ на канализационных коллекторах, что позволило накопить определенный опыт применения полимербетонных изделий. Один из первых объектов использования полимербетонных элементов — подводящий канал к Люберецким очистным сооружениям (ЛОС). В результате проведённой 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 (рис. 2, а).

Эксплуатация железобетонных трубопроводов с вышеперечисленными дефектами наиболее опасна в связи с высокой вероятностью возникновения аварии с разрушением канала и причинением материального и экологического ущерба для городской инфраструктуры и окружающей среды. 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 (рис. 2, б).

На сегодняшний день в Москве общая протяженность канализационных каналов, которые могут быть отремонтированы с использованием материала "Полибетон", составляет порядка 50 км. На основе поло-

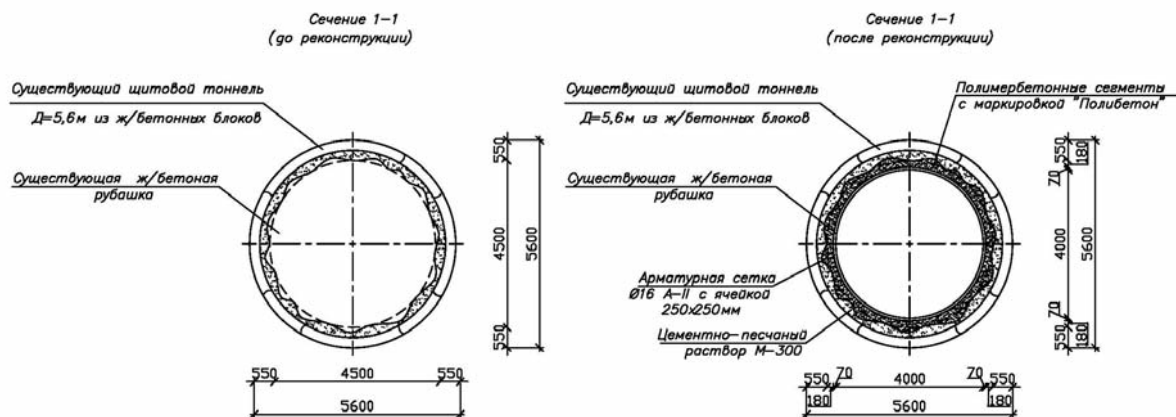


Рис. 3. Сечение канала до и после реконструкции

Fig. 3. Channel section before and after reconstruction

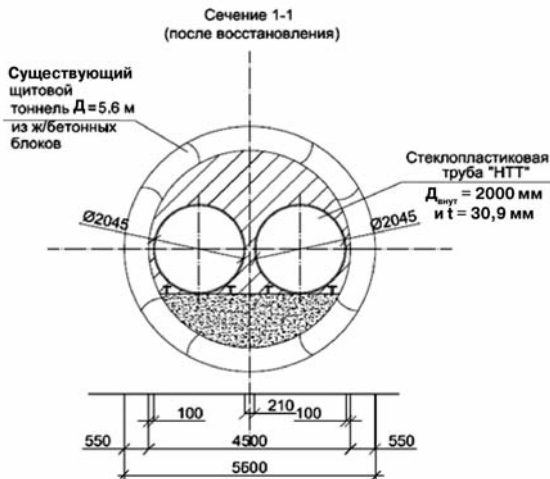


Рис. 4. Реконструкция канализационного канала методом "труба в трубе" с использованием двух стеклопластиковых труб (ТУ 2296-004-99675234-2007)

Fig. 4. Reconstruction of the sewer channel by the "pipe in pipe" method using two fiberglass pipes (ТУ 2296-004-99675234-2007)

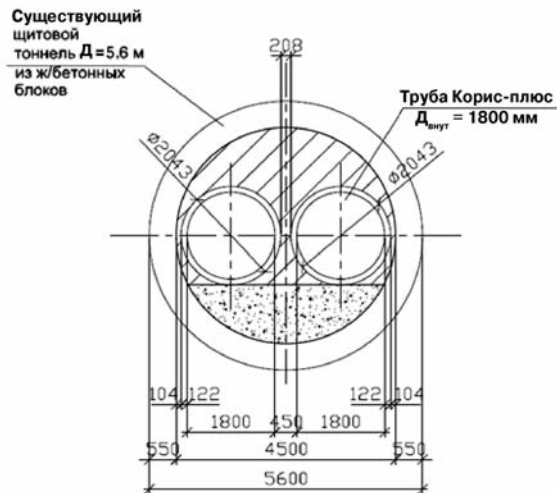


Рис. 5. Реконструкция канализационного канала методом "труба в трубе" с использованием полимерных труб Корсис-плюс

Fig. 5. Reconstruction of the sewer channel by the "pipe in pipe" method using Korsis-plus polymer pipes

жительного применения полимербетонных блоков АО "Мосводоканал" разработана программа, предусматривающая реконструкцию канализационных камер, подверженных сильному воздействию коррозии, с применением данного материала. Однако реализация программы была приостановлена в виду значительной цены материала (строительный материал поставлялся из Германии).

В этой связи в Москве был построен завод по производству полимербетонных элементов. Практически единственным производителем полимербетонных элементов в Москве является ООО "Перспективные энергетические технологии".

Для сравнительной оценки технико-экономических показателей и сметной стоимости работ по реконструкции канализационных коллекторов в качестве примере была выбрана реконструкция подводящего канала к ЛОС на участке К-2–К-4 (год постройки канала — 1994). На участке от камеры К-2 до К-4 канал имеет круглое сечение Дн = 5600 мм, Ду = 4500 мм (щитовой тоннель из ж/б блоков).

Существующие камеры выполнены из сборного железобетона (стены из монолитного железобетона, плиты перекрытия типа "ВП").

Проведенное обследование выявило сильную коррозию железобетонных и металлических конструкций 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 скорродировали на 100 % и обрушились. Для оценки технико-экономических показателей реконструкции канализационных коллекторов были рассмотрены четыре варианта.

**Вариант 1.** Реконструкция канализационного канала облицовкой

щитовой полимербетонными сегментами. На участке от К-2 до К-4 реконструкция канализационного канала (Ду = 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 рис. 3.

**Вариант 2.** Реконструкция на участке от К-2 до К-4 канализационного канала методом "труба в трубе" — протяжка двух стеклопластико-



Рис. 6. Реконструкция канализационного коллектора

Fig. 6. Reconstruction of sewage conduit

**Технико-экономические показатели вариантов реконструкции подводящего канала к ЛОС на участке К2-К4**

Technical and economic indicators of options for the reconstruction of the supply channel to the LTF in the site K2-K4

Вариант	Метод реконструкции	Стоимость, тыс. руб.
1	Облицовка полимербетонными блоками (сегментами)	517 740,78
2	Труба в трубе – протяжка двух стеклопластиковых труб для хозяйственно-бытовой канализации ( $D_{нар} = 2\ 045$ мм, $D_{внут} = 2\ 000$ мм)	606 985,48
3	Труба в трубе – протяжка двух полимерных труб Корсис-плюс для хозяйственно-бытовой канализации ( $D_{внут} = 1\ 800$ мм)	486 322,78
4	Протяжка в канализационный коллектор стеклопластиковой трубы ( $D_{внут} = 3\ 850$ мм)	1 305 662,10

**Примечание.** Канал железобетонный круглого сечения  $D_{нар} = 5\ 600$  мм,  $D_{внут} = 4\ 500$  мм, длина 1422,65 м.

вых труб для хозяйственно-бытовой канализации (НТТ "ХИМ"), ТУ 2296-004-99675234-2007 (диаметр  $D_{нар} = 2\ 045$  мм,  $D_{внут} = 2\ 000$  мм, рис. 4).

Труба "НТТ ХИМ" изготавливается на основе специального химически стойкого связующего, превышающего по своей стойкости к агрессивным средам такие материалы, как железобетон и сталь, а по экономичности — полиэтилен, чугун и полипропилен.

Стеклопластиковые трубы изготавливают на основе полиэфирных или эпоксидных смол, армированных стекловолокном. Такие трубы производят значительно больших диаметров (до 3700 мм), чем другие трубы из полимерных материалов. Поскольку стеклопласти-

ковые трубы имеют высокую прочность, рабочее давление в них может достигать 5 МПа. Трубы обладают малой теплопроводностью, хорошими диэлектрическими свойствами, высокой химической и коррозионной стойкостью, небольшой гигроскопичностью, достаточной огнестойкостью. Стеклопластиковые трубы в 4 раза легче стальных и способны выдерживать температуру до 150 °С.

**Вариант 3.** Реконструкция канализационного канала методом "труба в трубе" — протяжка двух полимерных труб Корсис-плюс для хозяйственно-бытовой канализации (рис. 5 и 6). Диаметр трубы  $D_{нар} = 2\ 045$  мм,  $D_{внут} = 1\ 800$  мм (две трубы), длина трубы 6 м (см. рис. 5), материал — полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), максимальная кратковременная температура транспортируемой среды 60 °С.

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,  $D_{внут} = 3\ 850$  мм (рис. 7).

В таблице приведены итоговые сравнительные технико-экономические показатели вариантов реконструкции подводящего канала к ЛОС на участке К-2–К-4, канал железобетонный круглого сечения

( $D_{нар} = 5\ 600$  мм,  $D_{внут} = 4\ 500$  мм, длина 1422,65 м).

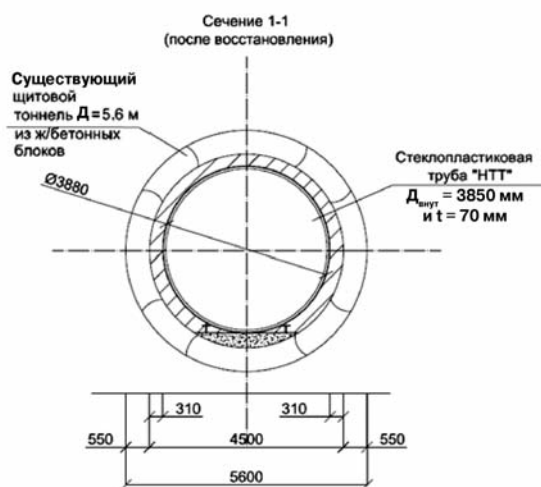
Наиболее оптимальный вариант реконструкции подводящего канала ЛОС- реконструкция канализационного канала облицовкой полимербетонными блоками (сегментами). Реконструкция канализационного канала методом "труба в трубе" — протяжка двух полимерных труб Корсис-плюс  $D_{внут} = 1\ 800$  мм — дешевле на 30 000 руб., но не обеспечивает гидравлические параметры движения жидкости.

**Заключение**

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

Защита железобетонных канализационных каналов и коллекторов от газовой и биокоррозии путем реконструкции трубопроводов с использованием материала "полимербетон" является перспективной технологией. Полимербетон обладает высокой химической стойкостью к средам, концентрация которых в канализации достигает высоких величин.

Руководствуясь высокими прочностными свойствами полимербетона, опытом его применения за рубежом, его химической стойкостью к различным средам и другими положительными свойствами, специалисты АО "Мосводоканал" провели 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 показали их высокие эксплуатационные свойства и подтвердили эффективность их применения для защиты коллекторов больших диаметров от газовой и химической коррозии.



**Рис. 7.** Сечение канала  $D = 4\ 500$  мм при протяжке в него стеклопластиковой трубы с  $D_{внут} = 3\ 850$  мм

**Fig. 7.** The cross section of the channel  $D = 4\ 500$  mm when fiberglass pipe is pulled into it with  $D_{in} = 3\ 850$  mm

## Литература

1. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. Реконструкция трубопроводных систем. М., Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. 215 с.
2. Столбихин Ю.В. Разработка методов предотвращения коррозии канализационных коллекторов и сооружений на основе совершенствования камер гашения напора. Автореф. канд. дисс. ФГБОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет". 2016. 27 с.
3. Васильев В.М., Клементьев М.Н., Столбихин Ю.В. Методы антикоррозионной защиты тоннельных коллекторов и сооружений на них. Водоснабжение и санитарная техника. 2015. №1. С. 58–66.
4. Васильев В.М., Бессолов П.П., Булгаков О.Н., Лившиц М.Б., Шаповалов В.Т. Техническая эксплуатация системы канализационных тоннелей: учеб. пособие. СПб., СПбГАСУ, 2002. 59 с.
5. Zhang L., De Schryver P., De Gusseme B. et al. Chemical and biological technologies for hydrogen sulphide emission control in sewer systems: A review. Water Research. 2008. № 42. P. 1–12.
6. Richman M. Microbial system control odors in Florida collection systems. Water Environ Technol. 2015. № 9. P. 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. № 392. P. 145–156.
8. Wells P.A., Melchers R.E. "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 Междунар. 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 Journal of Civil Engineering. 2018. Vol. 16. Iss. 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., Хромченко Я.Л., Светлополянский В.А. Влияние состава транспортируемых сточных вод на состояние канализационных трубопроводных систем. Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 5. С.33–35.

## References

1. Khramenkov S.V., Primin O.G., Orlov V.A. Rekonstruktsiya truboprovodnykh sistem. M., Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2008. 215 s.
2. Stolbikhin Yu.V. Razrabotka metodov predotvrashcheniya korrozii kanalizatsionnykh kollektorov i sooruzhenii na osnove sovershenstvovaniya kamer gasheniya napora. Avtoref. kand. diss. FGBOU VPO "Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet". 2016. 27 s.
3. Vasil'ev V.M., Klement'ev M.N., Stolbikhin Yu.V. Metody antikorrozionnoi zashchity tonnel'nykh kollektorov i sooruzhenii na nikh. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 2015. №1. S. 58–66.
4. Vasil'ev V.M., Bessolov P.P., Bulgakov O.N., Livshits M.B., Shapovalov V.T. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sistemy kanalizatsionnykh tonnelei: ucheb. posobie. SPb., SPbGASU, 2002. 59 s.
5. Zhang L., De Schryver P., De Gusseme B. et al. Chemical and biological technologies for hydrogen sulphide emission control in sewer systems: A review. Water Research. 2008. № 42. P. 1–12.
6. Richman M. Microbial system control odors in Florida collection systems. Water Environ Technol. 2015. № 9. P. 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. № 392. P. 145–156.
8. Wells P.A., Melchers R.E. "Factors involved in the long term corrosion of concrete". Conference Proceedings. Coffs Harbour, Australia 2009. P. 15–18.
9. Vasil'ev V.M., Dmitrieva E.Yu. Sovremennoe predstavlenie o mikrobiologicheskoi biodestruktsii betona i metallov pri ekspluatatsii kanalizatsionnykh kollektorov. Inzhenerno-ekologicheskie sistemy: Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii 10–12 oktyabrya 2012 g. SPb., SPbGASU, 2012. S. 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 Journal of Civil Engineering. 2018. Vol. 16. Iss. 9. P. 1017–1027.
11. Drozd G.Ya. Prognozirovaniye stepeni agresivnosti ekspluatatsionnoi sredy kanalizatsionnykh kollektorov. Vodosnabzhenie i vodootvedenie 2012. №5. S. 15–19.
12. Didenko E.A., Khromchenko Ya.L., Svetlopol'yanskiy V.A. Vliyaniye sostava transportiruemyykh stochnykh vod na sostoyaniye kanalizatsionnykh truboprovodnykh sistem. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 2002. № 5. S.33–35.

О.Г. Примин – профессор, д-р техн. наук, АО "МосводоканалНИИпроект", 105005 Россия, г. Москва, Плетешковский пер. 22, e-mail: tepper2007@yandex.ru • А.Э. Тен – инженер, АО "Мосводоканал", 105005 Россия, г. Москва, Плетешковский пер. 2, e-mail: andr\_ten@mail.ru • Г.Н. Громов – начальник отдела, АО "МосводоканалНИИпроект", 105005 Россия, г. Москва, Плетешковский пер. 22

O.G. Primin – Professor, Dr. Sci. (Eng.), Stock company "MosvodokanalNIIProekt", 105005 Russia, Moscow, Pleteshkovsky by-street 22, e-mail: tepper2007@yandex.ru • A.E. Ten – Engineer, Stock company "Mosvodokanal", 105005 Russia, Moscow, Pleteshkovsky by-street 22, e-mail: andr\_ten@mail.ru • G.N. Gromov, chief of department, Stock company "MosvodokanalNIIProekt", 105005 Russia, Moscow, Pleteshkovsky by-street 22