



УДК 628.2

Зависимость гидравлических характеристик самотечных канализационных трубопроводов от способа проведения их бестраншейного ремонта

В. М. Петров, Л. Д. Терехов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: *Петров В. М., Терехов Л. Д.* Зависимость гидравлических характеристик самотечных канализационных трубопроводов от способа проведения их бестраншейного ремонта // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 2. — С. 348–356. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-2-348-356

Аннотация

Цель: При реконструкции самотечных канализационных сетей, проложенных в условиях городской среды и сельской местности, могут быть использованы различные технологии. Бестраншейный ремонт, активно используемый на застроенной территории, впоследствии влияет на пропускную способность сетей, при этом гидравлические характеристики потока зависят от принятой технологии производства работ. Оценка гидравлических характеристик самотечных канализационных трубопроводов в зависимости от выбираемого способа проведения их бестраншейного ремонта является целью проведения исследования. **Методы:** Определение аналитическим путем гидравлических характеристик потока в самотечных трубопроводах после их ремонта различными бестраншейными способами и сравнение полученных результатов. **Результаты:** Анализ полученных результатов показывает, что после реконструкции различными способами гидравлические параметры работы трубопроводов могут измениться и не соответствовать нормативным требованиям. Показана необходимость проведения аналитических расчетов на этапе выбора способа проведения бестраншейного ремонта самотечных канализационных сетей. **Практическая значимость:** Результаты работы рекомендуется учитывать при выборе бестраншейных технологий ремонта самотечных канализационных трубопроводов.

Ключевые слова: Эксплуатация, канализационные самотечные трубопроводы, реконструкция, бестраншейный ремонт, гидравлические характеристики.

Введение

На территории Российской Федерации, согласно статистическим данным [1], протяженность самотечных сетей канализации составляет более 80 тыс. км. При этом протяженность таких трубопроводов, проложенных по городской территории, составляет более 60 тыс. км, а в сельской местности — около 20 тыс. км.

Большая часть канализационных сетей, которые сейчас находятся в эксплуатации, были построены в 1950–1970-х годах в период массового домостроения. В наше время большая их часть нуждается в замене [2–4]. Так, согласно [1], на территории Российской Федерации протяженность сетей канализации, нуждающихся в реконструкции, составляет около 40 тыс. км, из которых более 30 тыс.

км относятся к городской территории и 10 тыс. км — к сельской местности. Например, число аварий на сетях канализации на территории Российской Федерации составляет около 17 тысяч, из которых около 15 тысяч приходится на зону городской застройки [1].

Данная статистика говорит о том, что большая часть сетей, нуждающихся в ремонте, проходит по территории городской застройки. Современные городские условия не всегда позволяют выполнить ремонт канализационных сетей открытым способом с рытьем траншей. При таком способе производства работ для ремонта и замены трубопровода требуется останавливать транспортное движение на данном участке, при этом может возникнуть необходимость вывода из эксплуатации иных коммуникаций, проходящих в непосредственной близости с ремонтным участком.

Поэтому наиболее рациональным способом реконструкции канализационной сети в черте городов считается использование бестраншейных технологий ремонта [5–9]. Для этого возможно использовать три основных способа реконструкции канализационных сетей [8]: «Релайнинг», Swagelining и протягивание полимерного рукава (чулка) в трубу с последующей термообработкой.

Способ ремонта «Релайнинг» может проводиться с разрушением существующего трубопровода [8]. Он позволяет прокладывать новый трубопровод внутри существующего с помощью пневмопробойника. При этом существующий трубопровод подвергается разрушению, а на его место протягивается новый трубопровод. Данный метод позволяет сохранить необходимые гидравлические характеристики канализационной сети. При необходимости на некоторых участках возможно даже увеличение диаметра.

Способ Swagelining заключается в протягивании в существующую трубу новой полимерной трубы, предварительно прошедшей для умень-

шения ее диаметра специальную матрицу. После установки новой трубы в проектное положение новая труба расширяется, пока ее внешний диаметр не будет соответствовать внутреннему диаметру прежнего трубопровода. Этот способ ведет к уменьшению сечения ремонтируемого трубопровода на 10–15 % [8].

Метод протягивания полимерного рукава (чулка) в трубу с последующей термообработкой состоит в укреплении внутренних стенок существующего трубопровода за счет протягивания в него полимерного рукава. После чего в полимерный рукав подается сжатый воздух для плотного прилегания к стенкам ремонтируемого трубопровода. Бестраншейный ремонт данным методом дает возможность продолжить эксплуатировать трубопровод до 50 лет. Метод протягивания полимерного рукава [8] ведет к уменьшению сечения ремонтируемого трубопровода на 5–7 %.

В связи с возможным изменением параметров внутреннего сечения трубопровода после проведения ремонтных работ изменяются и гидравлические характеристики работы трубопроводов [10].

Актуальность данного исследования заключается в том, что существует потребность в оценке изменения гидравлических характеристик самотечных трубопроводов после проведения их бестраншейного ремонта.

Целью исследования является оценка гидравлических характеристик самотечных канализационных трубопроводов в зависимости от выбранного способа проведения их бестраншейного ремонта. При проведении исследования решались следующие задачи:

- выявить основные гидравлические характеристики потока жидкости, которые могут изменяться после проведения бестраншейного ремонта трубопровода;
- провести аналитические расчеты гидравлических характеристик потока для самотечных трубопроводов при применении технологий бес-

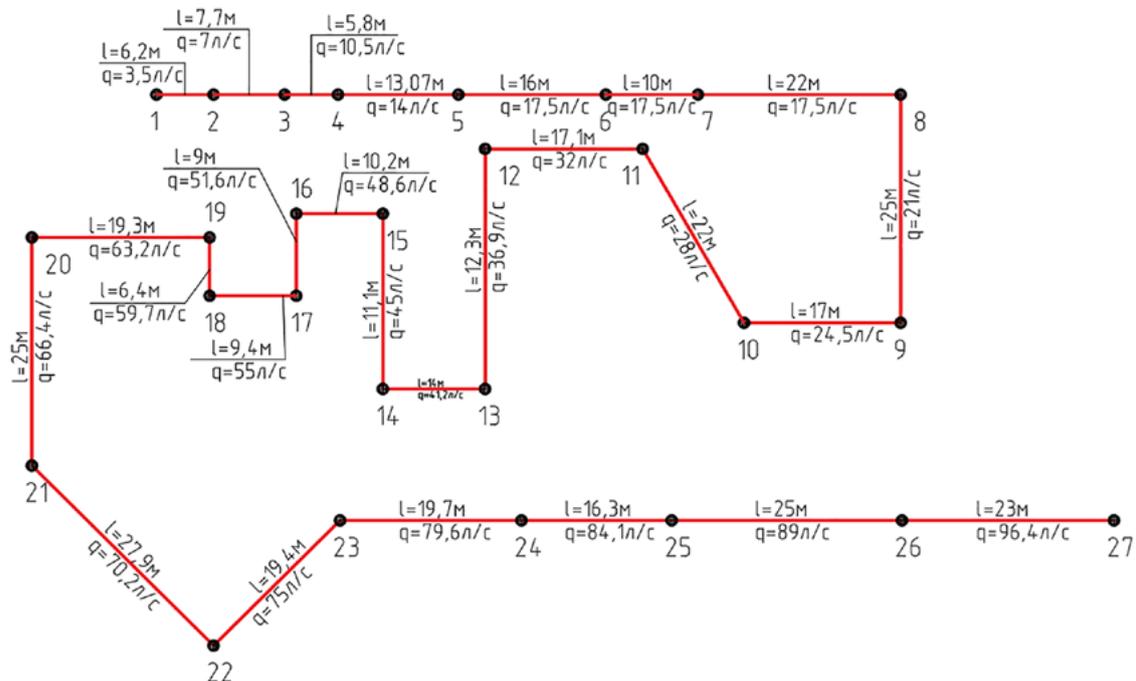


Рис. 1. Схема канализационной сети

траншейного ремонта: «Релайнинг», Swagelining и протягивание полимерного рукава (чулка);

– провести анализ полученных результатов и дать рекомендации по выбору технологии бестраншейного ремонта.

Методы и материалы

Предметом исследования являются гидравлические характеристики потока жидкости в самотечных трубопроводах систем канализации после их реконструкции. Для решения поставленных задач и достижения конечной цели работы применялись теоретический, общепрофессиональный анализ и синтез, наблюдение и моделирование.

В работе проводилась оценка гидравлических характеристик самотечных канализационных трубопроводов при движении в них сточных вод после проведения бестраншейного ремонта сети способами «Релайнинг», Swagelining и с помощью метода протягивания полимерного рукава (чулка).

Моделирование процессов проводилось для самотечной канализационной сети, схема которой представлена на рис. 1.

Результаты исследования

Основными гидравлическими характеристиками потока жидкости, которые могут изменяться после бестраншейного ремонта трубопровода, являются: средняя скорость потока V , наполнение трубопровода h/d , площадь живого сечения потока ω , гидравлический радиус R , коэффициент шероховатости стенок трубы n .

Основные расчеты гидравлических характеристик потока были выполнены согласно методике акад. Н. Н. Павловского [11].

Средняя скорость потока V определяется по формуле:

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot i}, \quad (1)$$

где R — гидравлический радиус, м;
 i — геометрический уклон дна трубопровода;
 C — коэффициент Шези, зависящий от гидравлического радиуса и шероховатости смоченной поверхности канала или трубопровода; определяется по формуле:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y, \quad (2)$$

где y — показатель степени:

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(0,1);$$

n — коэффициент шероховатости; принимается по справочным данным [11, 12].

Гидравлический радиус R , м, определяется по формуле:

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \quad (3)$$

где ω — площадь живого сечения, м², определяемая по формуле:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\beta}{180^\circ} - \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\sin^2 \beta}{2} = \\ &= \frac{\pi}{4} \left(\frac{\beta}{180^\circ} - \frac{\sin^2 \beta}{2} \right) d^2. \end{aligned} \quad (4)$$

χ — смоченный периметр, м, определяемый по формуле:

$$\chi = \pi d \frac{\beta}{180^\circ}, \quad (5)$$

где d — внутренний диаметр трубопровода, м;

β — угол, характеризующий смоченную часть трубопровода [11], град.

Используя упомянутые выше зависимости и зная расчетный расход, диаметр и уклон трубопровода на каждом участке, произведен гидравлический расчет канализационной сети, представленной на рис. 1. Результаты расчетов сведены в таблицу.

Основными гидравлическими характеристиками, которые нормируются согласно [13], являются скорость потока V , наполнение трубопровода h/d . При этом в зависимости от диаметра трубопровода величина V должна

находиться в диапазоне между минимальным и максимальным значениями, а наполнение не должно превышать максимальных значений h/d . Поэтому в таблице при заданном диаметре и уклоне участков сети приведены эти два параметра.

Аналогичные расчеты выполнены по определению гидравлических характеристик трубопроводов после их бестраншейного ремонта перечисленными ранее способами. Результаты расчета по участкам рассматриваемой сети представлены в виде графиков на рис. 2 и 3.

На графиках приведено изменение скорости движения потока воды V (рис. 2) и наполнения h/d (рис. 3) в канализационных трубопроводах при сохранении расхода q и уклона трубопровода i для рассматриваемых способов бестраншейного ремонта.

На рис. 2 и 3 видно, что гидравлические характеристики трубопроводов при пропуске требуемых расходов сточных вод после реконструкции изменяются в зависимости от выбранного способа их бестраншейного ремонта и могут не соответствовать нормативным требованиям, предъявляемым к работе самотечных канализационных трубопроводов [13]:

– после проведения бестраншейного ремонта методом Swagelining наблюдается увеличение скорости потока V на 60–100 %, а возрастание степени наполнения трубопровода — на 14–16 %;

– для метода протягивания полимерного рукава (чулка) в трубу с последующей термообработкой скорость возрастает на 82–86 %, а наполнение трубопровода — на 4–7 %;

– в некоторых случаях после ремонта бестраншейным методом Swagelining и протягивания полимерного рукава (чулка) гидравлические характеристики превышают допустимые значения согласно [13]. Например, наполнение на некоторых участках после ремонта приближается к 1, что недопустимо для самотечной канализационной сети;

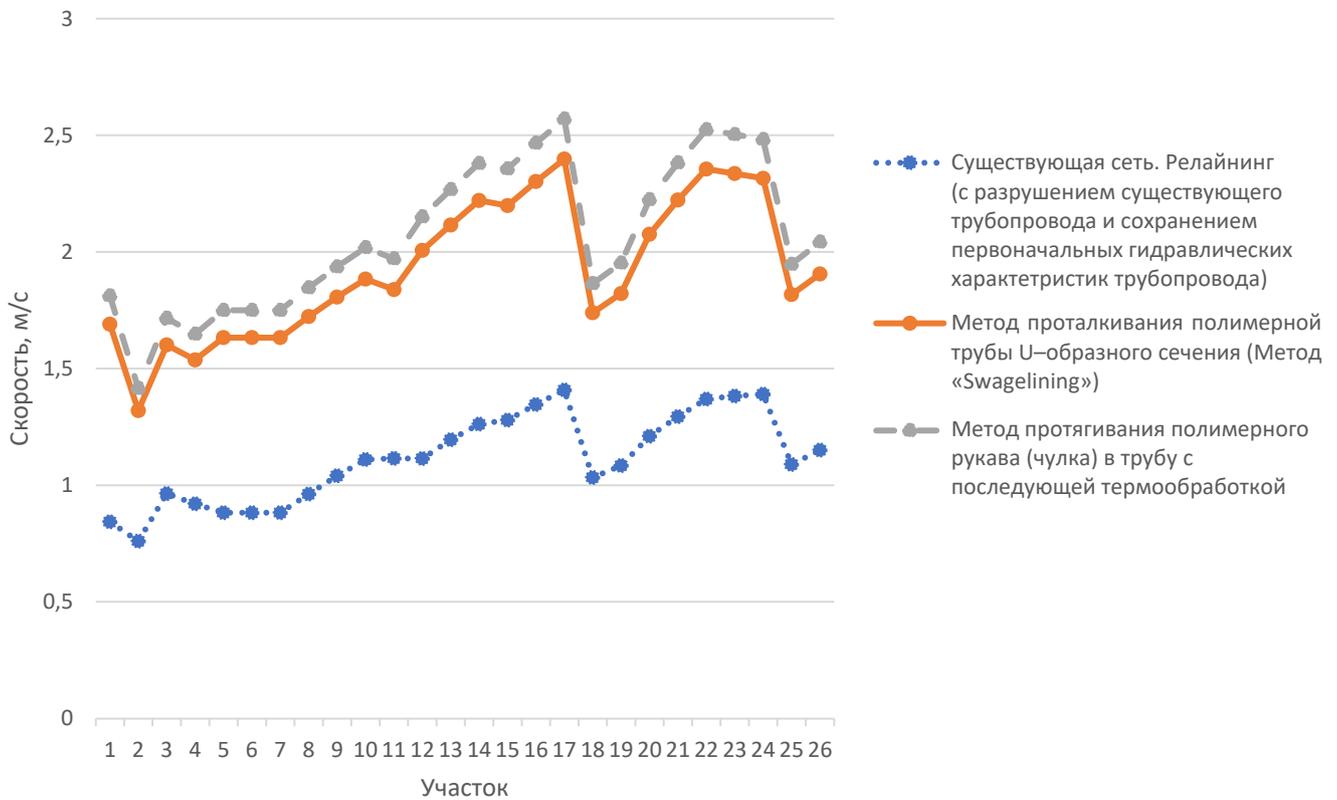


Рис. 2. Изменение скорости движения воды до и после бестраншейного ремонта

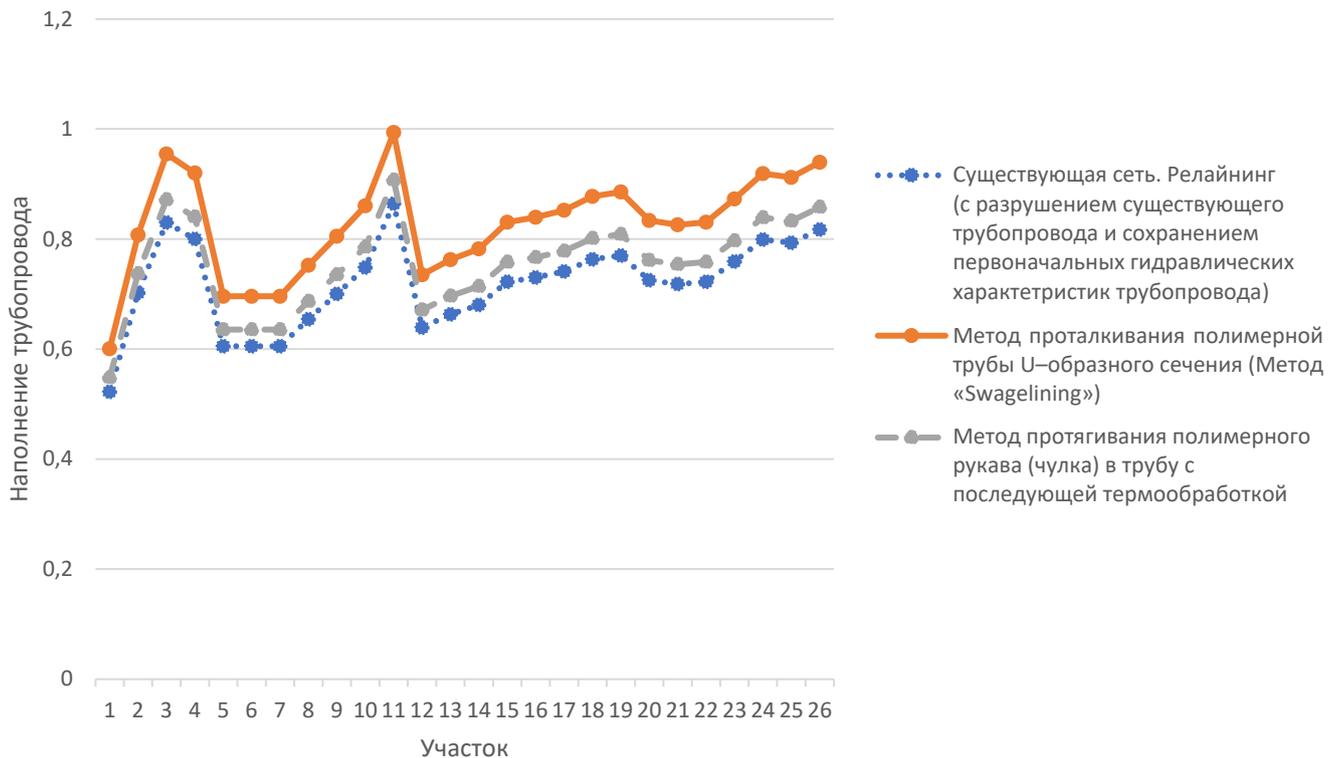


Рис. 3. Изменение наполнения трубопровода до и после бестраншейного ремонта

Гидравлические параметры канализационной сети

№ п/п	Номер участка	Длина трубы L , м	Расчетный расход q , л/с	Диаметр трубы d , мм	Уклон i	Скорость движения потока воды V , м/с	Наполнение трубопровода h/d
1	1-2	6,2	3,5	100	0,018	0,843	0,522
2	2-3	7,7	7	125	0,009	0,76	0,702
3	3-4	5,8	10,5	125	0,014	0,964	0,83
4	4-5	13,07	14	150	0,01	0,92	0,8
5	5-6	16	17,5	200	0,007	0,882	0,605
6	6-7	10	17,5	200	0,007	0,882	0,605
7	7-8	22	17,5	200	0,007	0,882	0,605
8	8-9	25	21	200	0,008	0,962	0,654
9	9-10	17	24,5	200	0,009	1,04	0,7
10	10-11	22	28	200	0,01	1,11	0,748
11	11-12	17,1	32	200	0,01	1,115	0,864
12	12-13	12,3	36,9	250	0,008	1,114	0,639
13	13-14	14	41,2	250	0,009	1,195	0,663
14	14-15	11,1	45	250	0,01	1,262	0,68
15	15-16	10,2	48,6	250	0,01	1,279	0,722
16	16-17	9	51,6	250	0,011	1,346	0,73
17	17-18	9,4	55	250	0,012	1,408	0,741
18	18-19	6,4	59,7	300	0,005	1,033	0,763
19	19-20	19,3	63,2	300	0,0055	1,084	0,77
20	20-21	25	66,4	300	0,007	1,21	0,725
21	21-22	27,9	70,2	300	0,008	1,294	0,718
22	22-23	19,4	75	300	0,009	1,369	0,722
23	23-24	19,7	79,6	300	0,009	1,382	0,759
24	24-25	16,3	84,1	300	0,009	1,39	0,799
25	25-26	25	89	350	0,0045	1,089	0,793
26	26-27	23	96,4	350	0,005	1,15	0,817

– метод бестраншейного ремонта «Релейнинг» является наиболее рациональным с гидравлической точки зрения, так как он позволяет сохранять, а при необходимости улучшать гидравлические характеристики трубопровода до реконструкции, хотя требует значительных трудовых, финансовых и временных затрат.

Заключение

Представленные результаты показывают, что основными гидравлическими характеристиками потока жидкости, которые нормируются и могут измениться после реконструкции самотечных канализационных трубопроводов, являются средняя скорость потока V , наполнение трубопровода h/d .

Анализ полученных результатов расчетов показывает, что после реконструкции различными способами гидравлические параметры работы трубопроводов могут измениться и не соответствовать нормативным требованиям. Метод бестраншейного ремонта «Релайнинг» является наиболее целесообразным, так как позволяет сохранять первоначальные гидравлические характеристики трубопровода. Таким образом, на этапе выбора способа проведения бестраншейного ремонта самотечных канализационных сетей необходимо проведение аналитических расчетов по определению гидравлических характеристик трубопроводов после реконструкции с проверкой их на соответствие нормативам.

Библиографический список

1. Российский статистический ежегодник: стат. сб. — М.: Росстат, 2022. — 691 с.
2. Примин О. Г. Надежность и экологическая безопасность водопроводных и водоотводящих трубопроводов / О. Г. Примин, Г. Н. Громов // Промышленное и гражданское строительство. — 2021. — № 4. — С. 54–61.
3. Орлов В. А. Бестраншейные технологии и энергосбережение / В. А. Орлов. — М.: АСВ, 2021. — С. 124.
4. Степанов М. А. Проблемы надежности трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения и пути их решения / М. А. Степанов, О. Г. Примин // Водоснабжение и санитарная техника. — 2021. — № 10. — С. 7–15.
5. Орлов В. А. Технологии бестраншейной реновации трубопроводов: монография / В. А. Орлов, А. В. Михайлин, Е. В. Орлов. — М.: АСВ, 2011. — 133 с.
6. Продоус О. А. Рекомендации по выбору способа и подбору технологического оборудования для бестраншейного ремонта инженерных сетей / О. А. Продоус. — СПб.: НИИ АКХ им. К. Д. Памфилова, 2004. — 51 с.
7. Рыбаков А. П. Основы бестраншейных технологий. Теория и практика / А. П. Рыбаков. — М.: ПрессБюро, 2005. — 304 с.
8. Орлов В. А. Бестраншейные технологии разрушения ветхих инженерных сетей и протаскивание в освобожденное пространство новых труб / В. А. Орлов, С. П. Зоткин, Д. А. Петербургский // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. — 2022. — № 9(249). — С. 28–33.
9. Примин О. Г. Технологии бестраншейной реконструкции водоотводящих сетей с использованием полимерных материалов / О. Г. Примин // БСТ: Бюллетень строительной техники. — 2022. — № 6(1054). — С. 44–46.
10. Терехов Л. Д. Об изменении потерь напора и расходов в трубопроводах после бестраншейного ремонта способом «труба в трубе» / Л. Д. Терехов, А. В. Федорчук // Яковлевские чтения: сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С. В. Яковлева. — М.: МГСУ. 2017. — С. 146–156.
11. Лукиных А. А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н. Н. Павловского / А. А. Лукиных, Н. А. Лукиных. — Изд. 4-е, доп. — М.: Стройиздат, 1974. — 156 с.
12. Курганов А. М. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: справочник / А. М. Курганов, Н. Ф. Федоров; под общ. ред. А. М. Курганова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Стройиздат. Ленингр. отделение, 1986. — 440 с.
13. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03—85 (с Изменением № 1). — М.: Стройинформ, 2018.

Дата поступления: 05.05.2023

Решение о публикации: 30.05.2023

Контактная информация:

ПЕТРОВ Владимир Михайлович — аспирант кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика»; petrov_vm1@mail.ru

ТЕРЕХОВ Лев Дмитриевич — д-р техн. наук, проф.; levter4@rambler.ru

Dependence of Hydraulic Characteristics of Gravity Sewer Pipelines on the Method of Trenchless Repair

V. M. Petrov, L. D. Terehov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Petrov V. M., Terehov L. D. Dependence of Hydraulic Characteristics of Gravity Sewer Pipelines on the Method of Trenchless Repair // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 2, pp. 348–356. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-2-348-356

Summary

Purpose: When reconstructing gravity sewer networks laid in urban and rural environments, various technologies can be used. Trenchless repairs, which are actively used in a built-up area, subsequently affect the capacity of networks, while the hydraulic characteristics of the flow depend on the accepted technology of work. Assessment of hydraulic characteristics of gravity sewer pipelines depending on the chosen method of carrying out their trenchless repair is the purpose of the study. **Methods:** Analytical determination of hydraulic flow characteristics in gravity pipelines after their repair by various trenchless methods and comparison of the results obtained. **Results:** The analysis of the obtained results shows that after reconstruction in various ways, the hydraulic parameters of the pipelines may change and not meet regulatory requirements. The necessity of carrying out analytical calculations at the stage of choosing a method for trenchless repair of gravity sewer networks is shown. **Practical significance:** The results of the work are recommended to be taken into account when choosing trenchless technologies for repairing gravity sewer pipelines.

Keywords: Operation, gravity sewer pipelines, reconstruction, trenchless repair, hydraulic characteristics.

References

1. *Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik: stat. sb.* [Russian statistical yearbook: statistical collection]. Moscow: Rosstat Publ., 2022, 691 p. (In Russian)
2. Primin O. G., Gromov G. N. Nadezhnost' i ekologicheskaya bezopasnost' vodoprovodnykh i vodootvodnyashchikh truboprovodov [Reliability and environmental safety of water and drainage pipelines]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2021, Iss. 4, pp. 54–61. (In Russian)
3. Orlov V. A. *Bestransheyne tekhnologii i energosberezhenie* [Trenchless technologies and energy saving]. Moscow: ASV Publ., 2021, p. 124. (In Russian)
4. Stepanov M. A., Primin O. G. Problemy nadezhnosti truboprovodov sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya i puti ikh resheniya [Problems of reliability of pipelines of water supply and sanitation systems and ways to solve them]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary engineering]. 2021, Iss. 10, pp. 7–15. (In Russian)
5. Orlov V. A., Mikhaylin A. V., Orlov E. V. *Tekhnologii bestransheytoy renovatsii truboprovodov: monografiya* [Technologies of trenchless renovation of pipelines: monograph]. Moscow: ASV Publ., 2011, 133 p. (In Russian)
6. Prodous O. A. *Rekomendatsii po vyboru sposoba i podboru tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya bestranshey-nogo remonta inzhenernykh setey* [Recommendations on the choice of method and selection of technological equipment for trenchless repair of engineering networks]. St. Petersburg: NII AKKh im. K. D. Pamfilova, 2004, 51 p. (In Russian)
7. Rybakov A. P. *Osnovy bestransheynykh tekhnologiy. Teoriya i praktika* [Fundamentals of trenchless technologies. Theory and practice]. Moscow: PressByuro Publ., 2005, 304 p. (In Russian)
8. Orlov V. A., Zotkin S. P., Peterburgskiy D. A. *Bestransheyne tekhnologii razrusheniya vetkhikh inzhenernykh setey i protaskivanie v osvobodivsheesya prostranstvo novykh trub* [Trenchless technologies for the destruction of dilapidated engineering networks and pulling new pipes into

the vacated space]. *Santekhnika, Otoplenie, Konditsionirovanie* [Sanitary engineering, Heating, Air conditioning]. 2022, Iss. 9(249), pp. 28–33. (In Russian)

9. Primin O. G. Tekhnologii bestransheynoy rekonstruktsii vodootvodyashchikh setey s ispol'zovaniem polimernykh materialov [Technologies for trenchless reconstruction of drainage networks using polymeric materials]. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki* [BST: Bulletin of construction equipment]. 2022, Iss. 6(1054), pp. 44–46. (In Russian)

10. Terekhov L. D., Fedorchuk A. V. *Ob izmenenii poter' napora i raskhodov v truboprovodakh posle bestransheynogo remonta sposobom "truba v trube". Yakovlevskie chteniya: sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati akademika RAN S. V. Yakovleva* [On the change in pressure losses and flow rates in pipelines after trenchless repair by the "pipe in pipe" method. Yakovlev readings: a collection of reports of the XII International Scientific and Technical Conference, dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences S. V. Yakovlev]. Moscow: MGSU Publ., 2017, pp. 146–156. (In Russian)

11. Lukinykh A. A., Lukinykh N. A. *Tablitsy dlya gidravlicheskogo rascheta kanalizatsionnykh setey i dyukerov po formule akad. N. N. Pavlovskogo. Izd. 4-e, dop.* [Tables

for the hydraulic calculation of sewer networks and siphons according to the formula of acad. N. N. Pavlovsky. Ed. 4th, add]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1974, 156 p. (In Russian)

12. Kurganov A. M., Fedorov N. F. *Gidravlicheskie raschety sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya: spravochnik. 3-e izd., pererab. i dop.* [Hydraulic calculations of water supply and sanitation systems: reference book. 3rd ed., revised. and additional]. L.: Stroyizdat. Leningr. otdelenie Publ., 1986, 440 p. (In Russian)

13. *SP 32.13330.2018. Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya. SNiP 2.04.03—85 (s Izmeneniem № 1)* [SP 32.13330.2018. Sewerage. External networks and structures. SNiP 2.04.03—85 (with Amendment № 1)]. Moscow: Stroyinform Publ., 2018. (In Russian)

Received: May 05, 2023

Accepted: May 30, 2023

Author's information:

Vladimir M. PETROV — Postgraduate Student,
Department of Water Supply, Sewage and Hydraulics;
petrov_vm1@mail.ru

Lev D. TEREHOV — Dr. Sci. in Engineering Sciences,
Professor; levter4@rambler.ru