

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 3. С. 82–89.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 628.2

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.3.82-89

## РЕМОНТ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ КОРОТКИМИ ПОЛИМЕРНЫМИ РУКАВАМИ

Юрий Сергеевич Захаров, Дмитрий Юрьевич Захаров, Евгений Валерьевич Кухарчук

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры  
и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Российская Федерация

*Канализационные сети являются важнейшей частью систем жизнеобеспечения, обеспечивающих комфортные условия жизни людей и профилактики рисков появления новых и возврата исчезнувших инфекционных болезней. Кроме того, исправные канализационные сети как неотъемлемая часть систем водоотведения позволяют снизить антропогенные нагрузки на окружающую среду.*

*В связи с большим объемом необходимых строительных мероприятий и требуемых финансовых ресурсов капитальный ремонт и реконструкция трубопроводов систем водоотведения являются постоянной задачей, стоящей перед управляющими компаниями (УК), ответственными за их эксплуатацию.*

*Остановить процесс повсеместного разрушения сетей возможно только путем внедрения современных технологий ремонта и восстановления, использующих последние достижения в сфере материаловедения и высокопроизводительное оборудование. Однако при разработке планов ремонтно-восстановительных мероприятий следует обязательно учитывать фактор времени.*

*Ремонт канализационных трубопроводов производится для устранения отдельных локальных повреждений: продольных и поперечных трещин, устранения источников инфильтрации грунтовых вод и эксфильтрации сточных вод, а также ограниченных повреждений стенок трубопровода. При производстве ремонтных работ на канализационных сетях преимущественно используют специальных роботов, короткие полимерные рукава, манжеты из нержавеющей стали, инъектирование.*

*Монтаж коротких рукавов — это технология, которая широко применяется в мире при ремонте безнапорных трубопроводов систем водоотведения и позволяет устранить локальные повреждения в течение нескольких часов без выполнения затратных земляных работ.*

*В статье описывается технология монтажа коротких полимерных рукавов, определены повреждения трубопроводов, для устранения которых следует использовать короткие полимерные рукава, а также даны рекомендации по обеспечению качества производства работ.*

**Ключевые слова:** бестраншейный ремонт, канализация, полимерные рукава, трубопроводы, реакционные смолы, пакер

**Для цитирования:** Захаров Ю.С., Захаров Д.Ю., Кухарчук Е.В. Ремонт трубопроводов систем водоотведения короткими полимерными рукавами // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 3. С. 82–89. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.3.82-89

## REPAIR OF PIPELINES OF DRAINAGE SYSTEMS WITH SHORT POLYMER SLEEVES

Yuri S. Zakharov, Dmitry Yu. Zakharov, Evgeny V. Kukharchuk

Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Civil Engineering  
Sciences (NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation

*Sewer networks are an essential part of life support systems that provide comfortable living conditions for people and prevent the risks of new and returning extinct infectious diseases. In addition, serviceable sewer networks, as an integral part of wastewater disposal systems, can reduce anthropogenic loads on the environment.*

*Due to the large volume of necessary construction activities and the required financial resources, the overhaul and reconstruction of pipelines of wastewater disposal systems is an ongoing task facing the management companies responsible for their operation.*

*It is possible to stop the process of widespread destruction of networks only through the introduction of modern repair and restoration technologies using the latest achievements in the field of materials science and high-performance equipment. However, when developing plans for repair and restoration activities, the time factor must be considered.*

*Sewer pipelines are repaired to eliminate individual local damages: longitudinal and transverse cracks, eliminate sources of groundwater infiltration and wastewater exfiltration, as well as limited damage to the pipeline walls. During the repair work on sewage networks, special robots, short polymer sleeves, stainless steel cuffs, and injection are mainly used.*

*Installation of short hoses is a technology that is widely used in the world for the repair of unpressurized pipelines of wastewater disposal systems and allows to eliminate local damage within a few hours without performing costly excavation work.*

*The article describes the technology of installing short polymer hoses, identifies pipeline damage that should be eliminated by using short polymer hoses, and provides recommendations for ensuring the quality of work.*

**Keywords:** trenchless repair, sewage, polymer hoses, pipelines, reaction resins, packer

**For citation:** Zakharov Yu.S., Zakharov D.Yu., Kukharchuk E.V. Repair of pipelines of drainage systems with short polymer sleeves. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2025; 3:82-89. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.3.82-89 (rus.).

В настоящее время управляющие компании во всем мире повсеместно сталкиваются с нарастающим износом трубопроводов систем водоотведения. Если в Российской Федерации при эксплуатации канализационных сетей в основном используется стратегия устранения непредвиденных повреждений за счет локального ремонта, а в случае невозможности выполнения ремонтных работ — замены поврежденных труб, то общемировая тенденция свидетельствует о стремлении управляющих компаний использовать стратегию планово-предупредительного ремонта с повсеместным применением, прежде всего в мегаполисах, бестраншейных технологий устранения локальных повреждений или восстановления существующих трубопроводов с использованием группы технологий «труба в трубе» [1–7].

Особое внимание к бестраншейным технологиям при эксплуатации канализационных сетей в крупных городах обусловлено высокой плотностью застройки и интенсивным движением транспорта. Бестраншейные технологии позволяют серьезно сократить временные затраты на производство работ и объем необходимых земляных работ.

На рис. 1 приведены данные по объемам выполненных работ и использованных технологий при эксплуатации водоотводящих сетей в г. Кёльн (ФРГ). Согласно

данным 2025 г., общая протяженность городской канализационной сети составляет 2,4 тыс. км при населении 1,06 млн человек [8].

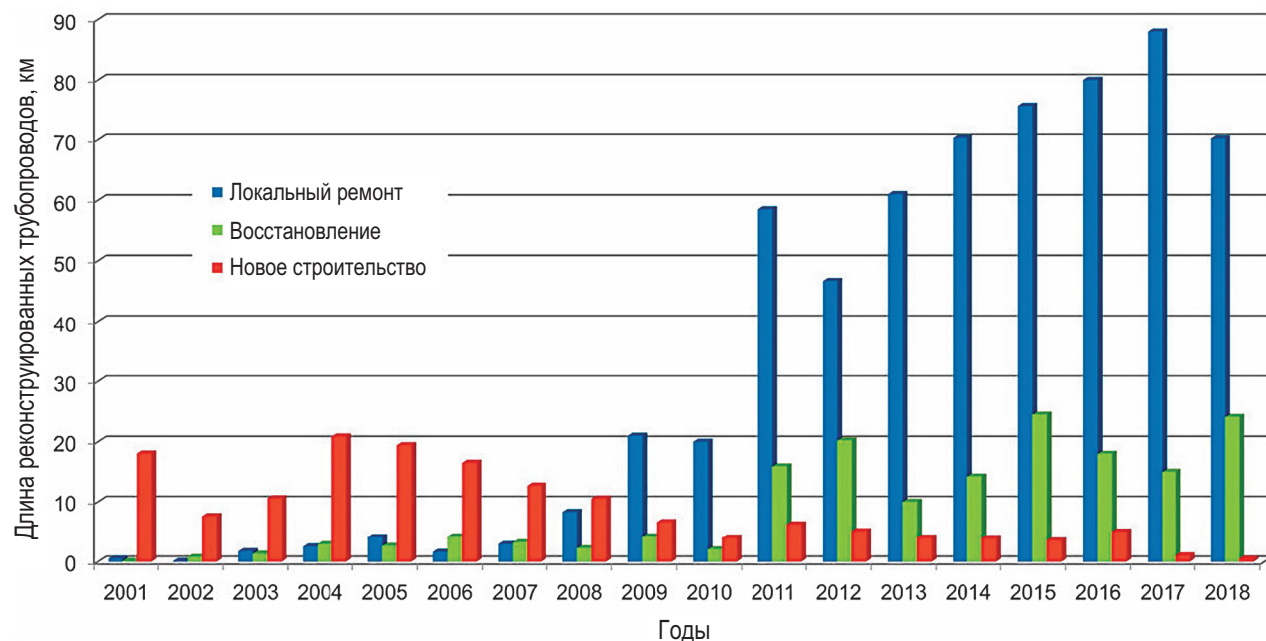
Из рис. 1 следует, что в начале XXI в. при реконструкции канализационных сетей в Кёльне в основном практиковалась замена старых труб на новые преимущественно открытым способом. В течение последующих десятилетий произошли существенные изменения в структуре технологических решений, используемых управляющей компанией при капитальном ремонте систем водоотведения; акцент был сделан на применение бестраншейных технологий восстановления трубопроводов и, в первую очередь, технологий локального ремонта.

При локальном ремонте трубопроводов систем водоотведения применяются следующие технологии:

- инъектирование;
- установка манжет из нержавеющей стали;
- устранение повреждений с использованием специальных роботов;
- монтаж коротких полимерных рукавов.

В таблице приведены данные о частоте использования различных технологий локального ремонта при эксплуатации сетей водоотведения в г. Кёльн [8].

Как следует из таблицы, второе место по популярности, после специальных роботов, среди тех-



**Рис. 1.** Протяженность реконструированных трубопроводов наружной канализационной сети г. Кёльн (ФРГ) с использованием различных групп технологий [8]

Частота применения отдельных технологий локального ремонта на водоотводящих сетях г. Кёльн

Технология локального ремонта	Частота применения, %
Замена отдельных труб	0,8
Инъектирование	6,4
Нанесение покрытий	4,7
Применение специальных роботов	74,6
Монтаж коротких полимерных рукавов	11,9
Монтаж манжет из нержавеющей стали	1,6
Итого	100,0

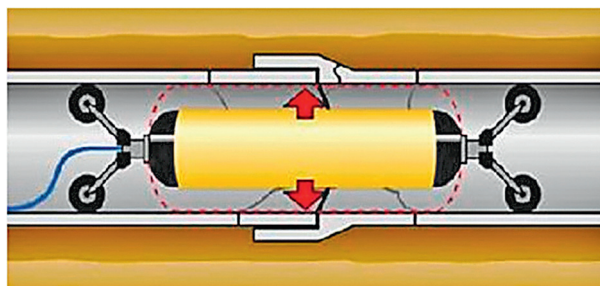


Рис. 2. Локальный ремонт трубопровода с использованием коротких полимерных рукавов

нологий локального ремонта непроходных канализационных трубопроводов занимают короткие полимерные рукава.

В безнапорных системах водоотведения средний срок службы коротких полимерных рукавов принимается равным пяти годам. В канализационных системах частных участков срок службы может достигать 20 лет.

Ремонт подземных трубопроводов короткими полимерными рукавами — это широко распространенная технология восстановления трубопроводов с использованием гибких полимерных рукавов, адаптированная для устранения локальных дефектов (повреждений). В процессе ремонта пропитанный реакционной смолой рукав (стекломат) прижимается к внутренней поверхности трубопровода (рис. 2) в месте расположения дефекта (повреждения). В результате отверждения реакционной смолы внутри трубопровода формируется водонепроницаемая композитная оболочка, которая фиксируется в результате химического или геометрического замыкания (в зависимости от вида используемых реакционных смол) [9–12].

В качестве коротких рукавов используют или гибкие полимерные рукава заводской готовности, или комплексы из различных текстильных материалов (иглопробивных, тканых и нетканых), которые обычно изготавливаются из коррозионностойкого стекловолокна (рис. 3) [2].

Транспортировка, позиционирование и фиксация короткого полимерного рукава производится с помощью специального пневматического устройства переменного диаметра — пакера (рис. 4).

При подаче сжатого воздуха увеличение диаметра пакера происходит от середины к краям, что необходимо для предупреждения образования складок.

Минимальная длина ремонтируемого участка: не менее 600 мм (если монтируется один короткий рукав) или 1300 мм при монтаже нескольких коротких рукавов.

Для пропитки коротких рукавов следует применять безусадочные реакционные смолы, устойчивые к транспортируемым сточным водам, их компонентам и продуктам протекающих в них реакций [13]. Чаще всего используются органо-силикатные смолы (занимают наибольшую долю рынка), эпоксидные смолы, ненасыщенные полиэфирные смолы, полиуретановые смолы и винилэфирные смолы. Процесс отверждения этих смол, как правило двухкомпонентных, можно ускорить с помощью третьего компонента — ускорителя отверждения, подобранного специально для данной смолы. Затвердевший композитный материал должен быть устойчив к струйной очистке водой под высоким давлением (до 80 бар).

Время отверждения композиции реакционных смол зависит от:

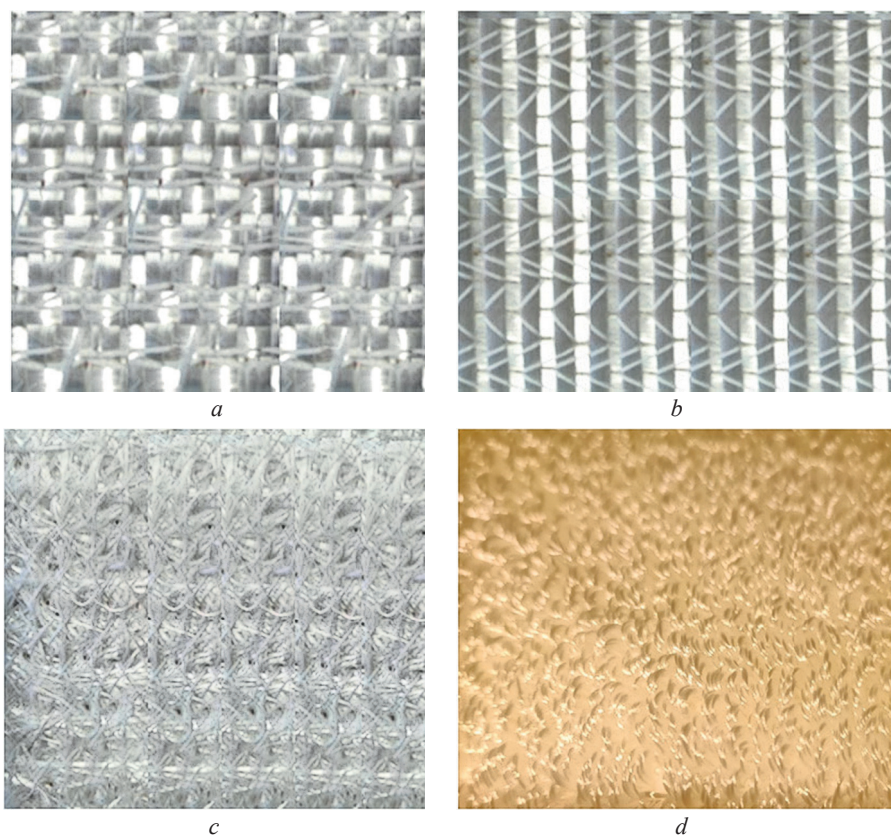
- температуры компонентов;
- температуры окружающей среды;
- температура основания;
- давления пакера.

Короткий рукав твердеет в среднем через  $\approx 3$  часа при  $+10^\circ\text{C}$  после приготовления композиции реакционных смол.

Короткие полимерные рукава обычно применяются при локальном ремонте канализационных трубопроводов из бетона, железобетона, керамики, фиброцемента, чугуна и стеклопластика номинальным диаметром от DN 70 до DN 800 для устранения следующих повреждений:

- продольных и поперечных трещин;
- негерметичных раструбных соединений;
- негерметичных примыканий;
- источников инфильтрации грунтовых вод и эксфильтрации сточных вод;
- коррозионных повреждений внутренней поверхности трубопровода.





**Рис. 3.** Материалы основы коротких полимерных рукавов: *a* — тканый стекломат, плотность 1050 г/м<sup>2</sup>; *b* — тканый стекломат, плотность 1080–1400 г/м<sup>2</sup>; *c* — иглопробивной стекломат; *d* — тканый полимерный мат с вязаной основой



**Рис. 4.** Ремонтные пакеры для монтажа коротких рукавов: *a* — пакер с опорными катками; *b* — пакер для проталкивания в трубопровод; *c* — пакер с водопропускным каналом; *d* — пакер для ремонта криволинейных участков трубопровода

Монтаж короткого рукава производится в несколько этапов:

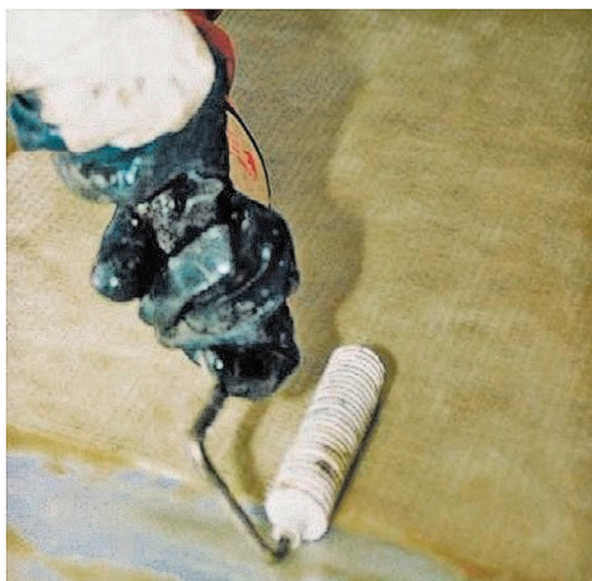
- подготовительные работы;
- выбор и подготовка пакера;
- раскрой основы;
- приготовление композиции реакционных смол;
- ламинирование основы;
- намотка ламината на пакер;
- позиционирование пакера в трубопроводе;
- демонтаж пакера.

На этапе подготовительных работ производится тщательная очистка поврежденного участка

от всех отложений и засоров. Обычно используют струйную очистку водой под высоким давлением или механическую очистку. Дополнительно рекомендуется выполнять сплошную механическую обработку (например, используя робот для фрезерных работ) не менее 10 см по периметру ремонтируемого участка, а в середине — в виде сетки, т.е. осевыми и радиальными волнами так, чтобы было обработано не менее 50 % поверхности. Качественная очистка и механическая обработка ремонтируемого участка обеспечивают прочное геометрическое замыкание поверхности трубопровода и композит-



*a*



*b*

**Рис. 5.** Пропитывание основы короткого полимерного рукава: *a* — распределение смолы шпателем; *b* — распределение смолы валиком

ной оболочки, а при использовании эпоксидных смол оптимальную адгезию короткого рукава к трубе.

После очистки проводится ТВ-инспекция для определения точного местоположения и геометрических размеров дефекта (повреждения) [14, 15].

На основании результатов ТВ-инспекции производится выбор пакера для монтажа короткого рукава. Длина короткого рукава не должна превышать 70 % длины пакера.

Перед монтажом короткого полимерного рукава следует проверить герметичность и раздуваемость пакера, после чего обязательно обернуть его защитной стрейч-пленкой.

Количество композиции реакционных смол и геометрические размеры основы для короткого полимерного рукава рассчитываются исходя из номинального диаметра ремонтируемого трубопровода, длины короткого рукава и требуемой толщины стенки рукава после отверждения (не менее 3 мм) в соответствии с рекомендациями разработчиков технологического решения.

При раскрое основы следует придерживаться следующих правил [2, 8]:

- дефект (повреждение) должен перекрываться с двух сторон минимум на 20 см;
- продольные трещины должны полностью перекрываться одним или несколькими короткими рукавами;
- раструбные соединения должны быть перекрыты минимум на 20 см;
- при монтаже последовательно нескольких рукавов внахлест должен составлять минимум 20 см;

- трехслойная структура основы применяется при использовании стекломатов с поверхностной плотностью;
- двухслойная структура основы применяется при использовании стекломатов с поверхностной плотностью  $> 1300 \text{ г/м}^2$ .

Соотношение компонентов композиции реакционных смол определяется производителем смолы (обычно в единицах объема). Перемешивание композиции производится насадкой миксера на малых оборотах около двух минут до однородного состояния. При перемешивании следует избегать образования пузырей. Готовую композицию следует несколько раз перелить из одной емкости в другую.

Пропитывание основы короткого полимерного рукава проводят в рабочей зоне на плоском основании, укрытом пленкой. Композиция реакционных смол порциями выливается на поверхность основы и шпателем/валиком распределяется равномерным слоем (рис. 5). Особое внимание следует обратить на края.

Пропитанная композицией реакционных смол и сложенная согласно рекомендациям разработчика технологического решения основа наматывается на пакер и фиксируется подходящими средствами (например, клейкой лентой, обвязочной проволокой) (рис. 6).

Перед намоткой рукава защитную пленку пакера следует обработать вазелином. Синтетические средства не применять. Затем пакер вставляется в трубопровод, транспортируется к поврежденному участку под контролем телевизионной камеры (рис. 7).

Точное позиционирование пакера с рукавом имеет решающее значение для полного покрытия коротким





Рис. 6. Наматывание основы на пакер

рукавом поврежденного участка. После позиционирования пакер надувается, прижимая короткий рукав к стенке трубы. Весь процесс контролируется ТВ-камерой. До полного отверждения рукава пакер должен обеспечить его плотное прилегание к внутренней стенке трубы. После отверждения композиции реакционных смол давление в пакере сбрасывается и он извлекается из трубопровода.

Короткий рукав должен быть прижат к стенке трубы до полного отверждения реакционной смолы. После завершения реакции полимеризации из пакера выпускается воздух, он извлекается из трубы, в то время как затвердевший рукав остается в трубе и закрывает поврежденный участок.

Оборудование и инструмент подлежат очистке сразу после контакта с реакционной смолой. Для



Рис. 7. Втягивание пакера в трубопровод

очистки следует использовать специальный растворитель.

Следует также иметь в виду, что затвердевший материал можно удалить только механическим образом.

Ремонт безнапорных трубопроводов с использованием коротких рукавов — это проверенная технология для быстрого и экономичного ремонта канализационных трубопроводов. Соблюдение требований разработчика системного решения и технологического процесса, применение качественных материалов, выполнение работ квалифицированными специалистами, документирование работ гарантируют высокое качество и безопасность санации.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Dr.-Ing. Pecher und Partner: BMBF-Verbundvorhaben "Entwicklung einer ganzheitlichen Sanierungsstrategie für Entwässerungsnetze Deutschlands KANSAS". Schlussbericht, 2005. URL: <https://pecherundpartner.de/de/leistungen/forschung-und-software/kansas/> (дата обращения: 01.08.2025).
2. Захаров Ю.С., Орлов В.А. Ремонт и восстановление самотечных водоотводящих сетей : монография. М. : Издательство АСВ, 2023. 266 с.
3. Храменков С.В., Орлов В.А., Харькин В.А. Оптимизация восстановления водоотводящих сетей. М. : Стройиздат, 2002. 160 с.
4. Stein R. Paradigmenwechsel im Asset Management von Entwässerungssystemen. 2023. URL: <https://de.linkedin.com/pulse/paradigmenwechsel-im-asset-management-von-ent-wässerungssysteme-kusqe> (дата обращения: 01.08.2025)
5. DWA-A 143-1. Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. Teil 1: Planung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen. 2015.
6. DWA-A 143-14. Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. Teil 14: Entwicklung einer Sanierungsstrategie. 2017. Stand: korrigierte Fassung. 2018.
7. DIN EN 752. Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Kanalmanagement. 2017.
8. URL: [www.steb-koeln.de](http://www.steb-koeln.de) (дата обращения: 01.08.2025).
9. Bezela W., Wehr L., Zech H. Leitfaden zur Sanierung von Abwasserkanalisationen. Umweltbundesamt, 2019. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-zur-sanierung-von-abwasserkanalisationen> (дата обращения: 01.08.2025).

10. DWA-A 143-7. Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. Teil 7: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Kurzliner, T-Stücke und Hutprofile (Anschlusspassstücke). 2017.
11. DWA-M 144-2. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) für die Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. Teil 2: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Reparaturverfahren. 2020.
12. DWA-M 144-7. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) für die Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. Teil 7: Kurzliner, T-Stücke und Hutprofile (Anschlusspassstücke). 2019.
13. СП 273.1325800.2016. Водоснабжение и водоотведение. Правила проектирования и производства работ при восстановлении трубопроводов гибкими полимерными рукавами (с Изменением № 1) (утв. Приказом Минстроя России от 3 декабря 2016 г. № 892/пр) // Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России). URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13861/> (дата обращения: 01.08.2025).
14. Захаров Ю.С. Информационно-аналитическая основа для разработки стратегии планирования реконструкции водоотводящей сети // БСТ: Бюллетень строительной техники. М., 2022. № 6 (1054). С. 30–33.
15. СП 272.1325800.2016. Системы водоотведения городские и поселковые. Правила обследования (утв. Приказом Минстроя России от 3 декабря 2016 г. № 877/пр) // Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России). URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13871/> (дата обращения: 01.08.2025).

Об авторах: **Юрий Сергеевич Захаров** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21, пом. 132; e-mail: [dr.yury.zakharov@yandex.ru](mailto:dr.yury.zakharov@yandex.ru);

**Дмитрий Юрьевич Захаров** — ведущий инженер; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21, пом. 132; e-mail: [dmitry.zakharov@ooo3s.ru](mailto:dmitry.zakharov@ooo3s.ru);

**Евгений Валерьевич Кухарчук** — ведущий инженер; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21, пом. 132; e-mail: [evgeniy.kukharchuk@ooo3s.ru](mailto:evgeniy.kukharchuk@ooo3s.ru).

## REFERENCES

1. Dr.-Ing. Pecher and Partners: BMBF joint project “Development of a holistic rehabilitation strategy for drainage networks in Germany KANSAS”. Final report. 2005. URL: <https://pecherundpartner.de/de/leistungen/forschung-und-software/kansas/> (accessed 01.08.2025) (de.).
2. Zakharov Yu.S., Orlov V.A. *Repair and restoration of gravity drainage networks : a monograph*. Moscow, Publishing House of the DIA, 2023; 266. (rus.).
3. Khramenkov S.V., Orlov V.A., Kharkov V.A. *Optimization of the restoration of drainage networks*. Moscow, Stroyizdat, 2002; 160. (rus.).
4. Stein R. *Paradigm shift in asset management of drainage systems*. 2023. URL: <https://de.linkedin.com/pulse/paradigmenwechsel-im-asset-management-von-ent-wässerungssysteme-kusqe> (accessed 01.08.2025) (de.).
5. DWA-A 143-1. Rehabilitation of drainage systems outside buildings. Part 1: Planning and monitoring of rehabilitation measures. 2015. (de.).
6. DWA-A 143-14. Rehabilitation of drainage systems outside buildings. Part 14: Development of a rehabilitation strategy. 2017. As of: corrected version. 2018. (de.).
7. DIN EN 752. Drainage systems outside buildings. Sewer management. 2017. (de.).
8. URL: [www.steb-koeln.de](http://www.steb-koeln.de) (accessed 01.08.2025). (de.).
9. Bezela W., Wehr L., Zech H. *Guidelines for the rehabilitation of sewers*. Umweltbundesamt, 2019. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-zur-sanierung-von-abwasserkanalisationen> (accessed 01.08.2025). (de.).
10. DWA-A 143-7. Rehabilitation of drainage systems outside buildings. Part 7: Repair of sewage pipes and sewers by short liners, tees and hat profiles (connecting fittings). 2017. (de.).
11. DWA-M 144-2. Additional Technical Contract Conditions (ZTV) for the rehabilitation of drainage systems outside buildings. Part 2: General Technical Contract Conditions for Repair procedures. 2020. (de.).
12. DWA-M 144-7. Additional Technical Contract Conditions (ZTV) for the renovation of drainage systems outside buildings. Part 7: Short liners, tees and hat profiles (connection fittings). 2019. (de.).
13. SP 273.1325800.2016. Water supply and sanitation. Rules for the design and production of work during the restoration of pipelines with flexible polymer hoses (with Amendment No. 1) (approved by Order of the Ministry of Con-

struction of the Russian Federation dated December 3, 2016 No. 892/pr). *Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Ministry of Construction of the Russian Federation)*. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13861/> (accessed 01.08.2025). (rus.).

14. Zakharov Yu.S. An information and analytical framework for the development of a strategy for planning the reconstruction of a drainage network. *BST: Bulletin of Construction Machinery*. Moscow, 2022; 6(1054):30-33. (rus.).
15. SP 272.1325800.2016. Urban and rural drainage systems. Survey Rules (approved by Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated December 3, 2016 No. 877/pr). *Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Ministry of Construction of the Russian Federation)*. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13871/> (accessed 01.08.2025) (rus.).

About the authors: **Yuri S. Zakharov** — Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher; **Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN)**; 21 132 Locomotivny proezd, Moscow, 127238, Russian Federation; e-mail: Dr.yuri.zakharov@yandex.ru;

**Dmitry Yu. Zakharov** — Leading Engineer; **Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Civil Engineering Sciences (NIISF RAASN)**; 21 132 Locomotivny proezd, Moscow, 127238, Russian Federation; e-mail: dmitry.zakharov@ooo3s.ru;

**Evgeny V. Kukharchuk** — Leading Engineer, Laboratory No. 16; **Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN)**; 21 132 Locomotivny proezd, Moscow, 127238, Russian Federation; e-mail: evgeniy.kukharchuk@ooo3s.ru.