устойчивой нитрификации-денитрификации. Опыт реконструкции очистных сооружений свидетельствует, что организация специализированных зон и интеграция загрузочных материалов позволяют повысить качество очистки в несколько раз при одновременном увеличении производительности. Перспективы дальнейших исследований связаны с оптимизацией типов носителей для обработки специфических производственных стоков и совершенствованием методов утилизации избыточной биопленки.

Список литературы

1 **Кульков, В. Н.** Динамика и видовой состав биоценоза иммобилизованного ила на ершовой загрузке. / В. Н. Кульков, Е. Ю. Солопанов, Р. Т. Камалов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2019. – Т. 9, № 1. – С. 60–66.

2 **Кульков, В. Н.** Применение каркасной загрузки для формирования иммобилизованного биоценоза в аэротенке / В. Н. Кульков, Е. Ю. Солопанов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 753–763.

3 Прогнозирование параметров регенерации плавающей загрузки в аэротенке / В. Н. Кульков, Е. Ю. Солопанов, В. И. Дударев, А. К. Майновская // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 635–644.

4 Обзор усовершенствованных гидродинамических систем в биореакторах с подвижным слоем (Moving Bed Biofilm Reactors, MBBR) для очистки сточных вод: перспективы развития // ScienceDirect. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343725014472 (дата обращения: 20.02.2026).

УДК:551.4(476.13)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСТРАНШЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В. Ю. КОРШУНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Проведение работ по восстановлению изношенных трубопроводов сопряжено с проблемами обеспечения безопасности, в том числе экологической, и восстановления благоустройства территории, нарушенного в результате прокладки инженерных сетей, а также с вопросами рационального использования финансовых ресурсов. Способ реконструкции трубопроводов путем открытой перекладки изношенных труб может успешно применяться для межпоселковых трубопроводов, в сельской местности, в небольших городах и населенных пунктах на улицах с минимальной плотностью подземных коммуникаций и неинтенсивным движением транспорта, проезд по которым несложно на некоторое время перекрыть.

Бестраншейные технологии по многим параметрам (экономичности, скорости строительства, экологичности и другим) превосходят открытый способ строительства, ремонта и реконструкции подземных трубопроводов любого назначения.

Основные преимущества бестраншейных технологий: возможность применения при наличии личных естественных и искусственных препятствий (реки, озера, овраги, лесные массивы и т. п.); длина участка, реконструируемого *бестраншейной* за один проход, может достигать 400 и более метров; применимость в нестабильных или тяжелых грунтовых условиях; отсутствие необходимости в проведении работ по водопонижению и откачке в условиях высокого стояния грунтовых вод; снижение риска повреждения существующих коммуникаций; исключение затрат на перенос существующих коммуникаций вследствие отсутствия необходимости проведения данного комплекса мероприятий; сохранение целостности твердых дорожных покрытий и зеленых насаждений, так как котлованы для монтажных операций устраиваются только в начале и конце восстанавливаемого участка трубопровода либо необходимость в котлованах полностью отсутствует ввиду возможности проведения работ между существующими колодцами [1].

При этом следует отметить, что применение полимерных материалов позволяет частично или даже полностью отказаться от антикоррозионных мероприятий, в том числе устройства электрохимической защиты (ЭХЗ) старой трубы и увеличения срока службы трубопровода, которые повышают его ремонтопригодность и удобство обслуживания. Реконструированные при помощи полимерных материалов трубопроводы обладают значительно более высокой, по сравнению со стальными, надежностью.

Указанные преимущества обусловливают тот факт, что в последние десятилетия при восстановлении изношенных трубопроводов все больше применяются бестраншейные технологии с применением полимерных материалов. Качественно проведенная реконструкция позволяет предотвратить внутреннюю коррозию металлических стенок трубопровода, обеспечить *высокий* уровень надежности без изменения основных технических характеристик, сохранить или улучшить качество транспортируемой среды [2].

В мировой практике известны следующие виды бестраншейной реконструкции изношенных трубопроводов: протяжка длинномерной трубы; протяжка плотно прилегающей к стенке изношенного трубопровода длинномерной полимерной трубы; протяжка заготовки в виде шланга (рукава), предварительно пропитанной специальной смолой, с последующим отверждением в форме трубы; протяжка короткими патрубками, свариваемыми в процессе санации; протяжка импрегнированных рукавов с нанесением на наружную поверхность адгезива; протаскивание нового трубопровода в поврежденный старый; нанесение различных покрытий на внутреннюю поверхность восстанавливаемого трубопровода; нанесение местных (не сплошных) покрытий [3]. Сравнительная оценка технологий прокладки наружных сетей приведена в таблице 1.

Таблица 1 – **Сравнительная оценка технологий прокладки наружных сетей**

Показатель	Траншейный метод	Бестраншейные технологии (ГНБ, прокол)
Время монтажа, дн./100 м	12–15	6–8
Нарушение благоустройства	Высокое	Низкое
Уровень шума и вибраций	Высокий	Средний
Срок службы, лет	30–40	40–50
Экологическое воздействие (1–5)	4,5	2,0
Применимость в плотной застройке	Ограниченная	Хорошая

Таким образом, бестраншейные технологии показали наилучшее сочетание технических и экологических характеристик.

Применяемые в бестраншейных технологиях трубы можно классифицировать на протягиваемые и продавливаемые. Бестраншейные технологии можно разделить на «рукавные» и с «напыляемыми покрытиями». Первый вариант подразумевает протаскивание в трубопровод полимерного рукава, например, ПЭ100-RC (трубы, шланга, чулка), который формирует «трубу в трубе», его фиксацию, восстановление подсоединений и т. д., а второй – напыление на внутреннюю поверхность старой трубы защитного покрытия. Для напыления используют цементные и цементно-песчаные, жидкие полимерные твердеющие покрытия, а также полимербетоны [3, 4].

Область применения метода центрирующего протяжного приспособления широка – диаметры санируемых трубопроводов могут быть от 150 до 1500 мм, причем величина давления в трубопроводе не ограничена. Технология внутренней цементно-песчаной облицовки труб эффективно применяется при восстановлении работоспособности (санировании) изношенных подземных стальных и чугунных трубопроводов хозяйственно-питьевого, горячего водоснабжения и напорной канализации для санирования старых, инкрустированных и корродированных труб, а также как защита от коррозии для новых труб и трубопроводов из стали и чугуна.

Работы по нанесению цементно-песчаных покрытий должны включать проведение подготовительных технических мероприятий, а также подготовку и приготовление компонентов смеси. Санация трубопровода методом цементно-песчаного покрытия приведена на рисунке 1.

Все технологии бестраншейной реконструкции можно разделить на сопровождаемые разрушением или удалением старых труб (например, технологии пайпбарстинга, либо способы с применением установок для горизонтального направленного бурения (ГНБ)) и сохраняющие старые трубы (например, релайнинг, «Феникс»).

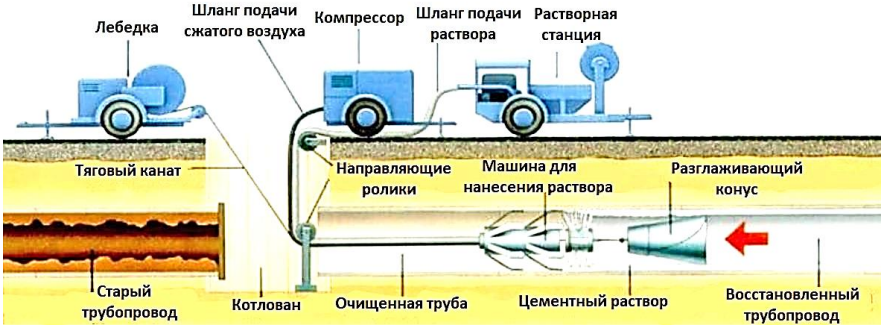


Рисунок 1 – Санация трубопровода методом цементно-песчаного покрытия

Каждому способу присущи как достоинства, так и ограничения, характерны определенные: состояние реконструируемого трубопровода; площадь защищаемой поверхности (зависит от того, реконструируется ли трубопровод по всему сечению или защитное покрытие наносится частично); стоимость; скорость реконструкции; климатические условия проведения работ и дальнейшей эксплуатации реконструированного трубопровода; стоимость используемого оборудования и материалов; потребность в квалифицированных специалистах и т. п.

Восстановление изношенных трубопроводов требует соблюдения экологической и технической безопасности, а также рационального использования финансовых ресурсов.

Бестраншейные технологии, напротив, обладают существенными преимуществами: они экономичнее, быстрее, экологичнее и позволяют выполнять реконструкцию без вскрытия дорожных покрытий и переноса существующих коммуникаций. Эти методы эффективны в сложных грунтовых условиях, при высоком уровне грунтовых вод и на участках с естественными и искусственными препятствиями.

Использование полимерных материалов в бестраншейной санации повышает долговечность и надёжность трубопроводов, снижает необходимость антикоррозионной защиты и улучшает эксплуатационные характеристики. Благодаря этому в последние десятилетия бестраншейные методы с применением полимерных рукавов, покрытий и протягиваемых труб получили широкое распространение в мировой практике.

Разнообразие технологий – от протяжки длинномерных труб до рукавной санации и нанесения внутренних покрытий – позволяет выбирать оптимальный способ восстановления в зависимости от состояния трубопровода и условий трассы, обеспечивая требуемый уровень надёжности и качества транспортируемой среды.

Список литературы

1 **Храменков, С. В.** Реконструкция трубопроводных систем / С. В. Храменков, О. Г. Примин, В. А. Орлов. – М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2008. – 216 с.

2 **Храменков, С. В.** Стратегия модернизации водопроводной сети / С. В. Храменков – М. : Стройиздат, 2005. – 398 с.

3 **Кудина, Е. Ф.** Защита газо-нефтепроводов от внешних повреждений. Ч 1. Полимерные материалы (обзор) / Е. Ф. Кудина // Нефтяник полесья. – 2013. – № 2 (24). – С. 88–93.

4 Review on Materials for Composite Repair Systems / V. P. Sergienko, S. N. Bukharov, E. Kudina [et al.] // Non-destructive Testing and Repair of pipelines / Edited by E. N. Barkanov, A. Dumitrescu, I. A. Parinov. – Springer International Publishing, 2018. – Pp. 169–189.

УДК 628.336:662.8

КОМПЛЕКСНАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД С ПОЛУЧЕНИЕМ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ: АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Д. И. ЛАГУН[1], Р. Н. ВОСТРОВА[1], А. Н. ПЕХОТА[2]

[1] Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

[2] Белорусский национальный технический университет, г. Минск,

pehota.an@bntu.by

Проблема обращения с осадками сточных вод (ОСВ) остаётся одной из наиболее острых в сфере экологии и городского хозяйства. Ежегодный прирост объёмов ОСВ, достигающий 2–10 % от количества поступающих на очистку вод, в сочетании с низким уровнем их полезного использования (не более 5 %) приводит к накоплению миллионов тонн отходов на иловых площадках и полигонах.

Это сопровождается эмиссией парниковых газов, загрязнением почв и подземных вод, а также отчуждением значительных территорий. В то же время осадки содержат до 80 % органических веществ и обладают теплотворной способностью, сопоставимой с традиционными видами твёрдого топлива – торфом и бурым углём [1–3]. Это позволяет рассматривать их как перспективный вторичный энергоресурс, вовлечение которого в хозяйственный оборот соответствует принципам циркулярной экономики и способствует снижению импортозависимости в энергетической сфере.

Установлено, что валовой состав ОСВ варьируется в широких пределах в зависимости от источника образования. Содержание углерода составляет 40–52 %, водорода – 2,3–5,7 %, кислорода – 12–34 %, азота – 1,5–2,5 %, серы – 0,5–1,2 %. Зольность колеблется от 21 до 35 %, исходная влажность достигает 70–80 % даже после механического обезвоживания [4]. Высокая