

А. Н. БУТОВКА
Д. А. КРЕТОВ
Б. В. ПОТАПОВ
Н. Н. РОЩИНА

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР НОРМАТИВНЫХ И МЕТОДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ: НА ПРИМЕРЕ ТРУБОПРОВОДОВ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

ANALYTICAL REVIEW OF REGULATORY AND METHODOLOGICAL DOCUMENTS IN THE FIELD OF ASSESSMENT OF THE LIFE CYCLE COST OF OBJECTS: ON THE EXAMPLE OF PIPELINES OF WATER SUPPLY AND SEWAGE NETWORKS

Представлен аналитический обзор российской и зарубежной научно-технической, нормативной, методической литературы, посвященной оценке стоимости жизненного цикла сетей водоснабжения и водоотведения. Рассматриваются подходы по оценке стоимости жизненного цикла (ОСЖЦ) систем водоснабжения и водоотведения в Российской Федерации и в других странах, проводится их сравнение, анализируются различные методические предложения, представленные в научной периодике, направленные на повышение точности методик ОСЖЦ систем водоснабжения и водоотведения. Детализованно рассматривается каждый из этапов жизненного цикла на предмет формирования стоимости в различных методиках. Оценивается возможность внесения дополнений и корректировок в действующую в Российской Федерации методическую базу по ОСЖЦ трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения на основе лучших международных практик и научно-технических предложений.

Ключевые слова: нормативный документ, оценка стоимости жизненного цикла, трубопровод, водоснабжение, водоотведение, канализация, системы водоснабжения и водоотведения

The article presents an analytical review of Russian and foreign scientific, technical, regulatory, and methodological literature devoted to the assessment of the life cycle cost of water supply and sewage networks. The approaches to the life cycle cost assessment of water supply and sewage systems in the Russian Federation and other countries are considered, compared, and various methodological proposals presented in scientific periodicals aimed at improving the accuracy of the life cycle cost assessment methods for water supply and sewage systems are analyzed. Each stage of the life cycle is considered in detail for cost formation in various methods. The possibility of making additions and adjustments to the current methodological base for the life cycle cost assessment of water supply and sewage networks pipelines in the Russian Federation is assessed based on the best international practices and scientific and technical proposals.

Keywords: regulatory document, life cycle cost assessment, pipeline, water supply, drainage, sewerage, water supply and sewage systems

В последние годы отмечается тенденция роста цен на материалы, предназначенные для строительства трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения, а также на услуги по их прокладке и эксплуатации. Это приводит к увеличению затрат на содержание систем водоснабжения и водоотведения, что ложится бременем на бюджеты как государственных, так и частных организаций.

В условиях ограниченных ресурсов управление всеми коммунальными, инфраструктур-

ными и промышленными объектами предполагается реализовать через их контроль и отслеживание на различных стадиях жизненного цикла с помощью оценки стоимости жизненного цикла (ОСЖЦ), а также через обеспечение надежности на всех этапах, так как современные системы водоснабжения и водоотведения должны быть не только экономичными, но надежными и безопасными, а также иметь длительный срок службы. ОСЖЦ позволяет учесть эти критерии при выборе материа-

лов и технологий строительства трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения.

Следует отметить, что в настоящее время активно разрабатываются новые материалы и технологии для строительства трубопроводов, которые могут быть более экономичными и долговечными. ОСЖЦ позволяет объективно оценить потенциал этих инноваций. Однако существующая нормативная база недостаточно полно регулирует вопросы ОСЖЦ трубопроводов.

Основные действующие нормативные документы по ОСЖЦ трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения

Основные определения термина «жизненный цикл» согласно отечественной и зарубежной нормативно-технической базе представлены в табл. 1.

Для анализа стоимости жизненного цикла необходимо определить его основные стадии, которые обеспечат структуру для детального моделирования жизненных циклов системы водоснабжения и водоотведения. Этапы жизненного цикла трубопроводов водоснабжения и водоотведения: планирование и проектирование; строительство; эксплуатация и техническое обслуживание; реконструкция и модернизация; вывод из эксплуатации и утилизация.

1. Планирование и проектирование

Этап планирования и проектирования включает анализ потребностей, выбор трассы трубопровода, расчет гидравлических характеристик, выбор мате-

риалов и оборудования. Важными документами на этом этапе являются СП 31.13330.2021, СП 32.13330.2018 и СП 129.13330.2019.

Основные мероприятия, производимые в рамках этапа:

- определение расчетного расхода воды на основе прогнозируемого потребления воды населением, промышленными предприятиями и другими потребителями;
- выбор оптимальной трассы с учетом рельефа, застроенности и существующих коммуникаций. Учитывается также минимизация воздействия на окружающую среду и необходимость минимизации издержек на строительство и эксплуатацию;
- проведение гидравлических расчетов для обеспечения достаточного давления и пропускной способности трубопровода. Определяются оптимальные диаметры труб, давление и скорости потока воды, чтобы обеспечить надежное и бесперебойное снабжение водой. Эти расчеты важны для предотвращения аварий и минимизации затрат на энергию;
- выбор материалов (чугун, сталь, полиэтилен, поливинилхлорид и др.) [1, 2] и оборудования (запорные клапаны, насосы и т. д.) должен соответствовать специфическим условиям эксплуатации и требованиям стандартов качества;
- учет экологических и санитарных норм.

2. Строительство

На этапе строительства необходимо соблюдение технологий и использование материалов, соответствующих стандартам качества. Основным документом, регламентирующим процесс

Таблица 1. Определения термина «жизненный цикл» в разных нормативных документах
Table 1. Definitions of the term “life cycle” in various regulatory documents

Документ	Определение
Федеральный закон № 384-ФЗ	Период, в течение которого осуществляются инженерные изыскания, проектирование, строительство (в т.ч. консервация), эксплуатация (в т. ч. ремонты), реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения
ГОСТ Р ИСО 14040	Последовательные и взаимосвязанные стадии системы жизненного цикла продукции от приобретения или производства из природных ресурсов или сырья до окончательного размещения в окружающей среде
ГОСТ Р 57193	Развитие системы, продукции, услуги, проекта и т. д. от замысла до списания
ГОСТ Р 57274.2/EN 15643-2	Период, в течение которого осуществляются последовательные взаимосвязанные стадии жизненного цикла рассматриваемого объекта
ГОСТ Р МЭК 60300-3-3	Ряд идентифицируемых стадий существования объекта от концепции и определения до утилизации

строительства трубопроводов водоснабжения и водоотведения, является СП 129.13330.2019.

Основные мероприятия, производимые в рамках этапа:

- проведение земляных работ в соответствии с проектной документацией;
- сборка и монтаж трубопроводов с соблюдением технологических регламентов;
- проведение гидравлических испытаний для проверки герметичности соединений.

3. Эксплуатация и техническое обслуживание

Регулярное техническое обслуживание и правильная эксплуатация являются ключевыми факторами для обеспечения надежности и долговечности трубопроводов. СП 517.1325800.2022 содержит совокупность требований и правил по проведению этих мероприятий. Справочно допускается использование СП 40-102-2000, так как указанный свод правил не является документом по стандартизации в Российской Федерации.

Основные мероприятия, производимые в рамках этапа:

- мониторинг состояния, который включает регулярные проверки состояния трубопровода (обходы и осмотры);
- профилактическая очистка – регулярная очистка трубопроводов от отложений и загрязнений, необходимая для поддержания их пропускной способности и предотвращения коррозии;
- ремонт и замена, которые включают проведение планового и внепланового ремонта, а также замену изношенных участков трубопровода;
- контроль качества воды – регулярные лабораторные анализы качества воды, необходимые для обеспечения соответствия санитарным нормам и требованиям безопасности;
- обучение персонала – регулярное обучение и повышение квалификации персонала, ответственного за эксплуатацию трубопроводов, что позволяет снизить риск аварий и повысить качество обслуживания.

4. Реконструкция и модернизация

Основные мероприятия, производимые в рамках этапа:

- оценка текущего состояния – проведение обследований и диагностики для определения состояния трубопровода и необходимости его реконструкции;
- проектирование реконструкции – разработка проекта реконструкции, включающего использование современных материалов и тех-

нологий, улучшение гидравлических характеристик и повышение энергоэффективности;

- выполнение работ – проведение работ по реконструкции с минимальным вмешательством в функционирование существующей системы. Это может включать замену труб, модернизацию насосных станций, установку новых систем автоматизации и контроля.

5. Вывод из эксплуатации и утилизация

Основные мероприятия, производимые в рамках этапа:

- оценка состояния и принятие решения о демонтаже;
- проведение работ по демонтажу с соблюдением экологических и санитарных норм;
- утилизация материалов с минимальным воздействием на окружающую среду.

Таким образом, жизненный цикл трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения охватывает множество этапов, каждый из которых требует внимательного подхода и соблюдения нормативных требований.

Проведенный авторами настоящей статьи в 2024 году анализ действующей нормативной базы, в частности СП 31.13330.2021, СП 32.13330.2018, СП 129.13330.2019, СП 399.1325800.2018, СП 517.1325800.2022, выявил существенный пробел в области ОЖЦ трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения. Нормативные документы не содержали четких требований к расчету данного показателя, что затрудняло принятие обоснованных инженерных решений и выбор оптимальных вариантов, в том числе при проведении закупок.

Для оценки заявок при проведении закупок одним из критериев выбора является стоимость жизненного цикла. Расчет стоимости жизненного цикла должен производиться с учетом методических рекомендаций.

В табл. 2 представлены определения термина «стоимость жизненного цикла», описанного в различных нормативных документах.

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 60300-3-3-2021 «Надежность в технике. Менеджмент надежности. Стоимость жизненного цикла» основная цель определения стоимости жизненного цикла состоит в том, чтобы помочь лицам, принимающим решения, в выборе наиболее подходящих альтернативных вариантов на всех этапах жизненного цикла изделия. Анализ затрат жизненного цикла добавляет ценность, если он помогает в принятии решений.

Обратимся к серии международных стандартов ISO 15686, которые охватывают различные аспекты оценки жизненного цикла зданий

Таблица 2. Определения термина «стоимость жизненного цикла»
в разных нормативных документах
Table 2. Definitions of the term “life cycle cost”
in various regulatory documents

Документ	Определение
ГОСТ Р 53394	Денежное выражение суммарных затрат, связанных с реализацией жизненного цикла изделия
ГОСТ Р 57274.1 (EN 15643-1:2010), ISO 15686-5	Стоимость здания или части строительной конструкции в процессе их жизненного цикла, при условии выполнения технических и функциональных требований
ГОСТ Р 54402	Приведенная (дисконтированная) накопленная сумма всех затрат на специальную деятельность или единицу оборудования в течение жизненного цикла. Примечание – Стоимость жизненного цикла означает сумму всех издержек, связанных с проектом в течение всего срока службы
ГОСТ Р 55654 (ИСО 16813:2006)	Реалистичная оценка стоимости актива (здания или его частей) на конец срока его полезного использования (на протяжении всего жизненного цикла, включающего стоимости предпроектной подготовки, проектирования, приобретения, введения в эксплуатацию, обслуживания и утилизации)
ГОСТ Р 52614.9 (ИСО 15686-1:2011)	Общая стоимость деятельности, процессов или услуг бизнес-кластера или их комбинации в течение его жизненного цикла при выполнении любых требований результативности. Примечание – Стоимость жизненного цикла может включать в себя затраты на планирование, проектирование, приобретение, эксплуатацию, техническое обслуживание и ликвидацию за вычетом остаточной стоимости
ГОСТ Р 70515/ISO/TS 50044:2019	Сумма накопленным итогом всех дисконтированных затрат, возникающих в связи с действием по улучшению энергетических результатов деятельности в течение жизненного цикла указанного действия. Примечание – Для проекта по экономии энергии дисконтированная стоимость жизненного цикла представляет собой сумму всех дисконтированных затрат на действия по улучшению энергетических результатов деятельности (EPIA) с рассмотрением соответствующего срока службы для них
ГОСТ Р МЭК 60300-3-3	Суммарные затраты на объект в течение всего его жизненного цикла

и сооружений. Ключевыми стандартами в этой серии являются:

- ISO 15686-1:2011 «Общие принципы и структура»;
- ISO 15686-5:2017 «Оценка стоимости жизненного цикла».

ISO 15686-5:2017 предлагает методику расчета затрат на протяжении всего жизненного цикла зданий и сооружений, включая сети водоснабжения и водоотведения. Для учета временной стоимости денег используется дисконтирование, позволяющее приводить будущие затраты к текущей стоимости. Анализ чувствительности проводится для оценки влияния изменения ключевых параметров (ставка дискон-

тирования, сроки эксплуатации, изменение затрат) на итоговую стоимость.

Формула для расчета LCC (СЖЦ):

$$LCC = C_{cap} + \sum_{i=1}^n \frac{C_{op,i}}{(1+r)^i} + \frac{C_{disp}}{(1+r)^n}, \tag{1}$$

где C_{cap} – капитальные затраты (первоначальные инвестиции); $C_{op,i}$ – операционные затраты в год; C_{disp} – затраты на утилизацию; r – ставка дисконтирования; n – срок службы системы.

Британский стандарт BS ISO 15686-5 детализирует методы и процессы, указанные в ISO 15686-5. Он включает в себя более практические

рекомендации и примеры применения. Стандарт применяет те же основные формулы, что и ISO 15686-5, с дополнительными уточнениями по расчету различных типов затрат и методам их дисконтирования. Особое внимание уделяется учету непредвиденных затрат и рисков. BS ISO 15686-5 содержит более детальные примеры расчетов, иллюстрирующие применение методологии оценки стоимости жизненного цикла в реальных проектах.

Методика оценки стоимости жизненного цикла для зданий и сооружений представлена в американском стандарте ASTM E917, разработанном Американским обществом по испытанию материалов (ASTM). Подход ASTM E917 охватывает весь жизненный цикл объекта, включая проектирование, строительство, эксплуатацию, техническое обслуживание и утилизацию, а также методы оценки и учета рисков и неопределенностей, связанных с будущими затратами и изменениями в условиях эксплуатации. Для приведения всех затрат к настоящей стоимости используется дисконтирование. Данный стандарт предоставляет практические примеры и кейс-стади, демонстрирующие применение методологии LCC в различных проектах.

Формула для расчета LCC:

$$LCC = IC + \sum_{i=1}^n \frac{OC_i + MC_i}{(1+d)^i} + \frac{RC}{(1+d)^n}, \quad (2)$$

где IC – начальные капитальные затраты; OC_i – операционные затраты в год; MC_i – затраты на техническое обслуживание в год; RC – затраты на утилизацию; d – ставка дисконтирования; n – срок службы системы.

Британский стандарт BS 8544:2013 предлагает методику оценки затрат на протяжении этапов эксплуатации и технического обслуживания. Документ содержит рекомендации по сбору информации об активах для конкретных результатов оценки стоимости обслуживания, а также по оценке и приоритетизации работ по обслуживанию.

Согласно международному стандарту ISO 21053:2019 «Анализ жизненного цикла и повторное использование труб из чугуна с шаровидным графитом для водоснабжения», устанавливающему требования жизненного цикла труб из ковкого чугуна для водоснабжения, стоимость жизненного цикла включает в себя затраты на приобретение, эксплуатацию, техническое обслуживание и утилизацию.

Формула для расчета:

$$C_L = C_A + C_O + C_M + C_E, \quad (3)$$

где C_A – стоимость приобретения; C_O – эксплуатационные расходы; C_M – стоимость технического обслуживания; C_E – расходы или доходы в конце срока службы.

Подробная разбивка по составляющим представлена на рис. 1.

С 1 июня 2020 г. на территории Российской Федерации действует национальный стандарт ГОСТ Р 58785–2019 «Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения», который устанавливает правила ОСЖЦ систем водоснабжения и водоотведения. Этот стандарт позволяет обосновывать выбор наиболее выгодных решений на всех этапах жизненного цикла объекта.



Рис. 1. Стоимость жизненного цикла согласно ISO 21053

Fig. 1. Life cycle cost according to ISO 21053

Согласно ГОСТ Р 58785–2019, стоимость жизненного цикла систем водоснабжения и водоотведения включает капитальные и эксплуатационные затраты, а также затраты на вывод объекта из эксплуатации:

$$СЖЦ = \sum_{t_1}^n \text{КАПИТ} + \sum_{t_2}^n \text{ЭКСПЛ} + C_d, \quad (4)$$

где КАПИТ – сумма капитальных затрат по статьям составляющих элементов стоимости жизненного цикла; ЭКСПЛ – сумма эксплуатационных затрат по статьям составляющих элементов стоимости жизненного цикла; C_d – стоимость затрат на конец расчетного периода стоимости жизненного цикла или стоимость затрат на вывод объекта водоснабжения и водоотведения из эксплуатации; n – расчетный период, лет; t_1, t_2 – соответственно начало этапов выполнения капитальных и эксплуатационных затрат.

Обзор основных нормативных документов показал, что существует широкий спектр стандартов и руководств, регулирующих оценку стоимости жизненного цикла сетей водоснабжения и водоотведения. Эти документы охватывают различные аспекты – от методологии расчета и учета затрат на всех этапах жизненного цикла до экологической оценки и обеспечения долговечности систем. По проведенному анализу можно заметить идентичность методов расчета как в зарубежных, так и в отечественных нормативных документах. Однако их применение не в полной мере обеспечива-

ет реализацию оценки стоимости жизненного цикла с учетом особенностей применения труб различных материалов в системах водоснабжения и водоотведения.

Существующие методики ОСЖЦ трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения

Распределение затрат стоимости жизненного цикла напорных трубопроводных систем водоотведения, согласно [3], представлено на рис. 2.

В статье [4] авторы рассуждают об оптимизации значений диаметров трубопроводов и скоростей движения воды и сточной жидкости в трубопроводах на основе затрат их жизненного цикла. Исследование определяет затраты жизненного цикла в системах водоснабжения и водоотведения через функции расхода и скорости транспортируемых продуктов. Полученные формулы позволяют рассчитать оптимальные скорости движения воды и сточных вод в трубах, учитывая затраты их жизненного цикла. Численные эксперименты подтвердили, что оптимальные скорости зависят от объемного расхода, стоимости электроэнергии и продолжительности жизненного цикла систем водоснабжения и водоотведения.

В работе [5] авторы исследуют возможности оптимизации затрат на протяжении всего жизненного цикла подземных стальных трубопроводов. Для этого они предлагают использовать вероятностное моделирование, по-

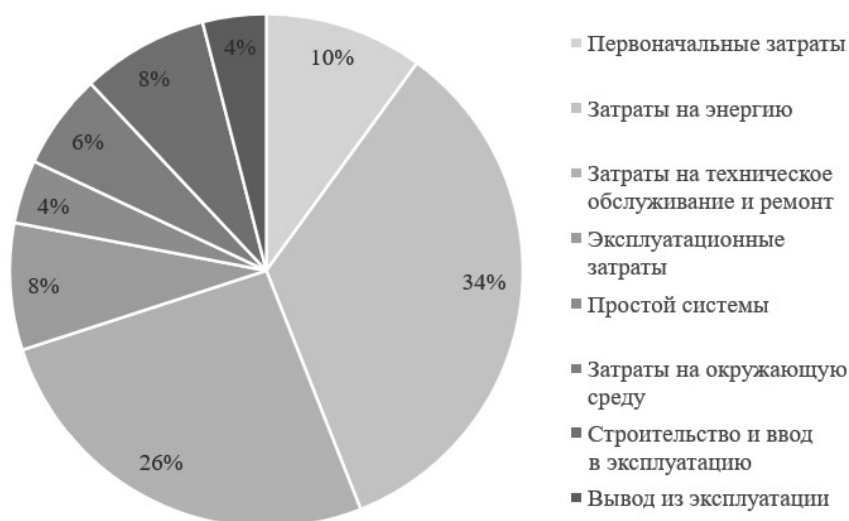


Рис. 2. Распределение стоимости в течение жизненного цикла напорной системы водоотведения [3]

Fig. 2. Distribution of costs during the life cycle of a pressure drainage system [3]

звolyющее прогнозировать надежность трубопроводов на длительном временном интервале. На основе полученных данных о текущем состоянии трубопровода и прогнозе его износа разрабатывается оптимальная стратегия обновления системы, направленная на минимизацию общих затрат и минимизацию рисков.

В статье [6] представлено сравнительное исследование зависимости стоимости жизненного цикла от диаметра трубопроводов из ковкого чугуна с внутренним цементным покрытием, стеклопластика и стали с внутренним цементным покрытием. Анализ графиков показал, что оптимальный диаметр для труб из ковкого чугуна с внутренним цементным покрытием составляет 800 мм. Для стальных труб с аналогичным покрытием оптимальный диаметр варьируется в зависимости от участка от 900 до 1200 мм. Энергозатраты также будут меньше при применении больших диаметров. Оптимальный диаметр стеклопластиковых труб составляет от 800 до 900 мм [6].

Немаловажным фактором, влияющим на оценку стоимости жизненного цикла трубопроводов водоснабжения и водоотведения, является материал, из которого изготовлены трубопроводы.

Так, например, информационно-аналитический центр RUPEC провел комплексное исследование стоимости жизненного цикла водопроводов водоснабжения и водоотведения этапов строительства и эксплуатации [7] в зависимости от материала исполнения. Был проведен сравнительный анализ различных материалов: стали, чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) и полиэтилена (ПЭ100).

В исследовании [7] представлена подробная структура расчета стоимости жизненного цикла трубопроводов. Она включает в себя следующие основные составляющие:

- стоимость приобретения труб;
- затраты на прокладку;
- эксплуатационные расходы;
- затраты на устранение аварий;
- проектные расходы;
- компенсация утечек.

Также в исследовании [7] была проанализирована стоимость рассматриваемых труб. Согласно анализу, стальные трубы оказались наиболее экономичными для больших диаметров (свыше 500 мм), а полиэтиленовые – для малых (от 100 до 400 мм). При этом трубы из ВЧШГ при диаметре более 400 мм являются самыми дорогими.

В рамках исследования [7] также были проанализированы затраты на прокладку и монтаж трубопроводов водоснабжения и водоотведения в зависимости от материалов исполнения.

Затраты для стальных труб оказываются выше в связи с необходимостью электросварочных работ. Трубы из ВЧШГ проще монтировать из-за раструбного соединения, при котором нет необходимости в высокой квалификации рабочих. Полиэтиленовые трубы легче по весу, что отражается на простоте монтажа, но требуют специальных навыков при соединении труб.

Стоимость строительства трубопроводов в значительной степени зависит от региона прокладки. Строительство трубопровода в сельской местности обходится значительно дешевле, чем строительство аналогичного в развитом городском районе, в связи с невозможностью рытья траншей открытым способом в городской среде из-за густой застройки и наличия подземных коммуникаций [8]. Соответственно возникает необходимость в применении бестраншейных методов, что может повысить затраты на этапе строительства.

При эксплуатации трубопроводов возникают затраты на прокачку воды, включающие в себя два фактора: поддержание проектного расхода и компенсацию утечек. При проектировании расхода необходимо учитывать, что дополнительные затраты связаны с потерей давления воды из-за трения о стенки труб. Соответственно для поддержания проектного расхода необходимо увеличивать скорость потока жидкости.

Повышение скорости потока жидкости приводит к увеличению энергозатрат на перекачку воды, что негативно сказывается на экономической эффективности системы водоснабжения. Кроме того, повышенное давление в сети может привести к авариям и сокращению срока службы трубопровода.

Немаловажный показатель труб – шероховатость, ведь чем меньше данный показатель, тем меньшее количество энергии необходимо на прокачку жидкости, а соответственно и меньшие затраты на электрическую энергию, потребляемую насосами в случае напорных трубопроводных систем.

Так, на основе анализа нормативного и справочного материала была составлена табл. 3, содержащая значения коэффициентов эквивалентной шероховатости для различных материалов трубопровода.

Согласно таблице, наименьшую шероховатость имеют трубы из полиэтилена, наибольшую – трубы из стали с внутренним цементно-песчаным покрытием и высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и с внутренним цементно-песчаным покрытием. Соответственно стоимость прокачки жидкости по полиэтиленовым трубам меньше, в сравнении с другими материалами труб.

Таблица 3. Значения коэффициентов эквивалентной шероховатости для труб из различных материалов, представленные в существующих нормативных документах и литературе
Table 3. Values of equivalent roughness coefficients for pipes made of different materials, presented in existing regulatory documents and literature

Материал трубы	Коэффициент эквивалентной шероховатости в соответствии с нормативной или справочной документацией K_z , мм	Нормативный или справочный документ
ВЧШГ с ЦПП	0,15	СП 66.13330.2011
Серый чугун	0,25–1	[9]
	0,47	[10]
Сталь новая	0,04–0,1	[9]
	0,03–0,12	[11]
Сталь с ЦПП	0,3–0,8	[9]
	0,184	[12]
Сталь, бывшая в эксплуатации	0,138	[10]
	0,1–0,15	[9]
НПВХ	0,008	СП 399.1325800.2018
ПВХ-О	0,008	СП 399.1325800.2018
Полиэтилен	0,014	СП 399.1325800.2018
Стеклопластик	0,1	СП 40-104-2001
	0,025	ГОСТ Р 54560–2015

Со временем пропускная способность труб снижается из-за коррозии и образования отложений. Шероховатость труб со временем увеличивается:

$$k_t = k_0 + \alpha t, \tag{5}$$

где k_0 – абсолютная шероховатость для новых труб, мм; k_t – шероховатость через t лет эксплуатации; α – коэффициент, характеризующий быстроту возрастания шероховатости, мм/год.

В статье [13] представлена методика расчета затрат на потребляемую электрическую энергию с учетом роста тарифа. Расчетная формула имеет следующий вид:

$$C_e = N_{cp} \cdot 24 \cdot 365 \cdot T_0 \sum_{i=0}^{n-1} \left(1 + \frac{\gamma}{100 \%}\right)^i, \tag{6}$$

где N_{cp} – среднегодовая потребляемая мощность, кВт; n – период расчета, лет; T_0 – тариф на электроэнергию на момент расчета, руб./кВт·ч; γ – ежегодное удорожание электроэнергии, %.

Еще один фактор – потери воды в системе водоснабжения, которые приводят к дополнительным финансовым затратам. Это связано

с необходимостью постоянно докачивать воду в систему для компенсации утечек.

Следующим фактором, влияющим на стоимость жизненного цикла, являются аварии. При возникновении аварий на водопроводных сетях эксплуатирующим организациям приходится решать сложные задачи по восстановлению водоснабжения. Это может потребовать переключения потребителей на резервные линии при строительстве временных обходов, что сказывается на полной стоимости жизненного цикла.

Наибольшие затраты на устранение аварий на протяжении жизненного цикла требуют стальные трубопроводы. Это связано с внешней и внутренней коррозией стенок. Другим слабым местом является электрохимическая коррозия и образование свищей. Стоит отметить, что нормативный срок службы стальных трубопроводов, согласно СП 129.13330.2019, составляет порядка 30 лет, что в значительной степени меньше, чем у труб из ВЧШГ (до 100 лет) или полиэтиленовых (до 100 лет), а также меньше, чем у труб из непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ) или молекулярно-ориентированного поливинилхлорида (ПВХ О) (до 50 лет). Это означает, что при сравнении полной стоимости жизненного цикла необходимо учи-

тывать затраты на реконструкцию стального трубопровода в связи с окончанием его срока службы. Наиболее экономичными при рассмотрении данного фактора являются трубы из полиэтилена, в основном в связи с тем, что они не подвержены коррозии и не требуют больших затрат на ее устранение.

Стоит отметить, что существует несколько интерактивных программ, позволяющих производить оценку стоимости жизненного цикла. Так, например, в работе [14] описывается программное обеспечение LICAN (Life cycle Cost Analysis of Networks), разработанное Австралийским Государственным объединением научных и прикладных исследований (CSIRO). Программа разработана в качестве простой компьютерной модели, которая иллюстрирует влияние выбора альтернативных материалов для трубопроводов на общую стоимость.

В исследовании [15] ученые разработали программное обеспечение AQUA Hydraulic Utilities, которое определяет стоимость жизненного цикла путем расчета чистой приведенной стоимости (NPV) и внутренней нормы доходности (IRR) для различных трубопроводных систем.

Выводы

1. Методики оценки стоимости жизненного цикла трубопроводов водоснабжения и водоотведения имеют множество схожих аспектов, однако они не адаптированы должным образом, что ведет к невозможности проведения корректного расчета стоимости жизненного цикла трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения.

2. В Российской Федерации действует нормативный документ, регламентирующий полный расчет стоимости жизненного цикла систем водоснабжения и водоотведения, а именно ГОСТ Р 58785–2019. Однако при использовании данного стандарта имеются сложности с получением некоторых исходных данных, что не позволяет должным образом произвести вычисления отдельных составляющих стоимости жизненного цикла трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения по предложенной методике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шувалов М.В., Тараканов Д.И. Применение труб из различных материалов для устройства водопроводных сетей // Градостроительство и архитектура. 2023. Т.13, № 1. С.53–59. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.7.

2. Бутовка А.Н., Кретов Д.А., Морозова С.С. Применение стеклопластиковых труб в системах водоотведения: свойства материала и обзор нормативных требований // Градостроительство и архитектура. 2025. Т. 15, № 1. С. 58–68. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.01.09.

3. Life Cycle Costs (LCC) for wastewater pumping systems [Электронный ресурс]. URL: <https://www.xylem.com/siteassets/support/tekniska-rapporter/white-papers-pdf/life-cycle-costs-lcc-for-wastewater-pumping-systems.pdf> (дата обращения: 04.06.2024).

4. Чулин В.Р., Мартыанов В.И., Матвеева М.В. Оптимизация параметров систем водоотведения на основе минимизации затрат их жизненного цикла // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. № 12(1). С. 104–113. DOI: 10.21285/2227-2917-2022-1-104-113.

5. Tee K.F., Khan L.R., Chen H.P., Alani A.M. Reliability based life cycle cost optimization for underground pipeline networks. Tunnelling and Underground Space Technology. 2014. V. 43. P. 32–40. DOI: 10.1016/j.tust.2014.04.007.

6. Elsebaie I.H., Al-Khomairi A. Optimization of pipeline lifecycle cost using alternatives with different life spans. Water Supply. 2022. V. 22. I. 2. P. 1835–1847. DOI: 10.2166/ws.2021.305.

7. Костин А.А. Трубные полимеры в городском ЖКХ 2015–2025 [Электронный ресурс]. URL: <https://rupec.ru/articles/> (дата обращения: 04.06.2024).

8. Haas K. Lifecycle cost and performance of plastic pipelines in modern water infrastructure. Davis: University of California. 2012. 34 p.

9. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. Л.: Стройиздат, 1973. 408 с.

10. Добромислов А.Я. Таблицы для гидравлических расчетов безнапорных труб из полимерных материалов. М.: ТОО «Издательство ВНИИМП», 2004. 128 с.

11. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. М.: Недра, 1982. 224 с.

12. Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб. Изд. 5-е, доп. М.: Стройиздат, 1973. 112 с.

13. Устюжанин А.В., Королева Е.А., Баженов В.И. Показатели стоимости жизненного цикла для обоснования проектов строительства воздухоудовных станций // Системные технологии. 2018. № 27. С. 5–13.

14. Ambrose M., Burn S., Desilva D., Rahilly M. Life cycle analysis of water networks. Proceedings of the 14th Plastics Pipes Conference. 2008. P. 1–11.

15. Vuuren S.J., Dijk M. Life cycle costing analyses for pipeline design and supporting software. Report to the Water Research Commission. University of Pretoria. 2006. 37 p.

REFERENCES

1. Shuvalov M.V., Tarakanov D.I. Using Pipes from Various Materials for Water Supply Network. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 1, pp. 53–59. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.7
2. Butovka A.N., Kretov D.A., Morozova S.S. Use of fiberglass pipes in water disposal systems: material properties and review of regulatory requirements. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2025, vol. 15, no. 1, pp. 58–68. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2025.01.09
3. *Life Cycle Costs (LCC) for wastewater pumping system*. Available at: <https://www.xylem.com/siteassets/support/tekniska-rapporter/white-papers-pdf/life-cycle-costs-lcc-for-wastewater-pumping-systems.pdf> (accessed 04 June 2024).
4. Chupin V.R., Martyanov V.I., Matveeva M.V. Optimization of parameters of water disposal systems based on minimization of their life cycle costs. *Izvestija vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* [News of universities. Investments. Construction. Real estate], 2022, no. 12(1), pp. 104–113. (in Russian) DOI: 10.21285/2227-2917-2022-1-104-113
5. Tee K.F., Khan L.R., Chen H.P., Alani A.M. Reliability based life cycle cost optimization for underground pipeline networks. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2014. V. 43. P. 32–40. DOI: 10.1016/j.tust.2014.04.007
6. Elsebaie I.H., Al-Khomairi A. Optimization of pipeline lifecycle cost using alternatives with different life spans. *Water Supply*. 2022. V. 22. I. 2. P. 1835–1847. DOI: 10.2166/ws.2021.305
7. Kostin A.A. *Pipe polymers in urban housing and communal services 2015–2025*. Available at: <https://rupec.ru/articles/> (accessed 04 June 2024).
8. Haas K. *Lifecycle cost and performance of plastic pipelines in modern water infrastructure*. Davis: University of California. 2012. 34 p.
9. Kurganov A.M., Fedorov N.F. *Spravochnik po gidravlicheskim raschetam sistem vodosnabzhenija i kanalizacii* [Handbook on hydraulic calculations of water supply and sewerage systems]. Leningrad, Stroyizdat, 1973. 408 p.
10. Dobromyslov A.Ya. *Tablicy dlja gidravlicheskih raschetov beznapornyh trub iz polimernyh materialov* [Tables for hydraulic calculations of free-flow pipes made of polymer materials]. Moscow, VNIIMP Publishing House LLP, 2004. 128 p.
11. Altshul A.D. *Gidravlicheskie soprotivlenija* [Hydraulic resistances]. Moscow, Nedra, 1982. 224 p.
12. Shevelev F.A. *Tablicy dlja gidravlicheskogo rascheta stal'nyh, chugunnyh, asbestcementnyh, plastmassovyh i stekljannyh vodoprovodnyh trub. Izd. 5-e, dop.* [Tables for hydraulic calculation of steel, cast iron, asbestos cement, plastic and glass water pipes. Ed. 5th, add.]. Moscow, Stroyizdat, 1973. 112 p.
13. Ustyuzhanin A.V., Koroleva E.A., Bazhenov V.I. Life cycle cost indicators for substantiation of projects for construction of air blowing stations. *Sistemnye tehnologii* [System Technologies], 2018, no. 27, pp. 5–13. (in Russian)
14. Ambrose M., Burn S., Desilva D., Rahilly M. Life cycle analysis of water networks. *Proceedings of the 14th Plastics Pipes Conference*. 2008. P. 1–11.
15. Vuuren S.J., Dijk M. Life cycle costing analyses for pipeline design and supporting software. Report to the Water Research Commission. University of Pretoria. 2006. 37 p.

Об авторах:

БУТОВКА Алексей Николаевич

первый заместитель генерального директора
Всесоюзный научно-исследовательский институт
по строительству,
эксплуатации трубопроводов и объектов
ТЭК – инжиниринговая нефтегазовая компания
107078, Россия, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный
округ Красносельский, ул. Новая Басманная, 23А, стр. 3
E-mail: butovka@vniist.ru

КРЕТОВ Дмитрий Александрович

кандидат технических наук, директор центра
технологии и нормативного обеспечения строительства
Всесоюзный научно-исследовательский институт
по строительству,
эксплуатации трубопроводов и объектов
ТЭК – инжиниринговая нефтегазовая компания
107078, Россия, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный
округ Красносельский, ул. Новая Басманная, 23А, стр. 3
E-mail: d.kretov@vniist.ru

ПОТАПОВ Борис Васильевич

доктор технических наук, ученый секретарь
Всесоюзный научно-исследовательский институт
по строительству,
эксплуатации трубопроводов и объектов
ТЭК – инжиниринговая нефтегазовая компания
107078, Россия, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный
округ Красносельский, ул. Новая Басманная, 23А, стр. 3
E-mail: bpotapov@vniist.ru

РОЩИНА Надежда Николаевна

старший научный сотрудник
Всесоюзный научно-исследовательский институт
по строительству,
эксплуатации трубопроводов и объектов
ТЭК – инжиниринговая нефтегазовая компания
125319, Россия, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный
округ Аэропорт, 4-я улица 8 Марта, 3, стр. 1
E-mail: n.roshchina@vniist.ru

BUTOVKA Alexey N.

First Deputy General Director
All-Union Research Institute for Construction,
Operation of Pipelines and Fuel & Energy Complex
Facilities – Engineering Oil & Gas Company
107078, Russia, Moscow, int. ter. Krasnoselsky municipal
district, Novaya Basmannaya st., 23A, b. 3
E-mail: butovka@vniist.ru

KRETOV Dmitry Al.

PhD in Engineering Sciences, Director of the Center
for Technology and Regulatory Support of Construction
All-Union Research Institute for Construction, Operation
of Pipelines and Fuel & Energy Complex Facilities –
Engineering Oil & Gas Company
107078, Russia, Moscow, int. ter. Krasnoselsky municipal
district, Novaya Basmannaya st., 23A, b. 3
E-mail: d.kretov@vniist.ru

POTAPOV Boris V.

Doctor of Engineering Sciences, Scientific Secretary
All-Union Research Institute for Construction,
Operation of Pipelines and Fuel & Energy Complex
Facilities – Engineering Oil & Gas Company
107078, Russia, Moscow, int. ter. Krasnoselsky municipal
district, Novaya Basmannaya st., 23A, b. 3
E-mail: bpotapov@vniist.ru

ROSHINA Nadezhda N.

Senior Researcher
All-Union Research Institute for Construction,
Operation of Pipelines and Fuel & Energy Complex
Facilities – Engineering Oil & Gas Company
125319, Russia, Moscow, ext. ter. Airport municipal
district, 4th street 8 March, 3, b. 1
E-mail: n.roshchina@vniist.ru

Для цитирования: Бутовка А.Н., Кретов Д.А., Потапов Б.В., Рощина Н.Н. Аналитический обзор нормативных и методических документов в области оценки стоимости жизненного цикла объектов: на примере трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения // Градостроительство и архитектура. 2025. Т. 15, № 3. С. 43–53. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.06.

For citation: Butovka A.N., Kretov D.A., Potapov B.V., Roshchina N.N. Analytical review of regulatory and methodological documents in the field of assessment of the life cycle cost of objects: on the example of pipelines of water supply and sewage networks. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2025, vol. 15, no. 3, pp. 43–53. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.06.

Принята: 22.04.2025 г.