

УДК 679.18

Баженов В.И.¹, д.т.н., профессор, исполнительный директор,
Штепа В.Н.², д.т.н., доцент, заведующий кафедрой
безопасности жизнедеятельности,

Охтилев М.Ю.³, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
компьютерных технологий и программной инженерии

¹АО «Водоснабжение и водоотведение», руководитель
секции ЭТС РАВВ, Москва, Россия;

²Белорусский государственный технологический
университет, Минск;

³ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения», Санкт-Петербург, Россия

ОЦЕНКА СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Представлены основные положения стандарта РФ ГОСТ Р 58785-2019 «Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» с целью распространения отраслевого опыта в рамках потребности Республики Беларусь. Его использование перспективно при проведении открытых конкурсов по определению исполнителя работ по поставке, проектированию, строительству и ремонту объектов водоснабжения и водоотведения. Проблемы использования критерия «стоимость жизненного цикла» (далее – СЖЦ) заключается в сложности его оценки и отсутствии соответствующих инструкций, закрепленных нормативными актами. Однако проблемы устранимы на уровне разработки конкретных методик.

Введение. Стоимость жизненного цикла (далее – СЖЦ) является критическим показателем для инфраструктурных объектов водоснабжения и водоотведения (ВиВ). Оценка СЖЦ охватывает весь период эксплуатации – от проектирования и строительства до вывода из эксплуатации. СЖЦ включает капитальные затраты, эксплуатационные расходы, затраты на техническое обслуживание, модернизацию и утилизацию.

В Республике Беларусь сравнительно давно созрела необходимость использования параметра СЖЦ [1, 2]. С этой точки зрения разработку отраслевых нормативных документов полагаем актуальной задачей.

Международные организации, такие как ISO и ASTM, предлагают унифицированные методы оценки СЖЦ для различных типов инфраструктуры: ISO 15686-5 – методика прогнозирования затрат на протяжении жизненного цикла в строительстве; ASTM E917 – принципы экономического анализа совокупной стоимости владения; EN 60300-3-3 – руководство по управлению надежностью и жизненным циклом (принят за основу ГОСТ Р МЭК 60300-3-3-2021 «Надежность в технике. Менеджмент надежности. Стоимость жизненного цикла»).

К современным методам расчета жизненного цикла относятся:

– анализ полной стоимости владения (Total Cost of Ownership, TCO), позволяющий учитывать все прямые и косвенные затраты, связанные с владением и эксплуатацией объектов;

- применение цифровых технологий и BIM (ТИМ), позволяющий прогнозировать затраты и оптимизировать управление объектами;
- оптимизация затрат с учетом экологических факторов LCA (Life Cycle Assessment), применяющийся для учета углеродного следа и экологического воздействия.

Однако, в ВКХ требуется оценивать *стоимости закупок и услуг*, т.е. определять составляющие затрат СЖЦ для различных вариантов *конкурсных процедур* (объекты ВиВ – оборудование, товар, материал, комплектующее изделие или капитальный объект ВКХ). Так, в России был разработан нормативный документ ГОСТ Р 58785-2019 «Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» определяет СЖЦ для учета процедур и ограничений Федерального закона № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» [3]. Его используют при проведении открытых конкурсов по определению исполнителя работ по поставке, проектированию, строительству и ремонту объектов ВиВ. Выполнена адаптация общепринятой аббревиатуры, что упрощает процедуру участия зарубежных представителей в российских конкурсах.

Основные положения методики данного нормативного документа рассмотрены в данных тезисах с целью распространения отраслевого опыта в рамках потребности Республики Беларусь.

1. Методика расчета СЖЦ (ГОСТ Р 58785-2019). Предлагаемый расчет СЖЦ представим в комплексном виде, соответствующем капитальным объектам ВКХ (таблица 1). Этот вид в полной мере подходит для описания оборудования и товара с учетом равенства нулю одного из элементов расчетных зависимостей (C_{ic}^{3+C}).

Схема расчета СЖЦ традиционно включает 4 этапа:

1 этап. Заказчик определяет те составляющие, которые являются основными, определяющими цель расчетов, обозначенную в техническое задание (ТЗ) заказчика. Ведут учет: «+» или «-» по отношению к статьям затрат (позиция 1, таблица 1);

2 этап. Для КАПИТ-составляющей определяют учетные составляющие – цены за ед. товара, оборудования или услугу (проект), умноженные на их количество. Для ЭКСПЛ-составляющей определяют нормы учета каждой из составляющих (например, тариф на электроэнергию, руб./кВт; расход реагента, руб./т, коммунальные услуги, руб./Гкал, руб./м³ и т. д.) и считают те же составляющие в условиях их расхода за период эксплуатации n ;

3 этап. Расчет текущей стоимости с учетом дисконтирования затрат во времени. Необходимость обеспечения расчетов регламентирует ТЗ заказчика. Расчетная формула и коэффициент дисконтирования позволяют определить значение каждой составляющей СЖЦ;

4 этап. Задача заказчика – свести полученные по вариантам данные в общую таблицу, в конце которой будут указаны значения полной величины СЖЦ. Таким образом, заказчик по каждому из вариантов будет иметь полную информацию: о сумме СЖЦ и принятым учетным составляющим. Кроме табличных данных, обычно формируют наглядные графики по сравнению вариантов либо по составляющим элементам СЖЦ. *Определяют победителя закупочной процедуры.*

Таблица 1. – Основные зависимости СЖЦ оборудования, систем и сооружений водоснабжения и водоотведения

Наименование расчетной зависимости СЖЦ	Расчетная зависимость
1. Составляющие элементы	$\text{СЖЦ} = (C_{ic}^{3+C} + C_{ic}^{PP} + C_{ic} + C_{in}) + (C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env}) + C_d$ <p style="text-align: center;">или</p> $\text{СЖЦ} = \sum_{t1}^n \text{КАПИТ} + \sum_{t2}^n \text{ЭКСПЛ} + C_d$
2. Текущая стоимость с учетом дисконтирования затрат во времени	$C_p = \frac{C_n}{[1+(i-p)]^n} \text{ при } R = \frac{i}{(1+r)^n}$
3. Полный вид уравнения текущей стоимости с учетом дисконтирования затрат во времени	$\text{СЖЦ} = \sum_{t1}^n \frac{\text{КАПИТ} (C_{ic}^{3+C} + C_{ic}^{PP} + C_{ic} + C_{in})}{(1+r)^n} + \sum_{t2}^n \frac{\text{ЭКСПЛ} (C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env})}{(1+r)^n} + C_d$

Приняты следующие условные обозначения в формулах:

n – расчетный период, лет;

КАПИТ – сумма капитальных затрат по статьям составляющих элементов СЖЦ;

C_{ic}^{3+C} – часть капитальных единовременных затрат на приобретение земельного участка (З – земля), стоимость получения разрешений и стоимость подключения к другим сооружениям и инженерным сетям водоснабжения, теплоснабжения, электро-снабжения, газоснабжения (С – сети);

C_{ic}^{PP} – часть капитальных затрат, связанных с обеспечением проектных, инженеринговых или научно-исследовательских работ по разработке конструкторской, технологической документации;

C_{ic} – начальная капитальная стоимость (общестроительные работы, цена покупаемого оборудования, стоимость технологической системы с данным оборудованием);

ЭКСПЛ – сумма эксплуатационных затрат по статьям составляющих элементов СЖЦ;

C_e – стоимость электроэнергии;

C_o – стоимость обслуживания или текущие затраты на оплату труда обслуживающего персонала;

C_m – затраты на ремонт, сервисное и техническое обслуживание (регламентное обслуживание), на регулярный расход товара (реагента или материала);

C_s – стоимость потерь от непредвиденных простоев и недополученной продукции;

C_{env} – стоимость затрат по охране окружающей среды и предотвращению ущерба;

C_d – затраты на конец СЖЦ (стоимость затрат на вывод оборудования или товара из эксплуатации, включая восстановление окружающей среды за вычетом стоимости материалов повторного использования);

C_p – текущая стоимость отдельной статьи затрат;

C_n – стоимость отдельной статьи затрат, предстоящей к выплате через n лет, n – количество лет (порядковый номер года, исчисляемый от начала прогнозного периода);

r – годовой темп инфляции, доли ед.;

i – процентная ставка (например, банка, принимаемая с учетом депозитных ставок банков высокой категории надежности), доли ед.;

$g = (i - r)$ – ставка дисконтирования, доли ед.;

R – коэффициент дисконтирования, доли ед.

2. Подробности ТЗ Заказчика (ГОСТ Р 58785-2019). ТЗ заказчика (например, водоканала) определяет условия расчетов. В него могут быть включены исходные подробности, например все, что касается *единой базы сведений* (вторичных, не составляющих суть конкурсной процедуры):

3. Практический пример регулирующего воздействия. Примеры самых популярных регулирующих воздействий ВКХ учитывают элементы C_e (стоимость электроэнергии) и C_m (регулярный расход реагента или материала). Приведем короткий пример о совместных (РФ–РБ) внедрениях в область управляемого (диапазон регулирования по воздуху 55-60%) воздухоудвнного оборудования для поддержания биологической очистки. Технологическая управляемость – это, прежде всего, существенная экономия энергозатрат (до 30–40%) при обеспечении работы ВД в соответствии с изменением технологических нагрузок с режимом жизни населения (суточным и сезонным). Так, в РБ и РФ было внедрено существенное количество инновационного энергосберегающего оборудования (таблица 2, рисунок 2).

Таблица 2. – Внедрение управляемых воздухоудвнных агрегатов в РФ и РБ на реальных объектах

Показатели	Управляемые воздухоудвнные агрегаты	
	Поворотно-лопастные	Сверхскоростные с аэро- или магнитодинамическими подшипниками частотно-регулируемые
Первое внедрение, год	1985	2004
Объекты (количество), ед.	42	21
Количество воздухоудвнных агрегатов, ед.	100	56
Суммарная мощность, кВт	47 290 (47,3 МВт)	13 555 (13,6 МВт)

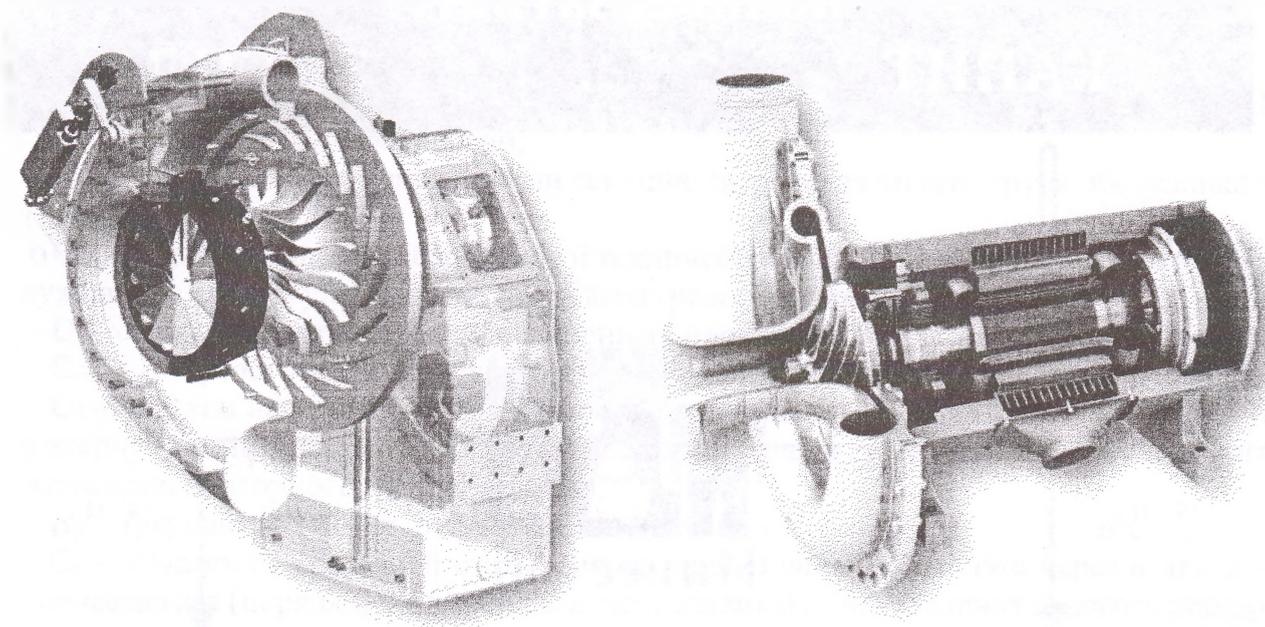


Рисунок 2 – Типы управляемых воздухоудвнных агрегатов, внедренных в РФ и РБ, обеспечивающие ключевую роль в экономии энергии на объектах очистки сточных вод: поворотно-лопастные, сверхскоростные с аэро- или магнитодинамическими подшипниками частотно-регулируемые

4. Развитие и перспективы использования СЖЦ. Кроме конкурсных процедур водоканалов РФ, уже сегодня технико-экономический механизм расчета по СЖЦ способствует поддержке отраслевых технических средств НИР и диссертаций, практически в каждой из работ.

В РФ появляются новые нормативные документы, например, СП 517.1325800.2024 «Эксплуатация централизованных систем, сооружений водоснабжения и водоотведения» в части методики оценки стоимости жизненного цикла трубопроводов централизованных систем водоснабжения и водоотведения, включающие результаты публичных обсуждений сложнейших вопросов сетей водопровода и канализации из различных материалов (керамические, железобетонные, бетонные, чугунные, хризотилцементные, стеклокомпозитные, полимерные, полиэтиленовые и проч.).

Обновляются студенческие учебники и учебные пособия с учетом нового показателя СЖЦ, пришедшего на замену приведенным затратам [4, 5].

Научные исследования в областях ВиВ поступательно сосредотачиваются на оценке технико-экономической оптимизации ключевых направлений научно-технического развития:

– Чупин В.Р. с соавторами относительно: аварийных и капитальных ремонтов системы водоснабжения [6], обоснования диаметров трубопроводов систем ВиВ на основе минимизации [7, 8], обоснования места расположения и параметров нового водозабора [9], оптимизационные модели, основанные на критерии стоимости жизненного цикла систем ВиВ [10], обоснования эффективности устройства аварийно-регулирующих резервуаров при канализационных насосных станциях [11];

– оценки экологических аспектов и потенциальных воздействий на окружающую среду в процессе жизненного цикла продукции [12];

– экономическом обосновании замкнутых водооборотных циклов промпредприятий [13];

– также на вопросах жилого сектора [14, 15] и управления жизненным циклом объектов водоснабжения и водоотведения с использованием информационных технологий ТИМ [16].

Перспективы международного и совместного (РФ и РБ) использования СЖЦ на ближайший период могут быть реализованы на базе Белорусского государственного технологического университета (кафедра «Безопасности жизнедеятельности»). А именно – в формировании математического моделирования технико-экономических расчетов на основе интеллектуальных платформ, что снизит трудозатраты, повысит оперативность и прозрачность процессов.

Заключение. Представлена методология анализа СЖЦ. Предлагаем внести в резолюцию Международной научно-практической конференции «Новые методы и технологии в водоснабжении и водоотведении» следующие позиции:

1) В сфере технико-экономического развития ВКХ актуальным направлением является анализ СЖЦ для обоснования сравнений вариантов проектов и выбора поставщиков эффективного оборудования. Из методик предыдущего, старого (но ценного) анализа по *приведенным затратам* целесообразно сохранять ценную базу знаний по механизмам реализации отраслевых инструментов ВиВ (законы, приказы, методики, сметы, практики и т.п.).

2) Использовать потенциал Института ЖКХ Национальной академии наук Беларуси и Белорусского государственного технологического университета в формировании цифровых средств расчета СЖЦ математическим моделированием, что будет способствовать снижению трудозатрат, повышению оперативности и прозрачности процессов в ВКХ.

3) Разработчики методики для ВКХ убеждены в том, что результирующий документ должен быть прост и понятен в использовании службами водной отрасли Республики Беларусь. Основные позиции Методики не должны изменяться в течение приемлемого времени.

Список литературы

1. Вострова, Р.Н. Оценка экономической эффективности проектов по стоимости жизненного цикла очистных сооружений / Р.Н. Вострова, Т.Г. Васюк, А.А. Баронкина // материалы II Международной научно-практической конференции «Географические аспекты устойчивого развития регионов» / Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», Гомельский областной отдел общественного объединения «Белорусское географическое общество». – 2017. – С. 609–612.

2. Вострова, Р.Н. Анализ стоимости жизненного цикла оборудования в системах водоснабжения – инструмент повышения их энергоэффективности / Р.Н. Вострова, Е.А. Глинская, Р.Е. Нозик // материалы II Международной научно-практической конференции «Географические аспекты устойчивого развития регионов» / Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», Гомельский областной отдел общественного объединения «Белорусское географическое общество». – 2017. – С. 612–617.

3. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения: возможности применения: ГОСТ Р 58785-2019 / Баженов В.И. и [др.] // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2020. – № 1. – С. 56–64.

4. Павлинова, И.И. Водоснабжение и водоотведение: учебник и практикум / И.И. Павлинова, В.И. Баженов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М., 2024. – 462 с.

5. Пурсова, И.Ю. Эксплуатация действующих насосных станций: учебно-методическое пособие. – Воронеж, 2023.

6. Чупин, В.Р. Обоснование параметров стоимости жизненного цикла строительства и эксплуатации систем водоснабжения / В.Р. Чупин, И.А. Абросимова // материалы III Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее». – Красноярск, 2024. – С. 608–611.

7. Чупин, Р.В. Обоснование диаметров трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения на основе минимизации затрат их жизненного цикла / Р.В. Чупин, М.В. Мороз, В.А. Бобер // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 4. – С. 52–58.

8. Чупин, В.Р. Оптимизация структуры и параметров напорно-безнапорных трубопроводных систем / В.Р. Чупин, В.А. Бобер // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2023. – № 12 (605). – С. 65–69.

9. Чупин, В.Р. Обоснование строительства нового водозабора в г. Бодайбо иркутской области на основе стоимости его жизненного цикла / В.Р. Чупин, А.А. Бобер // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции «Градостроительство: теория, практика, образование». – Иркутск, 2023. – С. 243–248.

10. Чупин, В.Р. Современное состояние, перспективы и пути развития систем водоснабжения и водоотведения, методы их расчета, построения и организации эксплуатации / В.Р. Чупин // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2023. – Т. 13. – № 2 (45). – С. 359–368.

11. Чупин, В.Р. Обоснование эффективности устройства аварийно-регулирующих резервуаров при канализационных насосных станциях / В.Р. Чупин, Д.В. Скибо // Водоснабжение и санитарная техника. – 2023. – № 6. – С. 48–55.

12. Балужева, Е.Ю. Оценка жизненного цикла как один из методов оценки эффективности материалов для трубопроводов питьевого водоснабжения / Е.Ю. Балужева, Г.А. Самбурский // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2023. – № 4 (44). – С. 41–49.

13. Экономическое обоснование замкнутых водооборотных циклов на промышленном предприятии / Н.Г. Вурдова Н.Г. [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – № 5 (93). – С. 111–120. – (Серия: Строительство и архитектура).

14. Шкилева, А.А. Техничко-экономическое обоснование подбора оборудования повысительной насосной станции жилого дома / А.А. Шкилева, В.С. Веренич // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 1 (126). – С. 1372–1374.

15. Хургин, Р.Е. Управление жизненным циклом систем внутреннего водоснабжения зданий / Р.Е. Хургин, В.А. Чухин // Системные технологии. – 2021. – № 4 (41). – С. 110–117.

16. Алексеев, С.Е. Управление жизненным циклом объектов водоснабжения и водоотведения с использованием информационных технологий / С.Е. Алексеев, Т.Р. Алексеева // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 5. – С. 74–81.