

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И УПРАВЛЕНИЮ СИСТЕМАМИ КАНАЛИЗАЦИИ: ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

М. В. КЛИМЕНКОВА, О. К. НОВИКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современные системы канализации представляют собой важный элемент обеспечения санитарно-экологической безопасности урбанизированных территорий и устойчивого развития инженерной инфраструктуры. В условиях интенсивной урбанизации, ужесточения экологических требований и необходимости оптимизации эксплуатационных расходов традиционные подходы к проектированию и управлению системами канализации требуют существенной модернизации с применением цифровых технологий и современных инженерных решений.

Настоящее исследование направлено на комплексный анализ современных тенденций в проектировании и эксплуатации систем канализации на основе изучения международного опыта. Проведенный анализ позволит выявить основные направления развития отрасли, а также оценить возможность адаптации зарубежных практик в других регионах с учетом климатических, экономических и нормативных особенностей.

Анализ международного опыта последних десятилетий свидетельствует о повсеместном внедрении инновационных технологических решений, включающих:

- BIM-моделирование (информационное моделирование строительных объектов);
- системы мониторинга на основе Интернета вещей (IoT);
- интеллектуальные системы управления водными ресурсами (Smart Water).

Современный этап развития водопроводно-канализационного хозяйства характеризуется активным внедрением специализированного программного обеспечения, обладающего расширенными функциональными возможностями и включающего мощный аналитический аппарат для гидравлических расчетов, развитые средства визуализации и отчетности, интеграцию с геоинформационными системами. Расчетные модели канализационных сетей не только служат инструментом инженерного анализа, но и формируют единую базу исходных данных для проектирования.

Среди наиболее востребованных на международном рынке программных продуктов можно выделить: *Bentley WaterGEMS* (США) – для моделирования сетей водоснабжения и канализации; *MIKE URBAN (DHI Water & Environment)*, Дания), созданную на основе геоинформационной системы *ArcGIS* и применяемую для гидравлического расчета систем водоснабжения, канализации и дождевых сточных вод. Данные программные комплексы базируются на общепринятых законах гидравлики, но имеют существенные различия в нормативных методиках расчета, подходах к проектированию наружных сетей канализации и требованиях к параметрам эксплуатации.

Международная практика проектирования инженерных систем свидетельствует о распространении применения технологий информационного моделирования (BIM) в области проектирования инженерных коммуникаций, включая системы канализации. Согласно аналитическим данным, степень внедрения BIM-технологий варьируется в зависимости от региона: в Великобритании показатель внедрения к 2019 году достиг 70 %, в США с 2007 года их применение стало обязательным при работе с кадастровыми и геопространственными данными, а Сингапур благодаря реализации государственной программы уже к 2015 году добился 80 % уровня внедрения.

Экономический анализ демонстрирует устойчивую положительную динамику развития BIM-рынка: с 4,9–5,2 млрд дол США в 2019 году до прогнозируемых 15,1–15,6 млрд дол. США к 2027 году [1]. В течение ближайшего пятилетнего периода в странах Европы и Америки прогнозируется рост рынка интеллектуальных систем водоснабжения и канализации на 40 %. Европейский Союз, начиная с 2014 года, проводит последовательную политику по внедрению BIM-технологий, что обусловлено их доказанной экономической эффективностью, выражающейся в оптимизации проектных решений, сокращении сроков реализации проектов и снижении эксплуатационных затрат. Перспективные направления развития связаны с интеграцией BIM с системами интернета вещей (IoT), совершенствованием методов предиктивной аналитики и созданием комплексных цифровых двойников инфраструктурных объектов.

Согласно исследованиям Агентства по охране окружающей среды США (EPA), предприятия водопроводно-канализационного хозяйства относятся к числу наиболее энергоемких объектов городской инфраструктуры, потребляя порядка 30–40 % от общего потребления энергии. Параллельные исследования, проведенные на европейском рынке, выявили устойчивую тенденцию к внедрению интеллектуальных систем управления, обусловленную ужесточением экологических нормативов и необходимостью оптимизации энергопотребления. Наблюдается значительный рост спроса на автоматизированные решения для очистки сточных вод, что свидетельствует о формировании нового технологического уклада в данной отрасли, характеризующегося переходом к полностью автоматизированным системам с интегрированными функциями мониторинга и управления. Этот процесс сопровождается существенным повышением эффективности эксплуатации и качественных показателей работы сооружений и оборудования.

Германия занимает лидирующие позиции в области управления системами водоснабжения и канализации как в Европе, так и в мировом масштабе, что подтверждается применением инновационных технологий в области очистки сточных вод и подключением практически всего населения к системам канализации. Особенностью немецкого подхода является повсеместное применение централизованных систем канализации. В стране было вложено более 78 млрд евро в новое строительство, расширение и обновление систем канализации и очистных сооружений. Общая протяжённость сетей канализации в Германии составляет 445 700 км, из них 51 % – сети общесплавной системы канализации, через которую отводятся хозяйственно-бытовые, производственные, дождевые и талые сточные воды. Протяжённость сетей хозяйственно-бытовой канализации составляет около 134000 км [2].

Современный этап развития систем канализации характеризуется активным внедрением интеллектуальных технологий управления, в частности концепции «умных сетей» (smart networks). Данный подход предполагает комплексную интеграцию цифровых решений в процессы эксплуатации систем канализации, где особую значимость приобретают технологии Интернета вещей (IoT). Европейский опыт демонстрирует, что применение IoT-решений позволяет существенно трансформировать традиционные методы управления коммунальными системами. На примере Германии прослеживается эффективность использования интеллектуальных датчиков, обеспечивающих непрерывный мониторинг технического состояния сетей канализации. Установленные сенсорные устройства передают оперативные данные в режиме реального времени на централизованные диспетчерские пункты, что значительно повышает скорость реагирования эксплуатационных служб на возникающие нештатные ситуации. Практическая реализация таких систем показала их способность минимизировать количество аварийных ситуаций, связанных с нарушением работы сетей канализации. Подобные технологические решения представляют собой перспективное направление модернизации систем канализации, обеспечивающее переход к принципиально новому уровню управления инженерной инфраструктурой городов.

Нидерланды, характеризующиеся сложными гидрогеологическими условиями с высоким уровнем грунтовых вод, демонстрируют передовой опыт применения сенсорных технологий в системах канализации. Установленные в канализационных коллекторах датчики непрерывно отслеживают уровень сточных вод, обеспечивая автоматическое регулирование работы насосных станций и перенаправление потоков, что существенно снижает риск перегрузки системы и возникновения затоплений. В рамках реализации программы *Amsterdam Smart City* была создана комплексная система мониторинга, интегрирующая данные от датчиков водоснабжения и канализации. Результаты внедрения свидетельствуют о значительном снижении аварийности и улучшении экологических показателей городской среды.

Применение IoT-технологий в управлении инженерной инфраструктурой представляет собой эффективный инструмент повышения эксплуатационной надежности и качества услуг. Данный подход не только обеспечивает экономию эксплуатационных затрат и оптимизацию управления, но и вносит существенный вклад в обеспечение экологической устойчивости городских территорий, одновременно повышая уровень комфорта проживания населения.

Научные исследования подтверждают, что интеллектуальные системы управления позволяют достичь синергетического эффекта, сочетая технико-экономическую эффективность с экологическими преимуществами.

Международная практика свидетельствует о значительном потенциале инновационных технологий в повышении эффективности управления водопроводно-канализационным хозяйством. Анализ успешных кейсов внедрения IoT-технологий демонстрирует устойчивую тенденцию к снижению эксплуатационных затрат при одновременном улучшении качества предоставляемых услуг. При этом важное значение

приобретает адаптация передового опыта с учетом региональных особенностей, включая климатические условия, экономические параметры и специфику нормативно-правового регулирования.

Современные подходы к проектированию и эксплуатации сетей канализации предполагают обязательное использование специализированного программного обеспечения и инновационных технологических решений. Это позволяет эффективно решать актуальные проблемы эксплуатации, возникающие вследствие износа сетей, изменения нагрузок и других факторов.

Несмотря на существующие национальные различия в методах управления, обусловленные преимущественно климатическими и экономическими особенностями, наблюдается конвергенция подходов в части внедрения передовых технологий. Такая унификация объясняется их доказанной эффективностью в оперативном реагировании на аварийные ситуации и предотвращении аварийных ситуаций, что в конечном итоге способствует повышению надежности и устойчивости работы систем канализации.

Проведенный анализ зарубежного опыта демонстрирует, что современные системы канализации переходят на качественно новый уровень развития за счет внедрения цифровых технологий (ВІМ, ІоТ) и интеллектуальных систем управления. Для успешной адаптации этих технологий необходимо учитывать региональные особенности, включая климатические условия, экономические возможности и нормативную базу, что требует дальнейших междисциплинарных исследований.

Список литературы

1 **Брылева, И.** Как ВІМ-технологии повышают КПД проектной организации? / И. Брылева // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2022. – № 1. – С. 17–20.

2 Водный сектор в Германии: методы и опыт. – URL: <https://pubdoc.ru/doc/235260/vodnyj-sektor-v-germanii---metody-i-opyt> (дата обращения: 05.05.2025).

УДК 539.621

ЭКОТРИБОЛОГИЯ СМАЗКИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

И. Н. КОВАЛЕВА

Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель

А. В. ПИГУНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Введение. Выбор и оптимизация свойств смазочных материалов остается важной проблемой современного машиностроения. Изначально использовались биожирь (растительные масла и животные жиры), позже вытесненные минеральными маслами, а затем их синтетическими аналогами. Сейчас на рынке смазочных материалов преобладают продукты нефтепереработки, создавая экологические проблемы и стимулируя разработку биоразлагаемых аналогов с использованием возобновляемых ресурсов. Биожирь привлекательны своей доступностью и заменяемостью, несмотря на более низкие физико-химические показатели по сравнению с минеральными и синтетическими материалами, особенно при экстремальных нагрузках и низких температурах [1, 2]. Триботехнические характеристики биожиров, уступающие нефтяным маслам, можно повысить введением специальных добавок [3]. Исчерпавшую свой ресурс смазку на основе биожиров можно использовать не только в качестве вторичного смазочного материала, но и как биотопливо, обеспечивая утилизацию и выработку тепловой энергии.

Железнодорожный транспорт оказывает значительное воздействие на окружающую среду, включая загрязнение почвы и воды. Традиционные минеральные и синтетические смазки вызывают серьезные экологические проблемы, такие как трудности с утилизацией и учет выбросов в окружающую среду. Современные разработки в области экотрибологии направлены на создание биоразлагаемых и экологически безопасных смазок, которые могли бы успешно применяться в подшипниках колесных пар, тормозных системах и лубрикации (смазывания) кривых участков рельсового пути [1–3]. Применение функциональных присадок и технологий модификации растительных масел позволяет достичь необходимого уровня защиты узлов трения от износа и коррозии. Примером являются смазочные композиции на основе касторового масла, обладающего уникальными анти-