**Список литературы**

1 **Хутская, Н. Г.** Энергетическое использование осадков сточных вод / Н. Г. Хутская, Г. И. Пальчёнок // Информационные технологии в политических, социально-экономических и технических системах : сб. материалов науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов, 20 апр. 2023 года / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : Г. М. Бровка (пред. редкол.) [и др.] ; сост. А. В. Садовская. – Минск, 2023. – С. 211–220.

2 Энергетический потенциал осадков сточных вод в регионах России / Т. И. Андреенко, С. К. Дегтярёв, С. В. Киселёва, Ю. Ю. Рафикова // Окружающая среда и энерговедение. – 2025. – № 1. – С. 4–28.

УДК 371-004

# ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ

*С. С. ШАЙЫМОВ*

*Институт телекоммуникаций и информатики Туркменистана, г. Ашхабад, smyradow615@gmail.com*

Долгое время инженерные системы зданий (отопление, вентиляция, водоснабжение) развивались как обособленные механические структуры. Однако в условиях глобальной урбанизации 2020-х годов возникла потребность в их глубокой интеграции. Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) стали тем связующим звеном, которое превратило «пассивные» конструкции в адаптивные экосистемы. Сегодня инженерная система – это не только трубы и кабели, но и огромные массивы данных, генерируемые ежесекундно.

1 Архитектурные уровни интеграции ИКТ.

Современная ИКТ-инфраструктура инженерных систем строится на принципе иерархичности. Это позволяет разделить зоны ответственности оборудования и упростить масштабирование.

Нижний (полевой) уровень: датчики, сенсоры и актуаторы. Здесь происходит сбор первичной информации (температура, давление, потребление тока) и исполнение команд.

Средний (уровень управления): программируемые логические контроллеры (ПЛК). Они обрабатывают данные локально и принимают оперативные решения без участия человека.

Верхний (диспетчерский) уровень: системы SCADA и BMS. Здесь осуществляется визуализация процессов, хранение истории и глобальная оптимизация работы всего объекта.

2 Технологические драйверы: IoT и протоколы связи.

Основной рывок в развитии инженерных систем обеспечил Промышленный интернет вещей (IIoT). Благодаря переходу на беспроводные стан-

дарты (Wi-Fi 6, LoRaWAN, 5G) стоимость развертывания сетей датчиков снизилась в разы.

3 Big Data и предиктивный сервис.

Главное преимущество ИКТ – возможность уйти от планового ремонта к предиктивному (прогностическому) обслуживанию. Алгоритмы машинного обучения анализируют косвенные признаки (вибрацию, шум, микроколебания температуры) и выявляют износ оборудования задолго до того, как произойдет авария.

Это позволяет:

1 Снизить затраты на внеплановый ремонт на 25 %.

2 Продлить срок службы дорогостоящих агрегатов (чиллеров, лифтов) на 15–20 %.

3 Оптимизировать потребление ресурсов в зависимости от реальной нагрузки на здание.

4 Кибербезопасность и вызовы будущего.

Интеграция инженерных систем в общую сеть предприятия (и выход в интернет) открывает двери для киберугроз. В 2026 году защита инженерных протоколов становится приоритетом. Взлом системы управления вентиляцией в дата-центре или больнице может привести к физическому разрушению оборудования или угрозе жизни. Использование шифрования, сегментация сетей и внедрение систем обнаружения вторжений (IDS) теперь являются обязательными стандартами проектирования.

Эко-инженерия и «Зеленые» ИКТ.

Современные инженерные системы неразрывно связаны с повесткой устойчивого развития (ESG). ИКТ здесь играют роль главного «контролера» углеродного следа.

Energy Harvesting: появление беспроводных датчиков, которые питаются энергией вибраций труб, разницы температур или комнатного света. Это решает проблему утилизации миллионов батареек.

Умная утилизация тепла: ИКТ позволяют интегрировать инженерные системы здания с ИТ-инфраструктурой. Например, избыточное тепло от серверной комнаты теперь автоматически направляется на подогрев воды в системе горячего водоснабжения (ГВС) или отопление офисов.

Кибербезопасность и защита данных (расширенный блок).

С ростом сложности систем растет и поверхность атаки. В 2026 году защита инженерных систем строится на принципах Zero Trust (нулевого доверия). Каждое устройство в сети (даже простой датчик температуры) должно проходить аутентификацию.

Шифрование трафика между контроллерами становится обязательным, чтобы исключить подмену данных («spoofing»), которая могла бы привести к физическому повреждению оборудования.

**Заключение.** Информационно-коммуникационные технологии окончательно изменили ландшафт инженерного дела. Переход к «цифровым двой-

никам» зданий и использование искусственного интеллекта для управления климатом и энергией – это уже не футурология, а стандарт индустрии. Будущее ИКТ в инженерии лежит в плоскости дальнейшей автономизации систем, где искусственный интеллект берет на себя рутинное управление, оставляя человеку роль стратега и архитектора смыслов.

**Список литературы**

1 **Smith, J.** The Role of AI in Building Management Systems / J. Smith // Journal of Engineering & Tech. – 2025.

2 **Wang, Y.** Digital twins in the construction industry: A systematic review of current practices and future directions / Y. Wang, A. Rezaei, S. Hicks // Journal of Information Technology in Construction (ITcon). – 2026. – Vol. 31.

3 **Thapar, R.** Handbook on Integrating Smart Technologies for Sustainable Development. / R. Thapar, A. V. S. Kumar, O. S. Saleh (Eds.) // Routledge & CRC Press, 1st Edition. – 2026. – Vol. 1. – P. 238.

УДК 628.35:62-278

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕМБРАННЫХ БИОРЕАКТОРОВ

*М. Д. ЮЗЕНКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

**Актуальность.** Очистка сточных вод с использованием мембранного биореактора (МБР) активно применяется в странах Европы, в России она также набирает популярность. Так, на Московском нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ) построен комплекс очистных сооружений «Биосфера», в который входит этап очистки в мембранных реакторах. Аналогичный комплекс только в более широком масштабе строится на Омском НПЗ. Эффективность очистки в «Биосфере» составляет 99,9 %, а 75 % воды после биоочистки повторно поступают в производство. Таким образом, технология МБР является перспективным направлением в области очистки сточных вод [1].

**Цель работы.** Анализ технологии мембранных биореакторов как современного способа очистки сточных вод, а также выявление преимуществ и недостатков по сравнению с традиционными системами.

**Основные результаты.** Мембранный биореактор представляет комбинацию традиционной биологической очистки и мембранного разделения, реализуемого на ультра- или микрофильтрационных мембранах. Размер пор таких мембран составляет от 0,01 до 0,1 мкм. Для очистки бытовых сточных вод традиционно используется аэробный процесс, однако для очистки промышленных стоков применяют и анаэробные МБР [2].

Мембраны в МБР в основном изготавливаются из полимеров (полиэтилена, полисульфона, полиэтиленсульфона, полиакриланитрила, поливинилиденфторида, поливинилхлорида и др.), а иногда используют неорганические материалы (оксиды Al, Ti, Zr и др).