

# Цифровой энергетический двойник здания – инструмент по управлению энергоэффективностью и комфортом

**А. С. Деев, инженер проектов «БЮРО ТЕХНИКИ»**

**В. Д. Львов, руководитель лаборатории цифровых технологий «БЮРО ТЕХНИКИ»**

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, цифровой энергетический двойник здания, BIM-моделирование, цифровая модель

Устойчивое развитие (УР) не просто тренд, а неотъемлемая часть сферы недвижимости. Цифровые решения – один из основных элементов достижения экономической выгоды и соблюдения принципов ESG [1]. В данной сфере сопрягаются интересы и результаты работы проектировщиков, строителей, владельцев, арендаторов и эксплуатационного персонала. Понимание системы «проект–строительство–эксплуатация» является ключевым для создания эффективных и комфортных пространств [2].

На этапе проектирования ключевую роль играет BIM-моделирование – цифровая модель, объединяющая архитектурные, конструктивные и инженерные данные. BIM обеспечивает согласованность действий, минимизирует ошибки, упрощает закупки и документооборот.

На этапе эксплуатации на помощь приходит Цифровой энергетический двойник здания (ЦЭД) – инновационный инструмент, позволяющий моделировать и прогнозировать энергопотребление, а также системно поддерживать комфортную человекоориентированную среду [3]. В отличие от BIM-моделей, сосредоточенных на этапе проектирования и строительства, ЦЭД акцентируется на фактической работе здания, позволяя в режиме реального времени моделировать, отслеживать и оптимизировать энергетические характеристики здания, его отдельных инженерных систем и параметры микроклимата.

## Проблемы в строительстве и эксплуатации зданий, которые решает ЦЭД

Владельцы и управляющие бизнес-центров, торговых, спортивных, развлекательных комплексов и других объектов сталкиваются с рядом вызовов [4], на которые ЦЭД отвечает в полной мере:

- **непрозрачные расходы на энергоресурсы** (ЦЭД покажет, сколько здание в целом и его отдельные системы должны потреблять энергоресурсов);
- **неэффективная работа инженерных систем** (ЦЭД покажет, какая система потребляет больше, чем должна);
- **нарушение параметров микроклимата, ограниченность информации для принятия решений и инвестиций** (ЦЭД позволяет

протестировать любые нововведения, направленные на улучшения, и выбрать эффективные).

Кроме технического эффекта ЦЭД позволяет реализовать нематериальные эффекты:

- **повышение удержания сотрудников за счет комфортной среды** (замена одного сотрудника обходится компаниям в 200–400 тыс. руб.);
- **повышение спроса и рост лояльности арендаторов** (для БЦ на 10 000 м<sup>2</sup> это +12–24 млн руб./год за счет снижения процента пустующих площадей);
- **повышение доверия со стороны государства и общества.**

## Что лежит в основе ЦЭД?

Энергомодель (ЭМ) – ядро ЦЭД: цифровая модель для расчета, анализа и прогноза потребления энергии зданием. Она объединяет данные и алгоритмы, отражающие работу инженерных систем, параметры микроклимата и эквивалент выбросов CO<sub>2</sub> [5]. ЭМ реализует междисциплинарный и системно-средовой подходы, учитывая все факторы, влияющие на энергопотребление и микроклимат в рамках целостной динамичной системы.

ЭМ учитывает 3D-архитектуру здания, теплотехнические свойства, ориентацию по сторонам света, затенение, режимы работы инженерных систем, типы потребителей энергии и фактические погодные данные. Расчеты ведутся с детализацией до одной минуты, что позволяет анализировать как суточные, так и годовые профили энергопотребления.

## Что такое ЦЭД?

Цифровой энергетический двойник здания (ЦЭД) – цифровой программно-аппаратный аналитический комплекс, который объединяет три ключевых элемента:

- ЭМ эксплуатируемого здания – основа ЦЭД, создается по результатам обследования;
- средства обмена данными между системами здания и ЭМ;
- BI-система для хранения, анализа, обработки и отображения данных в онлайн-режиме.

ЦЭД эксплуатируемого здания строится на данных из документации, данных от систем BMS и АСУЭ, а также результатах обследования здания. Обследование включает визуальный и инструментальный этапы, позволяет оценить фактические характеристики здания и выявить отклонения в исполнении от проекта.

Созданная таким образом цифровая динамичная модель показывает работу здания в запланированных режимах с паспортной энергоэффективностью. Превышения фактического энергопотребления над показаниями работы ЦЭД по отдельным категориям указывают на потенциал энергосбережения. Для выявления таких участков проводится периодическое (ежемесячное) сравнение показаний энергопотребления эксплуатируемого объекта и его ЦЭД.

Для удобной работы с информацией данные о работе здания и его ЦЭД объединяются с помощью BI-системы и представляются в удобном виде на дашборде – графическом интерактивном отчете. Данный дашборд доступен для заказчика в режиме онлайн, а любые внесенные





изменения мгновенно отображаются на рабочей панели.

Созданный ЦЭД может использоваться для виртуальных экспериментов со зданием. Если в процессе эксплуатации принимаются решения о любых изменениях, связанных с изменением энергопотребления или параметрами микроклимата, данные решения целесообразно проверять на ЦЭД.

ЦЭД без непосредственного физического внедрения решения покажет, к каким изменениям оно приведет: 1) как изменится энергопотребление; 2) какими будут параметры микроклимата в помещениях.

- Сколько теплоты сэконоит рекуператор или электроэнергию умное освещение?
- Как изменятся параметры микроклимата в июле, если снизить температуру уставки хладагента?
- Насколько можно снизить расход теплоносителя, чтобы не было проблем с микроклиматом?

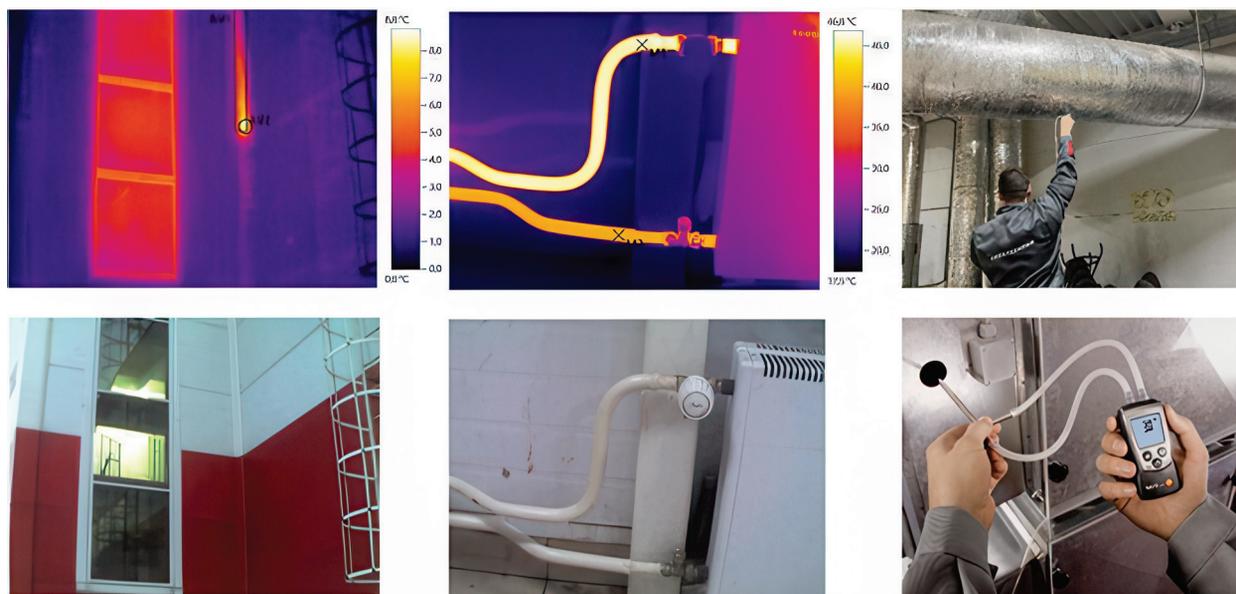
Какой расход воздуха в помещениях будет оптимальным? Какую скорость вентиляторов можно выставить?

- Как снизятся колебания температуры воздуха в помещении при наличии светлой/зеленой кровли или солнцезащитных пленок на стеклопакетах?

Ответы на подобные вопросы даст ЦЭД. Благодаря использованию метода сравнительного анализа совместно с экономической оценкой данный инструмент предупредит внедрение неэффективных решений и выявит лучшие.

## Кейсы внедрений

Сеть многофункциональных центров. ЦЭД был внедрен для сети из 10 многофункциональных развлекательных центров в Москве. ЦЭД использовался для определения планового энергопотребления и



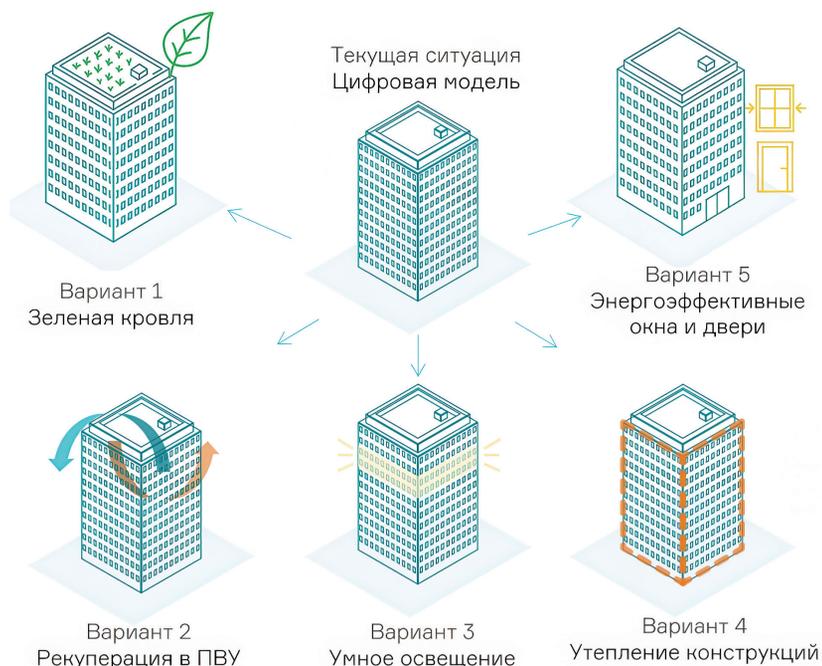
выявления участков перерасхода. На объектах выявлены многочисленные участки перерасхода энергоресурсов: тепловые завесы, тепловентиляторы, системы отопления, насосное оборудование, вентиляция, наружное и внутреннее освещение и др. Причины перерасходов – неправильная работа автоматики, неверно настроенные/неисправные системы регулирования, а также человеческий фактор. Для 10 объектов суммарный выявленный перерасход энергоресурсов составил 13,2 млн руб./год. Данные результаты стали драйвером для масштабной программы модернизации инженерных систем.

Офисное здание в Санкт-Петербурге. ЦЭД внедрен в одном из офисных зданий Санкт-Петербурга (площадь здания 1163 м<sup>2</sup>). ЦЭД используется для определения планового энергопотребления и выявления участков перерасхода энергоресурсов. В результате сравнения энергопотребления здания и его ЦЭД по отдельным категориям выявлен перерасход природного газа (на 42 %) и электропотребления системой вентиляции (на 46 %). Причины – некорректная работа систем погодозависимой автоматики и автоматического управления вентиляцией.

Гипермаркет в Ленинградской области. ЦЭД внедрен для гипермаркета в Ленинградской области площадью 6000 м<sup>2</sup>. ЦЭД использовался для анализа различных вариантов изменений в работе здания. Было определено, что оптимизация работы вентиляции обеспечит экономию в 5,8 млн руб./год. Установка стеклянных дверей на холодильные витрины принесет годовую экономию в 408 тыс. руб. На объекте температура воздуха в торговом зале снижалась в наиболее холодный период до 13 °С. Тестирование различных решений на ЦЭД показало, что оптимальным решением, которое нормализует температуру воздуха в помещениях, является устранение дисбаланса расходов воздуха в вентиляции за счет увеличения расхода приточного воздуха. В данный проект были привлечены студенты и аспиранты Университета ИТМО, что способствовало подготовке молодых специалистов, понимающих задачи устойчивого развития.

## Заключение

Цифровой энергетический двойник – не просто инструмент для экономии ресурсов, это стратегическое решение, которое обеспечивает прозрачность,



контроль и позволяет принимать обоснованные решения для устойчивого развития объекта.

Контролируя экологический след и выбросы CO<sub>2</sub>, ЦЭД способствует формированию природоориентированного подхода в эксплуатации зданий. Он обеспечивает высокое качество внутренней среды и комфортный микроклимат для всех пользователей. Это делает среду дружелюбной и повышает привлекательность компании для сотрудников и клиентов.

## Литература

1. Ma Z. et al. A review of physics-informed machine learning for building energy modeling // *Applied Energy*. – 2025. – V. 381. – P. 125169.
2. Бурцева В. С. Жилая среда как сложная открытая система с активным элементом (на примере жилой среды для молодой семьи) // *Социология города*. – 2024. – № 1. – С. 25–40. – DOI 10.35211/19943520\_2024\_1\_25. – EDN AOYJRD.
3. Tahmasebinia F. et al. Exploring the benefits and limitations of digital twin technology in building energy // *Applied Sciences*. – 2023. – V. 13. – № 15. – P. 8814.
4. Gaggero G. B., Girdinio P., Marchese M. Artificial Intelligence and Physics-Based Anomaly Detection in the Smart Grid: A Survey // *IEEE Access*. – 2025.
5. Вафаева Х. М., Гаевская З. А. Параметрическая энергоэффективная оптимизация проекта реконструкции объекта культурного наследия // *Инновации и инвестиции*. – 2022. – № 3. – С. 156–164.