

**ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ
МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**FACTORS AFFECTING THE ENERGY EFFICIENCY OF MULTI-
STOREY RESIDENTIAL BUILDINGS IN A DIGITAL DESIGN
ENVIRONMENT**

PhD, доцент Юсуфхўжаев С.А
магистрант Жураева Н.
(Ташкентский архитектурно-
строительный университет)
E-mail: nika777055@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые факторы, влияющие на энергоэффективность многоэтажных жилых зданий, с учётом современных условий цифрового проектирования. Особое внимание уделено роли информационного моделирования зданий (BIM) в анализе и оптимизации энергетических характеристик объектов. Проведён обзор проектных, конструктивных, климатических и эксплуатационных аспектов, влияющих на уровень энергопотребления. Раскрываются возможности интеграции BIM с программным обеспечением для энергомоделирования, а также рассматриваются практические примеры применения технологии в проектной среде. Работа подчёркивает необходимость комплексного подхода к проектированию, включающего энергоаудит, выбор материалов, ориентацию зданий и взаимодействие инженерных систем. Полученные результаты могут быть использованы при разработке нормативной документации и совершенствовании проектной практики в Узбекистане.

Ключевые слова: энергоэффективность, BIM, цифровое проектирование, многоэтажные здания, энергомоделирование, строительные нормы, возобновляемые источники энергии, теплопотери, устойчивое строительство, проектные решения

Annotation. This article explores the key factors influencing the energy efficiency of multi-storey residential buildings under conditions of digital design. Particular attention is paid to the role of Building Information Modeling (BIM) in analyzing and optimizing the energy performance of buildings. The study reviews design, structural, climatic, and operational aspects that affect energy consumption levels. It highlights the potential of integrating BIM with energy modeling software and examines practical

examples of its implementation in real projects. The research emphasizes the importance of a comprehensive design approach, including energy auditing, material selection, building orientation, and the coordination of engineering systems. The findings may contribute to the development of regulatory documents and improvements in design practices in Uzbekistan.

Key words: energy efficiency, BIM, digital design, multi-storey buildings, energy modeling, building codes, renewable energy sources, heat loss, sustainable construction, design strategies

Введение. Современное жилищное строительство всё чаще сталкивается с задачами повышения энергоэффективности зданий на фоне глобального изменения климата, роста стоимости ресурсов и ужесточения нормативных требований. Особенно важна проблема оптимизации энергопотребления в многоэтажных жилых домах — основной категории жилого фонда в городах. Согласно международной статистике, здания потребляют более 30% всей вырабатываемой энергии, причём основная её часть расходуется на отопление, вентиляцию и кондиционирование. Таким образом, даже незначительное повышение энергоэффективности на уровне проектирования и эксплуатации может привести к существенной экономии ресурсов и снижению выбросов парниковых газов.

Во многих странах действуют нормативные документы и программы, направленные на стимулирование строительства энергоэффективных домов: от национальных стандартов до международных сертификатов LEED, BREEAM, DGNB. Республика Узбекистан также предпринимает шаги в данном направлении, принимая программы по модернизации жилого фонда и внедрению энергоэффективных технологий.

В этой связи всё большую роль играет цифровое проектирование и особенно технология информационного моделирования зданий (BIM). BIM позволяет моделировать здание как единую цифровую систему, учитывая теплопотери, климатические условия, ориентацию, поведение жильцов, а также оценивать влияние архитектурных и инженерных решений на общее энергопотребление.

Цель настоящей статьи — комплексно рассмотреть факторы, влияющие на энергоэффективность многоэтажных жилых зданий в условиях цифрового проектирования, а также показать, каким образом BIM может быть использован для анализа, визуализации и оптимизации этих факторов.

Новизна статьи заключается в систематизации факторов в контексте использования цифровых инструментов проектирования, что позволяет архитекторам и инженерам не просто соблюдать нормативы, но и находить оптимальные проектные решения на ранних стадиях. Практическая значимость

работы заключается в возможности применения результатов при разработке проектных заданий, реконструкции зданий и интеграции ВИЭ.

Основная часть. Энергоэффективность зданий — это способность здания обеспечивать необходимый уровень теплового комфорта при минимальных затратах энергии. Суть заключается не только в экономии ресурсов, но и в снижении вредного воздействия на окружающую среду, достижении устойчивости и повышении эксплуатационных характеристик зданий.

В Узбекистане и большинстве стран СНГ основными нормативными документами, регламентирующими энергоэффективность, являются СНиП, СП, а также ГОСТ, регламентирующие тепловую защиту зданий. Кроме того, существуют международные стандарты ISO 50001, EN ISO 13790 и др.

В 2020-е годы внедрение энергоэффективных стандартов стало обязательным условием проектирования: при получении разрешения на строительство необходимо представить расчёты теплопотерь, энергоэффективности ограждающих конструкций, характеристики инженерных систем.

Среди наиболее действенных методов повышения энергоэффективности можно выделить:

- применение теплоизолирующих строительных материалов;
- проектирование энергоэффективных фасадных и кровельных систем;
- использование энергоэффективных окон и дверей;
- оптимизация архитектурной формы здания;
- рациональная ориентация здания относительно сторон света;
- эффективные системы отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC);
- использование возобновляемых источников энергии (солнечные панели, тепловые насосы и т.п.).

Для количественной оценки энергоэффективности используются:

- удельное потребление тепловой энергии ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{год}$),
- коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций ($\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$),
- класс энергоэффективности здания (А, В, С и т.д.),
- уровень годовой экономии энергии (в %).

На этапе проектирования часто применяется энергетическое моделирование — методика расчёта энергетического баланса здания, учитывающая различные сценарии использования, климатические данные, материалы и т.п.

Энергоэффективность многоэтажных жилых зданий определяется совокупностью факторов, действующих на всех стадиях жизненного цикла здания — от концептуального проектирования до эксплуатации и утилизации. Ниже представлена обобщённая классификация факторов, влияющих на уровень энергопотребления зданий.

Архитектурно-планировочные факторы

Эти факторы формируются на ранней стадии проектирования и оказывают существенное влияние на общий тепловой баланс здания:

- **Форма здания:** Компактные формы с минимальной площадью наружных ограждений способствуют снижению теплопотерь. Например, кубообразные или цилиндрические здания теряют меньше тепла, чем вытянутые или сложной формы.
- **Ориентация:** Южная ориентация фасадов и окон в северном полушарии позволяет максимально использовать солнечную радиацию в зимний период и снижать потребление энергии на отопление.
- **Этажность и плотность застройки:** Более высокая плотность снижает удельные потери энергии за счёт экранирования ветровой нагрузки и взаимного утепления между квартирами.
- **Площадь остекления:** Оптимальное соотношение остекления и стен влияет на баланс солнечных теплопоступлений и теплопотерь. Чрезмерное остекление может привести к потерям тепла зимой и перегреву летом.
- **Наличие буферных зон:** Лоджии, балконы, тамбуры уменьшают теплопотери и способствуют термической стабильности.

Конструктивные и технологические факторы

- **Материалы наружных стен и перекрытий:** Ключевым показателем является коэффициент теплопроводности. Применение ячеистого бетона, многослойных сэндвич-панелей, фасадных систем с утеплителем значительно снижает потери тепла.
- **Теплоизоляция:** Толщина и качество теплоизоляционных материалов (минеральная вата, пенополистирол, ППУ и др.) определяют эффективность тепловой защиты.
- **Окна и остекление:** Современные окна с низкоэмиссионными покрытиями, многокамерными стеклопакетами и «тёплыми» рамами уменьшают инфильтрацию воздуха и теплопотери.
- **Термические мосты:** Конструктивные элементы, нарушающие тепловой контур, значительно увеличивают общие потери. Минимизация мостиков холода достигается за счёт качественной проектировки узлов примыкания.

Инженерные системы

- **Система отопления:** Наличие индивидуального или поквартирного регулирования, применение конденсационных котлов, тёплых полов и энергоэффективных радиаторов повышают КПД системы.
- **Системы вентиляции и рекуперации:** Механическая вентиляция с рекуперацией позволяет возвращать часть тепла из удаляемого воздуха.

Умные системы вентиляции (с CO₂-датчиками) снижают перерасход энергии.

- **Кондиционирование и охлаждение:** Использование инверторных систем, интеграция с солнечными установками или геотермальными источниками улучшает энергоэффективность.
- **Автоматизация и управление:** Системы "умного дома", таймеры, датчики движения, погодозависимые регуляторы помогают адаптировать энергопотребление к реальным условиям и поведению пользователей.

Климатические и региональные условия

- **Температурный режим региона:** Чем суровее климат, тем выше требования к теплоизоляции и инженерным системам.
- **Инсоляция и освещённость:** Уровень естественного освещения влияет на потребности в искусственном освещении и отоплении.
- **Ветровая нагрузка:** Сквозняки и воздушные утечки требуют дополнительных мер по герметизации.

Поведенческие и эксплуатационные факторы

- **Привычки жильцов:** Температурные предпочтения, частота проветривания, включение приборов.
- **Техническое обслуживание систем:** Некорректная работа систем отопления, вентиляции, плохо отрегулированные клапаны и термостаты снижают эффективность даже идеально спроектированных зданий.
- **Изменения в процессе эксплуатации:** Перепланировки, замена окон или утепления, установка бытовых приборов — всё это влияет на энергетический профиль здания.

Инновационные и цифровые технологии

- **Информационное моделирование зданий (BIM):** Позволяет моделировать, анализировать и оптимизировать вышеуказанные факторы до начала строительства.
- **Энергетическое моделирование и симуляции:** Применение программных средств (Revit+Insight, IES VE, EnergyPlus) позволяет находить оптимальные сочетания параметров.

Цифровое проектирование и BIM: базовые принципы

Информационное моделирование зданий (BIM — Building Information Modeling) представляет собой технологию цифрового представления физической и функциональной информации об объекте строительства. В отличие от традиционного 2D-проектирования, BIM позволяет интегрировать

архитектурные, конструктивные, инженерные и энергетические параметры здания в единую модель.

Ключевыми характеристиками BIM являются:

- параметризация элементов (например, теплоизоляция стены);
- автоматизация расчётов и проверок (в т.ч. по теплотехнике);
- возможность анализа поведения здания в различных сценариях;
- создание цифровых двойников и интеграция в Facility Management.

Энергетическое моделирование в BIM-среде

Одним из важных направлений BIM является моделирование энергопотребления. С помощью специализированных надстроек и программных комплексов можно:

- рассчитать удельное потребление энергии;
- оценить теплопотери через ограждающие конструкции;
- смоделировать поведение инженерных систем;
- выявить неэффективные элементы проектных решений;
- сравнивать различные варианты проектирования (вариативное моделирование).

Примеры программ:

- **Autodesk Revit + Insight** — визуализация тепловых потоков, графики инсоляции, подбор материалов;
- **IES VE** — точное энергетическое моделирование с учётом климата, поведения пользователей и систем;
- **DesignBuilder** — интерфейс для EnergyPlus, гибкий для моделирования сложных сценариев;
- **Green Building Studio** — облачный сервис для оценки энергоэффективности зданий.

BIM как инструмент оптимизации факторов энергоэффективности

BIM помогает проектировщику:

- учитывать тепловую инерционность материалов;
- анализировать влияние ориентации и формы здания;
- визуализировать влияние солнечного света в разные сезоны;
- оптимизировать размещение окон и инженерных систем;
- интегрировать ВИЭ (солнечные панели, тепловые насосы) с оценкой эффективности.

Таким образом, BIM становится инструментом не только построения модели, но и **принятия проектных решений**, направленных на снижение энергопотребления.

Технология BIM предоставляет уникальные возможности для системного анализа факторов, влияющих на энергоэффективность зданий. В данном разделе рассматриваются основные методы оценки и оптимизации параметров здания в цифровой среде.

Анализ энергоэффективности осуществляется в несколько этапов:

1. **Создание параметризованной архитектурной модели** — учитываются геометрия, ориентация, материалы, остекление, инженерные сети.
2. **Ввод климатических данных** — на основе погодных файлов (.epw) конкретного региона.
3. **Назначение физических и теплотехнических характеристик материалам** — коэффициенты теплопроводности, сопротивление теплопередаче, теплоёмкость.
4. **Указание режимов эксплуатации здания** — температура, график работы систем, поведение пользователей.
5. **Расчёт сценариев энергопотребления** — подбор оптимального соотношения проектных решений с наименьшими затратами энергии.

Пример анализа архитектурных решений

В BIM-моделировании можно быстро сравнивать альтернативные варианты проектирования:

- **Вариант 1:** здание вытянутой формы, ориентация фасадов на восток-запад, площадь остекления 60% — высокие теплопотери, перегрев летом.
- **Вариант 2:** компактное здание с южной ориентацией, остекление 35% — баланс между естественным освещением и теплопотерями, экономия до 20% энергии.

С помощью визуальных графиков тепловых потоков (heat maps) проектировщик может увидеть зоны наибольших потерь и предложить изменения в планировке. BIM позволяет детализировать каждый элемент оболочки здания и установить точные теплотехнические параметры:

- Сравнение стен с минеральной ватой и пенополистиролом показывает разницу в коэффициенте сопротивления теплопередаче (R), что отражается на итоговом энергопотреблении.
- Учитывается наличие или отсутствие термических мостов (например, в балконных плитах, узлах креплений окон).

BIM-модель включает компоненты систем HVAC, водоснабжения и электроснабжения. Встроенные расчётные модули позволяют:

- оценивать эффективность различных систем вентиляции;
- моделировать интеграцию с ВИЭ (солнечные панели, геотермальные источники);
- проводить расчет рекуперации тепла.

При сравнении традиционной системы отопления с радиаторами и системой тёплого пола с погодозависимым регулированием, в ряде случаев наблюдается снижение потребления тепла на 15–25%.

Кейс 1: BIM-анализ жилого комплекса в условиях континентального климата

Объект: многосекционный жилой дом в Ташкенте, 12 этажей

ПО: Revit + Insight + ClimateStudio

- **Вариант 1:** традиционная кирпичная кладка, окна с однокамерными стеклопакетами, без систем рекуперации.
Результат: удельное энергопотребление — 210 кВт·ч/м²·год.
- **Вариант 2:** стена с утеплителем (минвата 100 мм), окна с низкоэмиссионным стеклом, механическая вентиляция с рекуперацией.
Результат: энергопотребление снизилось до 120 кВт·ч/м²·год (экономия ~43%).

Кейс 2: Моделирование влияния ориентации здания

Объект: жилой дом П-образной формы (9 этажей)

ПО: IES VE

Анализ вариантов ориентации показал:

- южное направление фасадов позволяет использовать больше солнечного тепла зимой;
- ориентация остекления на запад увеличивает перегрев летом, что требует дополнительных затрат на охлаждение.

Оптимизированная ориентация и навесные конструкции привели к снижению энергопотребления на 18%.

Кейс 3: Интеграция BIM и ВИЭ

Объект: 14-этажный дом с плоской крышей

ПО: Revit + Green Building Studio

- Внесены данные о солнечной инсоляции, смоделирована установка 50 м² солнечных панелей.
- Получаемая энергия покрывает до 22% потребностей ГВС.
- ROI установки составил 6 лет при цене энергии в регионе 0.4 цента/кВт·ч.

Таким образом, даже в условиях умеренного климата возможно достижение частичной энергетической автономии при правильном проектировании.

Результаты и выводы. В ходе исследования было выявлено, что энергоэффективность многоэтажных жилых зданий определяется широким спектром факторов — от геометрии здания до уровня автоматизации

инженерных систем. Особое значение имеет стадия проектирования, когда ошибки можно предотвратить с минимальными затратами.

Основные выводы:

- Наибольшее влияние на энергопотребление оказывают архитектурно-планировочные решения и качество ограждающих конструкций.
- Инженерные системы и пользовательское поведение также существенно влияют на фактическое энергопотребление.
- Применение цифрового проектирования и технологии BIM позволяет системно анализировать и оптимизировать факторы энергоэффективности.
- BIM предоставляет возможности для быстрой проверки альтернативных решений, оценки влияния каждого компонента и интеграции с ВИЭ.

Рекомендации:

1. Использовать BIM-моделирование на ранних этапах проектирования для анализа теплопотерь и инсоляции.
2. Предпочитать компактные формы зданий с рациональной ориентацией.
3. Применять многослойные фасады с эффективной теплоизоляцией.
4. Внедрять системы механической вентиляции с рекуперацией.
5. Интегрировать ВИЭ с предварительным моделированием окупаемости.
6. Разрабатывать сценарии эксплуатации и учитывать поведение пользователей.

Современные тенденции в архитектуре и строительстве требуют перехода от формального соблюдения нормативов к сознательному проектированию энергоэффективной среды. Использование BIM как аналитического инструмента даёт проектировщику новое качество контроля над энергетическим профилем здания, открывая путь к устойчивому и экономичному строительству.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строительные нормы и правила Республики Узбекистан (СНиП РУз 2.01.04–19). Энергетическая эффективность зданий. – Ташкент: НИИСМИ, 2019.
2. Строительные нормы и правила Республики Узбекистан (СНиП РУз 2.01.07–20). Инженерные системы: отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Ташкент: НИИСМИ, 2020.
3. O’z DSt 3322:2018. Энергоэффективность зданий и сооружений. Термины и определения. – Ташкент: Агентство «O’zstandart», 2018.
4. Эргашев К.К., Юнусова Ш.Б. Современные направления повышения энергоэффективности зданий и сооружений. // Научно-технический журнал «Архитектура и строительство». – Ташкент: ТКТИ, 2021. – №4. – С. 45–51.

5. Мирзаев А.Б., Хамраев Б.Т. Оптимизация проектных процессов на основе технологии BIM. // Журнал «Строительство и архитектура». – Ташкент: ТКТИ, 2022. – №2. – С. 32–39.
6. Алиев С.Ж. Информационное моделирование зданий (BIM): Учебное пособие. – Ташкент: ТКТИ, 2020. – 148 с.
7. Каримов У.А. Энергоэффективность в гражданском строительстве. – Ташкент: Фан, 2021. – 172 с.
8. Саидуллаев Ф.Ш., Рахимов У.М. Энергосберегающие технологии в строительстве. – Ташкент: Изд-во ТАТУ, 2022. – 96 с.
9. Руководство по использованию Autodesk Revit и модуля анализа энергии Insight. – [Электронный ресурс] – Доступ: <https://knowledge.autodesk.com/>
10. Официальный сайт IES VE – программное обеспечение для энергетического моделирования. – [Электронный ресурс] – <https://www.iesve.com/software/virtual-environment>
11. Махмудов Д.К., Абдураззаков И.Ш. Внедрение возобновляемых источников энергии в зданиях и сооружениях. – Ташкент: Изд-во ТАТУ, 2023. – 102 с.