

DOI 10.15826/rjst.2025.2.004

УДК 697.1:697.13:697.16:699.8

*Н. Е. Таран*

Тюменский Индустриальный Университет, г. Тюмень, Россия

e-mail: tarann04@mail.ru

## **БАЗОВЫЕ ПОДХОДЫ К ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОМУ КАПИТАЛЬНОМУ РЕМОНТУ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ СТАРОГО ФОНДА НА ПРИМЕРЕ Г. ТЮМЕНИ**

**Аннотация.** В статье рассматриваются основные подходы к проведению базового энергоэффективного капитального ремонта жилых зданий старого фонда на примере города Тюмени. В последние годы в России и Тюменской области особое внимание уделяется модернизации ветхого жилого фонда с целью снижения тепловых потерь и повышения качества жизни населения. Рассмотрены основные инженерно-технические решения, применяемые при ремонте фасадов, кровель и инженерных систем, которые способствуют значительному сокращению энергопотребления. Особое внимание уделяется применению современных теплоизоляционных материалов, улучшению вентиляции и замене устаревших систем отопления и электроснабжения. Важным этапом является расчёт теплотехнических показателей модернизированных блоков ограждающих конструкций с использованием программного комплекса TEMPER 3D, который позволяет моделировать температурные поля и выявлять потенциальные места образования конденсата и промерзания. Расчет позволяет комплексно оценить эффективность проведённых мероприятий и адаптировать технологии под конкретные условия эксплуатации зданий. Применение комплексного подхода к энергоэффективному капитальному ремонту с использованием современных технологий и программного моделирования обеспечивает значительное улучшение тепловых характеристик зданий, продлевает срок их эксплуатации и повышает комфорт проживания. Базовые подходы способствуют не только снижению затрат на отопление, но и уменьшению негативного влияния жилого фонда на окружающую среду. Результаты исследований могут быть полезны для планирования дальнейших мероприятий по модернизации жилого фонда Тюмени и других городов с аналогичной архитектурной застройкой.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, капитальный ремонт, жилые здания старого фонда, теплоизоляция, замена инженерных систем, энергосбережение, модернизация, базовый энергоэффективный ремонт, ПК TEMPER 3D

**Для цитирования:** Таран Н. Е. Базовые подходы к энергоэффективному капитальному ремонту жилых зданий старого фонда на примере г. Тюмени // Russian Journal of Construction Science and Technology. – 2025. – Т. 11. – № 2. – 1102004. – DOI 10.15826/rjst.2025.2.004.

---

*N. E. Taran*

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

e-mail: tarann04@mail.ru

## **BASIC APPROACHES TO ENERGY-EFFICIENT CAPITAL RENOVATION OF OLD RESIDENTIAL BUILDINGS ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF TYUMEN**

**Abstract.** The article discusses the main approaches to carrying out basic energy-efficient major renovations of old residential buildings using the example of the city of Tyumen. In recent years, special attention has been paid in Russia and the Tyumen region to the modernisation of dilapidated residential buildings in order to reduce heat loss and improve the quality of life of the population. The main engineering and technical solutions used in the renovation of facades, roofs and engineering systems, which contribute to a significant reduction in energy consumption, are considered. Particular attention is paid to the use of modern thermal insulation materials, improved ventilation and the replacement of outdated heating and power supply systems. An important stage is the calculation of the thermal performance of modernised building envelope units using the Temper 3D software package, which allows temperature fields to be modelled and potential areas of condensation and freezing to be identified. The calculation allows for a comprehensive assessment of the effectiveness of the measures taken and the adaptation of technologies to the specific operating conditions of the buildings. The use of a comprehensive approach to energy-efficient capital repairs using modern technologies and software modelling significantly improves the thermal characteristics of buildings, extends their service life and increases living comfort. Basic approaches contribute not only to reducing heating costs, but also to reducing the negative impact of the housing stock on the environment. The results of the research may be useful for planning further measures to modernise the housing stock in Tyumen and other cities with similar architectural development.

**Key words:** energy efficiency, major renovation, old residential buildings, thermal insulation, replacement of engineering systems, energy saving, modernisation, basic energy-efficient repairs, PC TEMPER 3D

**For citation:** Taran N. E. (2025) Basic approaches to energy-efficient capital renovation of old residential buildings on the example of the city of Tyumen. Russian Journal of Construction Science and Technology. 11(2). 1102004. (In Russ.) DOI 10.15826/rjct.2025.2.004.

### **1. Введение**

Целью данного исследования является изучение базовых подходов к энергоэффективному капитальному ремонту жилых зданий старого фонда на примере города Тюмени, включая анализ современных строительных материалов, инженерных решений и применение программного комплекса TEMPER 3D [1] для моделирования температурных полей и выбора оптимальных вариантов оптимизации ограждающих конструкций.

В современных условиях повышения стоимости энергоресурсов и ужесточения требований к энергоэффективности строительство и модернизация жилых зданий приобретают особую значимость. Особенное внимание уделяется жилым зданиям старого фонда, которые зачастую имеют низкие тепло-технические характеристики и значительные теплопотери [2–4]. Это особенно актуально для регионов с суровым климатом, таких как Тюменская область, где расходы на отопление со-

ставляют значительную часть эксплуатационных затрат.

Государственная политика в области энергосбережения, закреплённая в Федеральном законе № 123 «О государственном регулировании в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности» от 27 ноября 2009 года, задаёт стратегические ориентиры и стимулирует проведение энергоэффективных капитальных ремонтов жилого фонда [5].

Жилой фонд Тюмени разделён на две основные части: старые здания предвоенного и советского периодов, которые составляют около 65 % жилья, и новостройки – около 35 %. Значительный износ инженерных систем и ограждающих конструкций в домах старого фонда создают острую необходимость проведения базового энергоэффективного ремонта. Несмотря на активное строительство новых объектов, большая часть жителей продолжает проживать в старом фонде, что подчёркивает важность модернизации существующих зданий для повышения их энергоэффективности и комфорта.

Базовый энергоэффективный ремонт представляет собой комплекс инженерно-технических мероприятий, направленных на снижение теплопотерь и оптимизацию систем энергоснабжения [6]. В его рамках проводится замена и улучшение теплотехнических показателей ограждающих конструкций, модернизация систем отопления, вентиляции и электроснабжения, что способствует повышению комфорта и продлению срока службы зданий. Программный комплекс TEMPER 3D позволяет смоделировать температурные поля и определить зоны промерзания и конденсации в слоях ограждающих конструкций, что помогает выбрать оптимальные материалы и технологии ремонта.

## **2. Сбор и анализ исходных данных**

Для комплексного анализа и разработки эффективных мероприятий по энергоэффективному ремонту важно детально рассмотреть структуру старого жилого фонда города Тюмени. Здания старого фонда представлены разнообразными типами конструкций, каждый из которых имеет свои особенности и проблемы [7, 8].

Основу старого жилого фонда Тюмени составляют кирпичные и панельные дома, построенные в середине и конце XX века. Панельные дома, массово строившиеся в 1970–1980-х годах, отличаются невысокими теплотехническими характеристиками. Особую уязвимость представляют стыки между панелями, которые способствуют проникновению холода и возникновению конденсата. Эти особенности требуют применения специальных методов теплоизоляции и герметизации при ремонте.

В рамках исследования в качестве объекта был выбран жилой дом, расположенный по адресу: г. Тюмень, ул. Флотская, 15. Данный объект включён в «Региональную программу капитального ремонта общего имущества в многоквартирных домах Тюменской области на 2015–2053 годы» и требует проведения капитального ремонта фасада, подвала и инженерных сетей (рис. 1).

Дом, возведённый в 1980-х годах, характеризуется значительным износом конструктивных элементов и не соответствует современным требованиям энергоэффективности. Проведённый предварительный анализ исходных данных и параметров здания подтверждает актуальность и значимость выбора данного объекта для реализации поставленных исследовательских задач [9–12].

Состав ограждающих конструкций наружных стен, цокольного и чердачного перекрытий, а также окон, дверей и балконов определялся на основе документации, предоставленной управля-

ющей компанией, и типового проекта серии 1–467А–15. Расчетное сопротивление теплопередаче наружной стены, выполненной из двух слоев цементно-песчаного раствора и стеновой панели из ячеистого бетона толщиной 275 мм, составило  $1,42 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$  при нормативном значении  $3,48 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ . Для чердачного перекрытия, включающего железобетонную плиту перекрытия, цементно-песчаную стяжку и два слоя насыпного керамзита толщиной 100 и 325 мм, расчетное сопротивление достигло  $4,023 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$  при норме  $4,59 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ . Сопро-

тивление цокольного перекрытия, состоящего из железобетонной плиты, цементно-песчаной стяжки толщиной 50 мм и деревянного пола, равно  $0,531 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$  при нормативном значении  $4,59 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ . В ходе сбора информации также выполнен анализ и подсчет количества деревянных и пластиковых ограждающих конструкций окон и балконов. Обнаружено, что двери заменены металлическими без теплоизоляционного слоя, тогда как двери в подвал и технические помещения сохранились деревянными.



**Рис. 1.** Многоквартирный жилой дом, расположенный по адресу г. Тюмень, ул. Флотская, 15

### 3. Расчет и анализ энергетических потерь в зданиях старого фонда

Для определения количества теплотерь был выполнен расчет энергетического паспорта на основе исходных данных, включающих технические характеристики здания, материалы ограждающих конструкций, климатические условия и режимы эксплуатации.

Результаты показали, что дом не соответствует современным нормам теплозащиты и требует реконструкции. Теплозащитная оболочка здания не удовлетворяет поэлементным требованиям по сопротивлению теплопередаче для большинства ограждающих конструкций. Чердачное и цокольное перекрытия приближаются к нормам, хотя и не полностью им соответствуют (табл. 1).

По комплексному показателю удельной теплозащитной характеристики здание не соответствует нормам – расчетное значение  $0,5162 \frac{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ . ниже нормативного  $0,546 \frac{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ . Санитарно-гигиенические требования на минимальную температуру внутренних поверхностей ограждающих конструкций выполнены – измерения и графический анализ показывают температуру значительно выше минимально допустимых  $7,72 \text{ °C}$ .

Таким образом, теплозащитная оболочка здания удовлетворяет только санитарно-гигиеническому требованию,

но не обеспечивает достаточного уровня теплоизоляции основных конструктивных элементов. Наибольшие теплопотери возникают через оконные и дверные проемы, что связано с их низким сопротивлением теплопередаче и способствует возникновению конвективных потоков и холодных зон. Это особенно критично, так как в этих местах происходит значительная потеря тепла и снижение комфортных условий проживания. Для повышения энергоэффективности здания требуется реконструкция с утеплением или заменой ограждающих конструкций, особенно окон и дверей [13].

Таблица 1

**Теплотехнические показатели**

Показатель приведенного сопротивления теплопередачи	Обозначение и единица измерения	Нормируемое значение $R_0^н, \frac{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$	Расчетное проектное значение $R_0^{пр} \frac{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$	Фактическое значение
стен	$R_{0,ст}^{пр}$	3,48	1,42	–
окон	$R_{0,ок}^{пр}$	0,6	0,65	–
входных дверей	$R_{0,дв}^{пр}$	–	1,058	–
чердачных перекрытий	$R_{0,черд}^{пр}$	4,59	4,023	–
цокольных перекрытий	$R_{0,цок.1}^{пр}$	4,59	0,531	–

#### 4. Базовые подходы и мероприятия энергоэффективного ремонта

##### 4.1. Модернизация инженерных систем

Модернизация инженерных систем является ключевым фактором повышения энергоэффективности зданий, особенно актуальным для объектов старого фонда, не соответствующих современным техническим требованиям. В системе отопления особое значение имеет замена устаревших котлов на современные высокоэффективные агрегаты, включая конденсационные модели с повышенным коэффициентом полез-

ного действия. Существенным мероприятием также является внедрение автоматизированных систем регулирования температуры – термостатических клапанов и программируемых контроллеров, обеспечивающих гибкое управление тепловым режимом помещений и снижение расхода топлива. Применение зонального отопления позволяет более точно контролировать микроклимат в различных частях здания.

В области горячего водоснабжения рекомендуется использование энергоэффективных водонагревателей с циркуляционными системами, что способствует снижению тепловых потерь и

повышению комфорта эксплуатации.

Модернизация электрических систем включает переход на светодиодные источники света и интеграцию автоматизированных систем управления освещением (например, датчики движения и таймеры), что существенно снижает энергопотребление и улучшает эргономичность эксплуатации. Особое внимание уделяется установке современных счётчиков учёта энергоресурсов (тепла, воды, электроэнергии), которые позволяют не только контролировать потребление, но и выявлять источники излишних потерь энергии.

Модернизация электрических систем включает переход на светодиодные источники света и интеграцию автоматизированных систем управления освещением, что существенно снижает энергопотребление и улучшает эргономичность эксплуатации [14].

#### **4.2. Оптимизация ограждающих конструкций**

Для улучшения теплозащитных характеристик зданий старого фонда предлагается несколько эффективных мероприятий, которые возможно реализовать с минимальными затратами. Во-первых, в существующем чердачном перекрытии рекомендуется увеличить толщину утепляющего слоя из керамзита. Это позволит существенно уменьшить теплопотери через крышу. Во-вторых, необходимо провести тепло- и гидроизоляционные работы в цокольном перекрытии. Для этого целесообразно использовать материалы с низкой теплопроводностью – экструдированный пенополистирол. Такие меры предотвратят промерзание и негативное воздействие влаги.

Третье направление – утепление фасада без демонтажа существующих штукатурных слоёв. Оптимальный вариант реализации – «мокрый» фасад с нанесением минеральной ваты и ветрозащитной плёнки под декоративную

штукатурку.

Последнее направление базового энергоэффективного ремонта – замена деревянных окон и остекления балконов на пластиковые энергоэффективные конструкции. Это позволяет значительно снизить теплопотери через оконные проёмы. Для повышения сопротивления теплопередаче в тамбурных помещениях рекомендуется установка тройных дверей.

Использование современных теплоизоляционных материалов и систем дополнительно улучшает микроклимат и снижает энергорасходы. Все предложенные меры направлены на улучшение теплозащиты здания с минимальным нарушением его конструкции. Такая комплексная оптимизация способствует экономии энергоресурсов и повышению комфорта проживания [15].

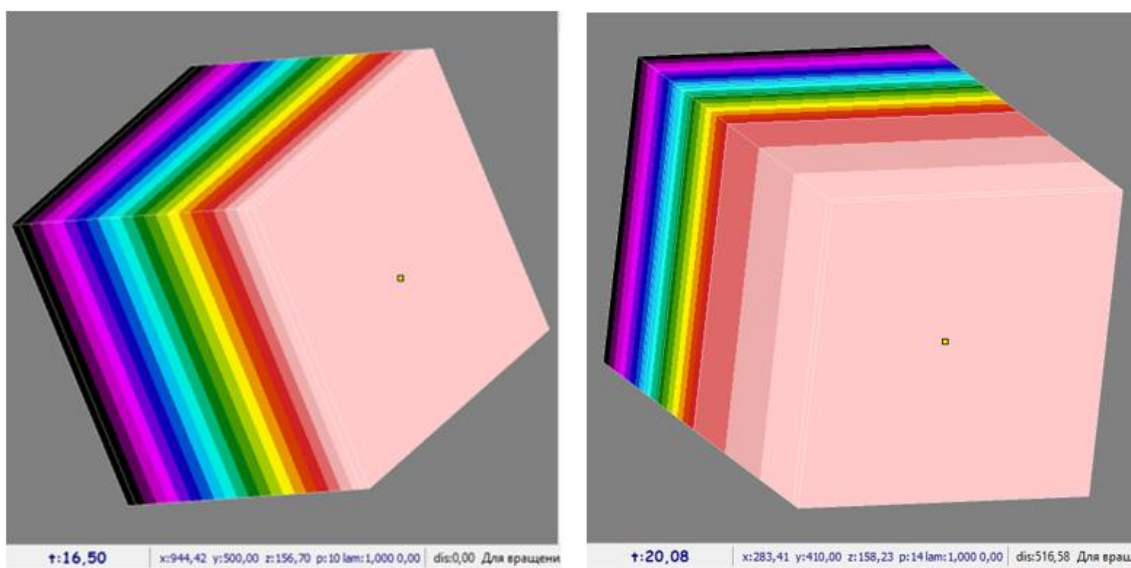
#### **5. Оценка эффективности предложенных мероприятий**

Для оценки эффективности теплоизоляционных мероприятий было проведено моделирование теплотехнических характеристик ограждающих конструкций с использованием программы TEMPER 3D [16].

##### **5.1. Моделирование ограждающих конструкций стен**

В составе ограждающей конструкции использовалась технология «мокрого» фасада, где утеплительный слой из минеральной ваты толщиной 80 мм укладывается с применением ветрозащитной пленки. Снаружи утеплитель покрыт отделочными материалами: декоративной фасадной штукатуркой толщиной 10 мм и силикатной краской толщиной 5 мм.

Температура на внутренней поверхности стены до утепления составляла 16,5 °С, после внедрения теплоизоляционного слоя она повысилась до 20,08 °С, что положительно влияет на микроклимат помещений (рис. 2)



**Рис. 2.** Температурные поля до утепления (слева) и после (справа)

Согласно нормативным требованиям, приведённое сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающей конструкции должно быть не меньше нормируемых значений:

$$R_0^{\text{расч}} \geq R_0^{\text{норм}} \quad (1)$$

Следовательно, после проведения модернизации ограждающей конструкции стены приведённое сопротивление теплопередаче определяется как:

$$R_{0,\text{ст}}^{\text{расч}} = 3,77 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт} > R_{0,\text{ст}}^{\text{норм}} = 3,48 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт} \quad (2)$$

Результаты моделирования подтверждают эффективность предложенного теплоизоляционного решения и обосновывают целесообразность его применения в рамках базового энергоэффективного ремонта фасадов зданий. При этом улучшение температуры внутренней поверхности стены способствует предотвращению образования плесени [17].

## 5.2. Моделирование ограждающих конструкций чердачного перекрытия

В существующем чердачном перекрытии увеличена толщина насыпного теплоизоляционного слоя из керамзита. В ходе реконструкции 2021 года были добавлены слои: стяжка толщиной 50 мм, пароизоляция «Изоспан» толщиной 2 мм и насыпной керамзит 100 мм. После увеличения толщины слоя керамзита в 1,5 раза температура на внутренней поверхности конструкции повысилась на 10 %. Это говорит об улучшении теплоизоляционных свойств и снижении теплопотерь сквозь перекрытие. Увеличение толщины керамзита и применение пароизоляционного слоя способствуют повышению энергоэффективности конструкции (рис. 3).

График распределения температур, построенный вручную, показал, что точка росы (7,72 °C) находится внутри слоя керамзита толщиной 100 мм, что ведёт к образованию конденсата в утеплителе.

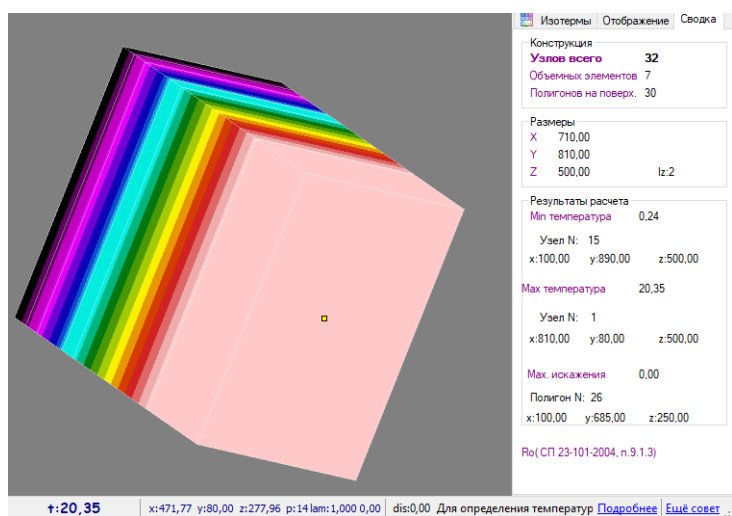


Рис. 3. Распределение температурных полей после утепления

### 5.3. Моделирование ограждающих конструкций цокольного перекрытия

Моделирование ограждающих конструкций чердачного перекрытия проводилось с использованием теплоизоляционного слоя каменной ваты толщиной

200 мм и гидроизоляционной плёнки толщиной 0,4 мм.

Исходная температура составляла 20,17 °С, после установки слоёв она снизилась до 16,49 °С. Температура уменьшилась примерно в 1,22 раза, что свидетельствует об улучшении теплоизоляционных свойств конструкции (рис. 4).

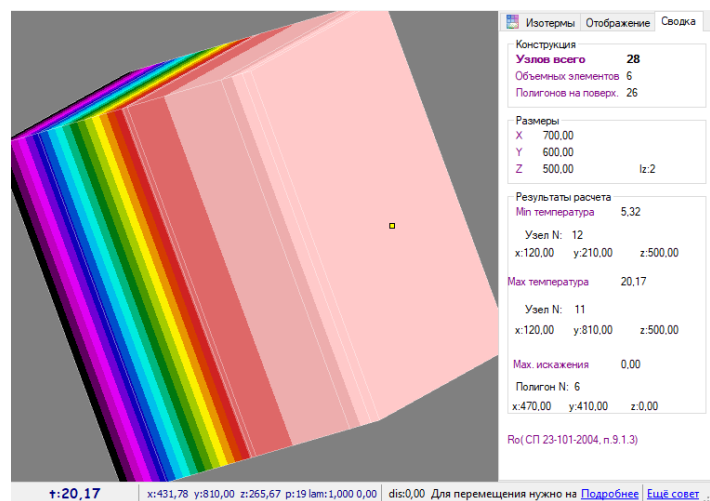


Рис. 4. Распределение температурных полей после утепления

В цокольном перекрытии предложено применение экструдированного пенополистирола или пенопласта для тепло- и гидроизоляции. Эти материалы обеспечивают высокое тепловое сопротивление и защиту от влаги, что увеличивает долговечность перекрытий.

## 6. Заключение

В условиях значительной изношенности старого жилого фонда с ограниченным оставшимся сроком службы проведение базового энергоэффективного ремонта становится ключевым ин-

струментом для повышения энергоэффективности и комфорта проживания. В результате комплексных мероприятий при капитальном ремонте многоквартирного дома показатели энергоэффективности возросли на 31%. Улучшение теплоизоляции, модернизация инженерных систем и использование современных материалов позволили достичь класса энергоэффективности C+, что существенно снизило теплотери и оптимизировало энергопотребление.

Анализ узловых соединений с помощью ПК TEMPER-3D выявил зоны максимальных теплотерь, что подчеркнуло необходимость внедрения инновационных теплоизоляционных материалов, особенно актуальных для старых зданий. Применение современных технологий, включая наноматери-

алы и цифровой мониторинг, обеспечивает долговременную устойчивость конструкций и эффективный контроль энергопотребления. Внедрение таких решений позволяет значительно продлить срок эксплуатации зданий и снизить их негативное воздействие на окружающую среду.

Таким образом, базовый энергоэффективный ремонт старого жилого фонда с учётом его ограниченного срока службы подтверждает свою эффективность и рекомендуется для широкого применения. Разработанные решения могут послужить основой для формирования нормативных требований и масштабного улучшения энергоэффективности жилого фонда на региональном и государственном уровнях.

### **Список используемых источников**

1. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «TEMPER-3D» №2006610359 от 20 января 2006 г. (правообладатель Фёдоров С. В.). — URL: <https://www.temper3d.ru/publish/raschet> (дата обращения: 16.11.2024). — Текст : электронный.
2. Ingeli, R. Detection of thermal bridges in the building. — URL: [https://www.researchgate.net/publication/329916338\\_Detection\\_of\\_thermal\\_bridges\\_in\\_the\\_building](https://www.researchgate.net/publication/329916338_Detection_of_thermal_bridges_in_the_building) (дата обращения: 11.07.2025). — Текст : электронный.
3. Ramesh, T., Prakash, R., Shukla, K. K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview // Energy and Buildings. — 2010. — Т. 42. — № 10. — С. 1592–1600. — URL: [https://www.researchgate.net/publication/229400115\\_Life\\_cycle\\_energy\\_analysis\\_of\\_buildings\\_An\\_overview](https://www.researchgate.net/publication/229400115_Life_cycle_energy_analysis_of_buildings_An_overview) (дата обращения: 11.07.2025). — Текст : электронный.
4. Королев, Д. Ю., Семёнов, В. Н. Современные методы повышения тепловой защиты зданий // Молодой учёный. — 2010. — № 3. — С. 26–29.
5. Макагонов, В. Какие инновационные технологии применяются при капитальном ремонте в Москве. — URL: <https://www.m24.ru/articles/stroitelstvo/27112014/60873> (дата обращения: 12.09.2025). — Текст : электронный.
6. Тхазаплизева, А. М., Нагоева, А. О. Инновации в строительстве: аэрогелевая изоляция // Научно-практический электронный журнал «Аллея науки». — 2019. — № 2(29). — URL: [https://alleyscience.ru/domains\\_data/files/21February2019/INNOVACII%20V%20STROITELSTVE%20AEROGELEVAYa%20IZOLYaCIYa.pdf](https://alleyscience.ru/domains_data/files/21February2019/INNOVACII%20V%20STROITELSTVE%20AEROGELEVAYa%20IZOLYaCIYa.pdf) (дата обращения: 12.09.2025). — Текст : электронный.
7. СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий». — Сайт. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 12.09.2024). — Текст : электронный.
8. Хотенко, С. Н. [и др.] Техническая эксплуатация жилых зданий : Учебник для вузов / под ред. В. И. Римшина, А. М. Стражникова. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — М. : Студент, 2012. — 639 с.
9. Loga, T., Diefenbach, N. Use of building typologies for energy performance assessment of national building stocks. Existent experiences in European countries and common approach. First TABULA synthesis report. — 2010. — URL: <https://vbn.aau.dk/en/publications/use-of-building-typologies-for-energy-performance-assessment-of-n> (дата обращения: 11.07.2025). — Текст : электронный.
10. Sousa, J. Energy simulation software for buildings: Review and comparison // International Workshop on Information Technology for Energy Applications — IT4Energy, Lisbon. — 2012. — С. 1–12. — URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Energy-Simulation-Software-for-Buildings-%3A-Review->

- Sousa/b4b6593df77024a585b68d066bf2bd668838f852 (дата обращения: 06.07.2025). — Текст : электронный.
11. Manfren, M. et al. Parametric energy performance analysis and monitoring of buildings — HEART project platform case study // *Sustainable Cities and Society*. — 2020. — Т. 61. — С. 102296. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670720305175> (дата обращения: 05.01.2025). — Текст : электронный.
  12. Kumar, D. et al. Comparative analysis of building insulation material properties and performance // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. — 2020. — Т. 131. — С. 110038. — URL: <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v131y2020ics1364032120303294.html> (дата обращения: 05.01.2025). — Текст : электронный.
  13. Насонова, А. Е. Энергоэффективные дома глазами потребителей // Библиотека научных статей АВОК. — 2024. — URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4941](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4941) (дата обращения: 12.09.2024). — Текст : электронный.
  14. Онлайн-сервис Дом.МинЖКХ. — Сайт. — URL: <https://dom.mingkh.ru/tyumenskaya-oblast/tyumen/234691> (дата обращения: 16.11.2024). — Текст : электронный.
  15. СП 131.13330.2020 «Строительная климатология». Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*. — Введен в действие с 25 июня 2021 г. — М. : ФАУ «ФЦС», 2021. — 146 с. — Текст : непосредственный.
  16. Кривошеин, А. Д., Фёдоров, С. В. К вопросу о расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // *Инженерно-строительный журнал*. — 2010. — № 8. — С. 21–27. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15502189> (дата обращения: 12.09.2024). — Текст : электронный.
  17. Cheekatamarla, P. et al. Energy efficient, cost-effective power and co-generation technologies: techno-environmental analysis. — 2021. — URL: <https://docs.lib.purdue.edu/iracc/2125> (дата обращения: 11.07.2025). — Текст : электронный.
  18. Silvestre, J. D. et al. Retrofitting a building's envelope: sustainability performance of ETICS with ICB or EPS // *Applied Sciences*. — 2019. — Т. 9. — № 7. — С. 1285. — URL: [https://www.researchgate.net/publication/332077140\\_Retrofitting\\_a\\_Building's\\_Envelope\\_Sustainability\\_Performance\\_of\\_ETICS\\_with\\_ICB\\_or\\_EPS](https://www.researchgate.net/publication/332077140_Retrofitting_a_Building's_Envelope_Sustainability_Performance_of_ETICS_with_ICB_or_EPS) (дата обращения: 24.11.2022). — Текст : электронный.
  19. Aste, N. et al. Thermal inertia and energy efficiency — parametric simulation assessment on a calibrated case study // *Applied Energy*. — 2015. — Т. 145. — С. 111–123. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261915001208> (дата обращения: 25.04.2024). — Текст : электронный.
  20. Cheekatamarla, P. K. Decarbonization of residential building energy supply: impact of cogeneration system performance on energy, environment, and economics // *Energies*. — 2021. — Т. 14. — № 9. — С. 2538. — URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/9/2538> (дата обращения: 08.04.2024). — Текст : электронный.
  21. Lind, A., Espegren, K. The use of energy system models for analyzing the transition to low-carbon cities — the case of Oslo // *Energy Strategy Reviews*. — 2017. — Т. 15. — С. 44–56. — URL: [https://www.researchgate.net/publication/313056128\\_The\\_use\\_of\\_energy\\_system\\_models\\_for\\_analysing\\_the\\_transition\\_to\\_low-carbon\\_cities\\_-\\_The\\_case\\_of\\_Oslo](https://www.researchgate.net/publication/313056128_The_use_of_energy_system_models_for_analysing_the_transition_to_low-carbon_cities_-_The_case_of_Oslo) (дата обращения: 23.12.2024). — Текст : электронный.

## References

1. Official certificate of computer program registration "TEMPER-3D," No. 2006610359 issued on January 20, 2006 (owner: Fyodorov S.V.). Retrieved from <https://www.temper3d.ru/publish/raschet> (Accessed November 16, 2024).
2. Ingeli, R. (n.d.). Detection of thermal bridges in the building. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/329916338\\_Detection\\_of\\_thermal\\_bridges\\_in\\_the\\_building](https://www.researchgate.net/publication/329916338_Detection_of_thermal_bridges_in_the_building) (Accessed July 11, 2025).
3. Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 42(10), 1592–1600. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/229400115\\_Life\\_cycle\\_energy\\_analysis\\_of\\_buildings\\_An\\_overview](https://www.researchgate.net/publication/229400115_Life_cycle_energy_analysis_of_buildings_An_overview) (Accessed July 11, 2025).
4. Korolev, D. Yu., & Semenov, V. N. (2010). Modern methods for improving the thermal protection of buildings. *Molodoy ucheny*, (3), 26–29.

5. Makagonov, V. (2014, November 27). What innovative technologies are used during capital repairs in Moscow? Retrieved from <https://www.m24.ru/articles/stroitelstvo/27112014/60873> (Accessed September 12, 2025).
6. Tkhasaplizheva, A. M., & Nagoeva, A. O. (2019). Innovations in construction: Aerogel insulation. *Allay of Science*, (2)(29). Retrieved from [https://alleyscience.ru/domains\\_data/files/21February2019/INNOVACII%20V%20STROITELSTVE%20AEROG ELEVAYa%20IZOLYaCIYa.pdf](https://alleyscience.ru/domains_data/files/21February2019/INNOVACII%20V%20STROITELSTVE%20AEROG ELEVAYa%20IZOLYaCIYa.pdf) (Accessed September 12, 2025).
7. Regulation SP 50.13330.2024 "Thermal Protection of Buildings." Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (Accessed September 12, 2024).
8. Notenko, S. N., Rimshin, V. I., Stragnikov, A. M. (Eds.). (2012). Technical operation of residential buildings: Textbook for universities (3rd ed., rev. and ext.). Moscow: Student Press.
9. Loga, T., & Diefenbach, N. (2010). Use of building typologies for energy performance assessment of national building stocks. Existent experiences in European countries and common approach. First TABULA synthesis report. Retrieved from <https://vbn.aau.dk/en/publications/use-of-building-typologies-for-energy-performance-assessment-of-n> (Accessed July 11, 2025).
10. Sousa, J. (2012). Energy simulation software for buildings: Review and comparison. *International Workshop on Information Technology for Energy Applications—IT4Energy, Lisbon*, 1–12. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Energy-Simulation-Software-for-Buildings-%3A-Review-Sousa/b4b6593df77024a585b68d066bf2bd668838f852> (Accessed July 6, 2025).
11. Manfren, M., Scrivano, A., Cecchini, R., Belloni, F., Colombo, A., Spada, F., Cazzani, A. (2020). Parametric energy performance analysis and monitoring of buildings — HEART project platform case study. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102296. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670720305175> (Accessed January 5, 2025).
12. Kumar, D., Behera, B. K., Patra, A. K., Mahanta, C. (2020). Comparative analysis of building insulation material properties and performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 110038. Retrieved from <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v131y2020ics1364032120303294.html> (Accessed January 5, 2025).
13. Nasonova, A. E. (2024). Energy-efficient houses from consumer perspectives. Retrieved from [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4941](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4941) (Accessed September 12, 2024).
14. Online service Dom.MinZhKH. Retrieved from <https://dom.mingkh.ru/tyumenskaya-oblast/tyumen/234691> (Accessed November 16, 2024).
15. Regulation SP 131.13330.2020 "Building Climatology." Revised edition of SNiP 23-01-99\*. Enforced starting June 25, 2021. Moscow: FAU "FCS," 2021. 146 pages.
16. Krivoshein, A. D., & Fyodorov, S. V. (2010). Calculation of equivalent thermal resistance of building envelopes. *Engineering and Construction Journal*, (8), 21–27. Retrieved from <https://elibrary.ru/item.asp?id=15502189> (Accessed September 12, 2024).
17. Cheekatamarla, P. et al. (2021). Energy efficient, cost-effective power and co-generation technologies: Techno-environmental analysis. Retrieved from <https://docs.lib.purdue.edu/iracc/2125> (Accessed July 11, 2025).
18. Silvestre, J. D. et al. (2019). Retrofitting a building's envelope: Sustainability performance of ETICS with ICB or EPS. *Applied Sciences*, 9(7), 1285. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/332077140\\_Retrofitting\\_a\\_Building%E2%80%99s\\_Envelope\\_Sustainability\\_Performance\\_of\\_ETICS\\_with\\_ICB\\_or\\_EPS](https://www.researchgate.net/publication/332077140_Retrofitting_a_Building%E2%80%99s_Envelope_Sustainability_Performance_of_ETICS_with_ICB_or_EPS) (Accessed November 24, 2022).
19. Aste, N. et al. (2015). Thermal inertia and energy efficiency — parametric simulation assessment on a calibrated case study. *Applied Energy*, 145, 111–123. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261915001208> (Accessed April 25, 2024).
20. Cheekatamarla, P. K. (2021). Decarbonization of residential building energy supply: Impact of cogeneration system performance on energy, environment, and economics. *Energies*, 14(9), 2538. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/9/2538> (Accessed April 8, 2024).
21. Lind, A., & Espegren, K. (2017). The use of energy system models for analyzing the transition to low-carbon cities — the case of Oslo. *Energy Strategy Reviews*, 15, 44–56. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/313056128\\_The\\_use\\_of\\_energy\\_system\\_models\\_for\\_analysing\\_the\\_transition\\_to\\_low-carbon\\_cities\\_-\\_The\\_case\\_of\\_Oslo](https://www.researchgate.net/publication/313056128_The_use_of_energy_system_models_for_analysing_the_transition_to_low-carbon_cities_-_The_case_of_Oslo) (Accessed December 23, 2024).

Получено: 12.12.25

Прошла рецензирование: 20.12.25

Принята к публикации: 26.12.25

Доступно он-лайн: 29.12.25

Received: 12.12.25

Revised: 20.12.25

Accepted: 26.12.25

Available on-line: 29.12.25