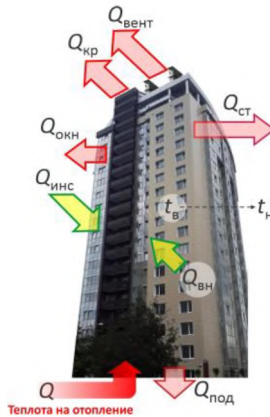


Трубаев
Павел Алексеевич

АНАЛИЗ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ



Белгород
2024

УДК 699.86:697.432

ББК 31.38

Т 77

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор **Е.Г. Гашо**
(*Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва*)

Доктор технических наук, профессор **А.Н. Бирюков**
(*Донецкий национальный технический университет, г. Донецк*)

Трубаев П.А.

Т77 Анализ и повышение энергоэффективности при проектировании и эксплуатации зданий и систем теплоснабжения / П.А. Трубаев. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2024. – 311 с.

ISBN 978-5-361-01406-4

В монографии обобщены результаты исследований в области повышения энергоэффективности при выработке и потреблении тепловой энергии, выполненные в 2009–2024 г. На основе теплофизических исследований фактических параметров теплозащиты ограждающих конструкций проведен анализ энергоэффективности зданий, предложены методы и способы выбора оптимальных ограждающих конструкций, обеспечивающих высокую фактическую энергоэффективность. Приведены результаты энергетического исследования зданий различного типа, выявлены проблемы, снижающие их энергоэффективность. Рассмотрены проекты модернизации систем централизованного и индивидуального теплоснабжения на основе традиционных и альтернативных источников со средними и долгими сроками окупаемости.

Монография предназначена для научных и инженерных работников в области строительной теплофизики, промышленной теплоэнергетики и теплотехники, теплогасоснабжения и вентиляции, а также магистров и аспирантов, обучающимся по данным направлениям.

Публикуется в авторской редакции.

УДК 699.86:697.432

ББК 31.38

Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе БГТУ им. В.Г. Шухова. Работа выполнена с использованием оборудования ЦВТ на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

ISBN 978-5-361-01406-4

© Трубаев П.А. 2024

© БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1. НОРМИРОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.....	10
1.1. Методы оценки и нормирования энергетической эффективности зданий.....	10
1.1.1. Определение расхода энергетических ресурсов в зданиях.....	10
1.1.2. Расчет теплоступлений в здание от солнечной радиации.....	13
1.1.1. Удельный расход тепловой энергии на отопление.....	14
1.1.2. Влияние компактности здания на его энергоэффективность.....	16
1.1.3. Нормирование тепловой защиты здания в России.....	18
1.1.4. Класс энергетической эффективности.....	26
1.1.5. Нормирование энергоэффективности зданий в Европе.....	28
1.1.6. Проблемы в обеспечении энергоэффективности зданий.....	32
1.2. Конструктивные решения типовых и энергоэффективных ограждающих конструкций.....	34
1.3. Методы измерений теплотехнических свойств строительных материалов и ограждающих конструкций.....	42
1.4. Результаты исследований теплозащитных свойств ограждающих конструкций в натуральных условиях.....	47
1.5. Эффективность систем теплоснабжения.....	51
1.6. Методы экономического анализа энергосберегающих мероприятий.....	62
1.7. Техничко-экономическая оценка проектов для предприятий, осуществляющих регулируемые виды деятельности.....	66
2. АНАЛИЗ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	67
2.1. Анализ сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий.....	67
2.1.1. Здание учебного заведения (БелГАУ им. В.Я. Горина).....	67
2.1.2. Современные энергоэффективные здания.....	71

2.1.3.	Оценка соответствия расчётных и фактических значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.....	77
2.2.	Анализ зависимости сопротивления теплопередаче ограждающих элементов от их конструктивного исполнения	80
2.2.1.	Измерение теплотехнических свойств на опытных стендах.....	80
2.2.2.	Влияние размера швов на сопротивление теплопередаче кладки из керамзитовых блоков	86
2.3.	Оценка энергоэффективной оконной плёнки.....	89
2.3.1.	Влияние энергосберегающей оконной плёнки на микроклимат в помещении в летнее время	89
2.3.2.	Определение теплозащитных свойств энергосберегающей оконной плёнки с использованием пиранометра.....	92
2.4.	Выводы по главе	94
3.	ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ И ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ	95
3.1.	Оценка энергопотребления и энергоэффективности в бюджетных учреждениях Белгородской области.....	95
3.2.	Структура энергопотребления и оценка энергоэффективности зданий г. Белгорода	103
3.3.	Анализ энергосберегающих мероприятий для дошкольных учреждений г. Белгорода	111
3.4.	Оценка энергоэффективности зданий разного объёма	117
3.5.	Обследование современных энергоэффективных зданий	120
3.5.1.	Жилой дом (г. Белгород).....	120
3.5.2.	Административное здание (г. Белгород)	129
3.5.3.	Торгово-офисное здание с подземным паркингом (г. Белгород)	134
3.6.	Обследование зданий, построенных в советский период	145
3.6.1.	Обследование и оценка энергоэффективности комплекса разнотипных зданий на примере МУЗ «Муниципальная городская клиническая больница №1».....	145
3.6.2.	Определение класса энергоэффективности многоквартирных домов г. Губаха Пермского края.....	157

3.6.3.	Инструментальное теплотехническое обследование ограждающих конструкций зданий перед проведением капитального ремонта.....	164
3.6.4.	Анализ энергоэффективности зданий после капитального ремонта.....	174
3.7.	Оценка эффективности энергосбережения в индивидуальном строительстве в условиях Белгородской области	179
3.7.1.	Методика определения суммарных затрат на отопление и выбора оптимальной конструкции энергосберегающего дома	179
3.7.2.	Сравнение теплопотерь домов различной конструкции для трёх климатических зон.....	183
3.7.3.	Экономическое обоснование снижения энергопотребления для типовых проектов домов.....	189
3.8.	Оценка эффективности систем отопления зданий	193
3.8.1.	Исследование теплового режима эксплуатируемого многоквартирного дома при его частичном заселении ..	193
3.8.2.	Оценка энергосберегающего эффекта при установке автоматизированных тепловых пунктов в образовательных учреждениях	202
3.9.	Выводы по главе	211
4.	ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	214
4.1.	Оценка эффективности проектов индивидуального отопления	214
4.1.1.	Индивидуальное отопление учреждений образования г. Белгорода.....	214
4.1.2.	Перевод отопления МБОУ «Горьковская основная общеобразовательная школа» Грайворонского района на альтернативный вид топлива	217
4.1.3.	Перевод отопления Дома культуры с. Санково Грайворонского района на альтернативный вид топлива	225
4.1.4.	Исследование эффективности солнечной генерации в условиях Белгородской области.....	230
4.1.5.	Оценка эффективности солнечных водонагревательных установок в условиях Белгородской области	237
4.1.6.	Оценка эффективности ветрогенерации по фактическим метеорологическим данным.....	241

4.1.7. Альтернативное энергоснабжение школьного здания с использованием ВИЭ	245
4.2. Анализ эффективности модернизации систем централизованного теплоснабжения малой мощности.....	249
4.2.1. Анализ существующего положения	249
4.2.2. Технические решения по модернизации котельных	254
4.2.3. Оценка реконструкции тепловых сетей.....	261
4.2.4. Методы расчёта потенциала энергосбережения	269
4.2.5. Оценка технико-экономической эффективности модернизации котельных	285
4.3. Выводы по главе	293
5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	298
Библиографический список	300

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в РФ нет достоверных данных о структуре энергопотребления [1]. По оценке Е.Г. Гашо (МЭИ) городские поселения потребляют около половины тепловой энергии, 1/4 электроэнергии и 10% газа [1] от общего потребления в РФ. По данным отчета ЦЭНЭФ и Института энергетической стратегии Минэнерго России [2, 3] коммунальное хозяйство России потребляет около 1/3 топливно-энергетических ресурсов страны, при этом 58% этой энергии расходуется на отопление зданий, а потенциал энергосбережения в этом секторе составляет до 70% [2]. Поэтому повышение энергоэффективности новых и эксплуатируемых зданий и систем теплоснабжения является одной из приоритетных задач повышения эффективности экономики.

В 1995-2003 годах в России были приняты нормативные требования к теплозащите зданий. До принятия новых теплозащитных нормативов здания проектировались с учетом только санитарно-гигиенических требований – обеспечения температуры внутренней поверхности стены не ниже 12°C (при температуре воздуха 18°C), этому требованию в средней полосе России соответствовали стены с сопротивлением теплопередаче $R \approx 1$ (м²·К)/Вт или толщиной 2-2,5 кирпича [4]. В новых требованиях наряду с ужесточением санитарно-гигиенических требований (снижения разницы температур поверхности стены и воздуха с 6°C до 2,5...4,5°C) включены так же поэлементное требования, которыми установлены базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в зависимости от климатических условий и вида конструкции, значения которых составило от 2,1 до 8,2 (м²·К)/Вт, то есть повысилось в 2,5-3 раза. Требования так же установили комплексное требование в виде нормируемых значений удельной теплозащитной характеристики здания и удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию.

Выполнение этих требований возможно только с использованием строительных материалов с низким коэффициентом теплопроводности (различного вида утеплителей или пористых искусственных камней). При этом широко используются самые разнообразные ограждающие конструкции, в том числе многослойные ограждающие конструкции, сопротивление теплопередаче которых определяется по сумме сопротивления теплопередаче слоёв, или возведение зданий из монолитных или крупноблочных пено- и газобетонов. Процесс теплопередачи в них определяется не только свойствами материалов, но и зависит от ряда других факторов – качества и способа монтажа, наличие теплотехнических неоднородностей, условий эксплуатации. Фактические теплозащитные свойства ограждающих конструкций могут быть точно уста-

новлены только при испытаниях фрагментов готовых ограждающих конструкций в лабораториях или в натуральных условиях для эксплуатируемых зданий, а фактическое энергопотребление зданий – только по результату их эксплуатации с использованием данных общедомовых приборов учета тепловой энергии или непосредственного измерения расхода тепловой энергии на отопление.

Еще в 1997 г. В.Г. Гагарин (НИИСФ РААСН) предупреждал, что повышение требований к теплозащите приведет к крайне невысокой экономии, которая не превысит 1-2% от потребляемой энергии на отопление зданий и 2-3% от потенциала энергосбережения в жилищно-коммунальном секторе, а массовое применение эффективных теплоизоляционных материалов приведет к снижению долговечности ограждающих конструкций [4]. По его мнению причины больших потерь теплоты следует искать не в недостаточных нормативных требованиях к теплозащите зданий, а в некачественном строительстве и нарушениях условий эксплуатации зданий.

С.Е. Щеклеин (УрФУ) в работе [5] на основании анализа суммарных затрат на сооружение и эксплуатацию здания в условиях Среднего Урала показал, что энергетический критерий оптимизации приводит к существенно завышенному уровню толщины стен, финансовый критерий имеет высокую чувствительность к уровню цен на топливо и материалы, но более близок к результатам оптимизации по эксергетическому критерию. Оптимальная толщина стен при оптимизации по энергетическому критерию составила 2,2 ($\text{м}^2\cdot\text{К}$)/Вт, по экономическому критерию в зависимости от стоимости тепловой энергии 1...1,3 ($\text{м}^2\cdot\text{К}$)/Вт; по эксергетическому критерию – 1,3 ($\text{м}^2\cdot\text{К}$)/Вт (рассчитано по приведенной в работе толщине кирпичной стены), что значительно меньше действующих требований к теплозащите.

Результаты обследований зданий, построенных по новым нормам энергоэффективности, показывают, что фактическое потребление тепловой энергии не соответствует проектным значениям.

По результатам проведенная в мае 2009 г. экспертизы зданий г. Москвы, прошедших капитальный ремонт, вместо ожидаемой экономии 41-59% [6, 7] фактическая составила 14–17% [8]. В период с 2013 по 2015 г. лабораторией строительной физики ГБУ «ЦЭИИС» проведены комплексные инструментальные обследования 82-х вводимых в эксплуатацию зданий различных типов и конструктивных решений (жилых домов, детских садов, школ, больниц и т.д.). Полученные в результате испытаний значения приведённого сопротивления теплопередаче стен в большинстве случаев оказались в интервале от 1,5 до 2,5 ($\text{м}^2\cdot\text{К}$)/Вт при проектных значениях от 3,0 до 3,8. Такие же отклонения были и для всех других видов ограждающих конструкций, кроме окон (для них теплоза-

щитные характеристики были значительно выше нормируемых) [9]. Причиной названо несоответствие методов расчета в СНиП 23.02.2003 и СП 50.13330.2012 (редакции 2012 г.) и отсутствие учета теплотехнических неоднородностей для стен с вентилируемым фасадом. В работе [9] указывается, что фактические величины удельного энергопотребления зданий будут в 1,5-2 раза превышать проектные. Аналогичные результаты получены Волгоградским государственным техническим университетом [10], для двух домов, эксплуатируемых более 6 лет, превышение фактического энергопотребления над проектным составляет для 3-этажного здания – 41%, для 23-этажного – 133 %. Причиной так же называется занижение трансмиссионных тепловых потерь из-за неточного учета краевых зон, и завышенные, по сравнению с нормативами, потери с вентиляцией.

Гашо Е.Г. в работе [11] на основе анализа фактического потребления 602 зданий г. Москвы показал, что выявлены значительные, до трети, отклонения удельных теплоэнергетических характеристик зданий одинаковых типовых строительных серий. Обнаружить систематическое снижение теплопотребления в 799 зданиях, прошедших капитальный ремонт в 2020–2022 г., не удалось.

Таким образом, о причинах несоответствия энергоэффективности зданий ожидаемым значениям сложилось два мнения:

- она связана с недостатками методов расчета и требует совершенствования нормативной базы (что явилось причиной доработки в 2018 г. сводов правил по проектированию тепловой защиты зданий) [9, 10];

- причиной является низкое качество строительства и теплоизоляционных материалов, не обеспечивающих проектные свойства [4, 12].

Так же ряд авторов считают, что основной причиной потерь в системах отопления являются их неотрегулированность [4, 11].

Другим аспектом энергосбережения является то, что большинство энергосберегающих мероприятий характеризуются длительными сроками окупаемости. Эффективность вложения инвестиций в течение длительного периода также необходимо оценивать при возведении зданий. Применение известных методов дисконтирования для технико-экономической оценки проектов может привести к получению недостоверных результатов из-за неравномерности и нелинейности обесценивания различных ресурсов, влияющих на эксплуатацию (содержание) оборудования и зданий.

Можно сделать вывод, что оценка фактических теплозащитных свойств ограждающих конструкций и фактической энергоэффективности зданий, а также разработка методов оценки длительных инвестиционных энергосберегающих проектов является актуальной с точки зрения наилучшей реализации потенциала энергосбережения.

1. НОРМИРОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

1.1. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И НОРМИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

Энергетическая эффективность зданий, строений, сооружений выражается в удельном расходе энергетических ресурсов, необходимых для обеспечения функционирования здания с соблюдением установленных санитарно-гигиенических требований.

В настоящее время в Федеральном законе № 261 от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» указано, что требования энергетической эффективности зданий, строений, сооружений включают:

- 1) удельный расход энергетических ресурсов в здании, строении, сооружении;
- 2) требования к решениям, влияющим на энергетическую эффективность зданий;
- 3) требования к отдельным элементам, конструкциям зданий, строений, сооружений и к их свойствам.

Далее рассмотрены особенности оценки энергоэффективности зданий.

1.1.1. Определение расхода энергетических ресурсов в зданиях

Существенный вклад в разработку и совершенствование методов строительной теплофизики и теплового расчёта зданий внесли отечественные учёные: В.Н. Богословский, Н.М. Гусев, В.М. Ильинский, А.В. Лыков, К.Ф. Фокин, Е.Г. Малявина, В.И. Ливчак, Ю.А. Табунщиков, Ф.В. Ушков и др. [13–22].

Тепловой баланс здания можно представить в виде (рис. 1.1):

$$Q = Q_{ст} + Q_{окн} + Q_{кр} + Q_{под} + Q_{вент} - Q_{инс} - Q_{вн}, \quad (1.1)$$

где Q – расход тепловой энергии на отопление; $Q_{ст}$ – потери теплоты через стены; $Q_{окн}$ – потери теплоты через окна и двери; $Q_{кр}$ – потери теплоты через чердачное перекрытие или совмещённую с перекрытием крышу; $Q_{под}$ – потери теплоты через подвал или пол; $Q_{вент}$ – потери теплоты с вентиляцией; $Q_{инс}$ – поступление теплоты от солнечной радиации; $Q_{вн}$ – внутренние тепловыделения в здании от людей, электроприборов, освещения.



Рис. 1.1. Тепловой баланс здания

В строительной теплофизике используется понятие сопротивления теплопередаче (сопротивления теплопередаче) R , $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, которое прямо пропорционально теплозащитным свойствам и определяется через коэффициент теплопроводности λ и толщину слоя δ , м:

$$R = \delta / \lambda. \quad (1.2)$$

Для многослойной ограждающей конструкции её сопротивление теплопередаче имеет вид:

$$R = 1 / \alpha_n + \sum \delta_i / \lambda_i + 1 / \alpha_{вн}, \quad (1.3)$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности ограждающей конструкции в окружающую среду, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_{вн}$ – коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности ограждающей конструкции от внутреннего объёма помещения, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$; δ_i , λ_i – толщина, м, и коэффициенты теплопроводности, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ слоёв.

В нормативных документах [23, 24] имеются ряд поправочных коэффициентов и методики расчётов сопротивления теплопередаче для:

- учёта неоднородности ограждающих конструкций;
- определения сопротивления теплопередаче чердаков, подвалов, подпольев, покрытий и перекрытий над проездами (арками);
- вентилируемых воздушных прослоек.

Для светопрозрачных конструкций (окон, витражей балконных дверей, фонарей), в которых осуществляется сложный процесс теплопередачи, включающий конвекцию, теплопроводность и излучение, приведённое сопротивление теплопередаче принимается по справочным данным или результатам испытаний в лаборатории, приведённым в сертификатах на продукцию.

Для здания согласно нормативной литературе определяется приведённый коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания (трансмиссионный коэффициент теплопередачи), $k_{пл}$, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ или $k_{об}$ $\text{Вт} / (\text{м}^3 \cdot \text{К})$:

$$k_{\text{ин}} = \frac{1}{A} \sum n_i \frac{A_i}{R_i}; k_{\text{об}} = K_k k_{\text{пл}}, \quad (1.4)$$

где A – сумма площадей всех элементов наружных ограждений оболочки здания (стен, окон, чердачных и подвальных перекрытий и др.), м²; A_i и R_i – площадь элементов и их приведённое сопротивление теплопередаче; n_i – коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у элемента конструкции от принятых внутренней или наружной температуры здания, обычно учитывается только для чердачных и подвальных перекрытий; K_k – коэффициент компактности здания (отношение общей площади внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций здания A к заключённому в них отапливаемому объёму).

Потери теплоты с воздухом системы вентиляции определяются по объёму воздуха, выходящего из здания, и разности температур между воздухом внутри помещения и наружным. Для расчёта объёма воздуха могут использоваться следующие способы:

- по нормативной кратности воздухообмена в здании (помещениях);
- по проектной производительности системы принудительной precisely-вытяжной вентиляции;
- по результатам замеров фактического расхода воздуха в системе вентиляции.

По полученному расходу воздуха определяется удельная вентиляционная характеристика $k_{\text{вент}}$, Вт/(м³·К), имеющая одну размерность с приведённым (трансмиссионным) коэффициентом теплопередачи $k_{\text{об}}$.

Бытовые тепlopоступления и поступления теплоты с солнечной радиацией также учитываются с помощью удельных характеристик. Удельная характеристика внутренних тепловыделений здания $k_{\text{вн}}$, Вт/(м³·К) определяется по количеству людей и тепловыделяющего оборудования, находящихся внутри здания. Для жилых зданий используются усреднённые показатели тепловыделений на 1 м² площади. Удельная характеристика тепlopоступлений в здание от солнечной радиации $k_{\text{инс}}$ определяется по приведённой в нормативной литературе средней за отопительный период величине солнечной радиации при действительных условиях облачности, с учётом ориентации по направлениям.

Расчётная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, $q_{\text{от}}$, Вт/(м³·К) согласно нормативной литературе (СП 50.13330.2024) следует определять по формуле:

$$q_{\text{от}} = [k_{\text{об}} + k_{\text{вент}} - \beta_{\text{КПИ}}(k_{\text{вн}} + k_{\text{инс}})], \quad (1.5)$$

где $\beta_{\text{КПИ}}$ – коэффициенты, учитывающий эффективность регулирования подачи теплоты в системах отопления.

В выражении (1.5) по сравнению с расчетом удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, приведенным в первоначальной версии СП 50.13330.2012, отсеивают коэффициенты снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций, дополнительного теплопотребления с дополнительными теплопотерями от отопительных приборов и трубопроводов, снижения теплопотребления при наличии поквартирного учета тепловой энергии.;

Из выражения (1.5) можно выделить две части – зависящую и не зависящую от величины Δt

$$q_{от} = (k_{об} + k_{вент}) k_2 - K_k / \Delta t (q_{вн} + 11,6 \tau_1 \tau_2 k_{ост} I_{ср} / N_{оп}) \beta_{КПИ}. \quad (1.6)$$

Вторая часть выражения для заданных климатических условий и условий эксплуатации здания будет постоянной. Поэтому, например, что бы снизить удельный расход на отоплении в здании в два раз в условиях средней полосы России, где теплопоступления составляют примерно 20% от потерь через ограждающие конструкции и с вентиляцией, достаточно уменьшить теплопотери на 40%, то для северных регионов, где теплопоступления составляют 10%, потери необходимо снижать уже на 45%.

1.1.2. Расчет теплопоступлений в здание от солнечной радиации

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации $k_{инс}$ определяется по приведённой в нормативной литературе средней за отопительный период величине солнечной радиации при действительных условиях облачности, с учётом ориентации по четырём направлениям. Поступление за отопительный период определяется по выражению:

$$Q_{рад} = \tau_1 \tau_2 \sum A_{ост\ i} I_i, \quad (1.7)$$

где $Q_{рад}$ – теплопоступления, МДж; τ_1, τ_2 – коэффициенты, учитывающие проникание радиации через светопрозрачные конструкции и затенение проемов непрозрачными элементами; $A_{ост\ i}$ – площадь светопрозрачных конструкций, ориентированных на i -ю сторону света, м²; I_i – поток суммарной солнечной радиации, приходящей за отопительный период вертикальные поверхности при действительных условиях облачности, МДж/м².

Так как для жилых домов, как правило, остекление по противоположно расположенным фасадам симметричное, то общее поступление от радиации можно определить как среднее между поступлением радиации через каждый фасад. Анализируя климатические данные г. Белгорода (рис. 1.2) можно заключить, что это среднее значение для противоположных фасадов, ориентированных на разные стороны света, практически одинаковы. Это подтверждает и анализ данных солнечной радиации для 19 населенных пунктов, приведенных в работе [16] (табл. 1.1).

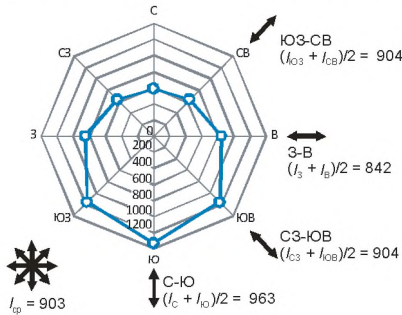


Рис. 1.2. Поток суммарной солнечной радиации, приходящей за отопительный период вертикальные поверхности при действительных условиях облачности для условий г. Белгород, МДж/м² (ТСН 23-310-2000)

Поэтому при расчете теплоступлений для типовых зданий может быть использовано усредненный поток суммарной солнечной радиации и коэффициент остекленности зданий, и выражение (1.7) может быть записано в следующем виде:

$$Q_{\text{рад}} = \tau_1 \tau_2 k_{\text{ост}} A I_{\text{ср}}, \quad (1.8)$$

Пересчет на удельные значения производится по выражению:

$$k_{\text{ннс}} = 11,6 Q_{\text{рад}} / (V_{\text{от}} \Delta t N_{\text{он}}) = 11,6 \tau_1 \tau_2 K_k k_{\text{ост}} I_{\text{ср}} / (\Delta t N_{\text{он}}), \quad (1.9)$$

где $N_{\text{он}}$ – длительность отопительного периода, сут.

1.1.1. Удельный расход тепловой энергии на отопление

В нормативной литературе предыдущих периодов (СНиП 23-02-2003) использовались удельный расход тепловой энергии на отопление зданий q_h с размерностью кДж/(м³·°С·сут) или кДж/(м²·°С·сут). Величина, отнесённая к единице площади, применялась для жилых зданий, гостиниц, общежитий, причём для зданий выше 3 этажей приводились нормируемые значение, отнесённые как к площади, так и к объёму, а для зданий от одного до трёх этажей – только к площади.

Таблица 1.1

Усредненный поток суммарной солнечной радиации, приходящей за отопительный период вертикальные поверхности при действительных условиях облачности

Населенный пункт	$I_{\text{ср}}$ МДж/м ²	Отклонение среднего значения для двух противоположных сторон света от $I_{\text{ср}}$		
		С-Ю	В-З	СЗ-ЮВ; ЮЗ-СВ
Александровское (Томская обл.)	1050	106%	94%	100%
Архангельск	777	102%	97%	100%
Астрахань	719	115%	86%	99%
Белгород	878	98%	96%	103%
Волгоград	654	112%	89%	99%
Ершов (Саратовская область)	858	112%	89%	100%
Иркутск	1213	108%	92%	100%
Краснодар	494	113%	88%	99%
Курск	668	110%	90%	100%
Махачкала (Дагестан)	560	110%	90%	100%
Москва	684	108%	93%	100%
Нижний Новгород	666	108%	93%	100%
Охотск (Хабаровский край)	1601	107%	92%	101%
Пятигорск (Ставропольский край)	756	112%	89%	99%
Самара	744	111%	90%	100%
Сковородино (Амурская обл.)	1510	106%	102%	96%
Сочи (Краснодарский край)	355	119%	83%	99%
Хабаровск	1278	114%	88%	99%
Чита	1396	111%	90%	100%

Пересчет удельного расхода может быть выполнен по выражению:

$$q_h = 86,4 q_{\text{от}}; \quad q_{\text{от}} = 0,0116 q_h. \quad (1.10)$$

Также значение удельного теплоснабжения может приводиться в расчете не на объем, а на единицу отапливаемой площади здания, пересчет в этом случае осуществляется с использованием значений отапливаемого объема $V_{\text{от}}$ и площади $S_{\text{от}}$, соотношение которых является средней высотой этажа в здании

$$h_{\text{э.ср}} = V_{\text{от}} / S_{\text{от}}. \quad (1.11)$$

На рис. 1.3 приводится изменение сравнение средней удельной отопительной нагрузки зданий в различных странах.

Общие теплототери здания за отопительный период определяются по выражению:

$$Q_{\text{пот}} = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot V_{\text{от}} \cdot (k_{\text{об}} + k_{\text{вент}}), \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год} \quad (1.12)$$

или

$$Q_{\text{пот}} = 20,635 \cdot 10^{-6} \cdot \text{ГСОП} \cdot V_{\text{от}} \cdot (k_{\text{об}} + k_{\text{вент}}), \text{ Гкал} / \text{год}. \quad (1.13)$$

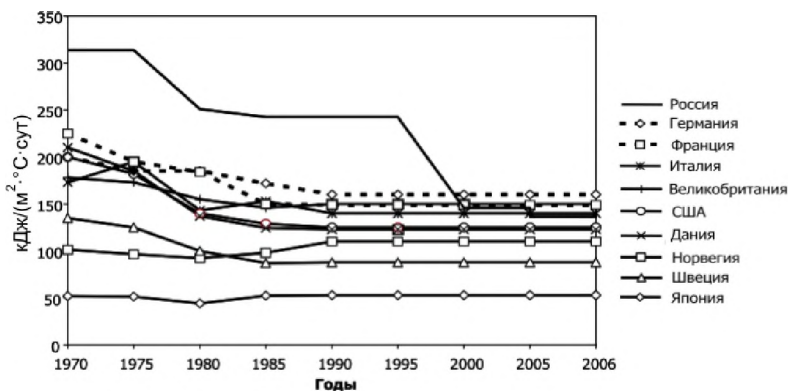


Рис. 1.3. Удельное теплотребление вновь возводимых зданий в России и некоторых зарубежных странах [25]

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{от}$ определяется по выражению

$$Q_{от} = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot V_{от} \cdot q_{от}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год} \quad (1.14)$$

или

$$Q_{от} = 20,635 \cdot 10^{-6} \cdot \text{ГСОП} \cdot V_{от} \cdot q_{от}, \text{ Гкал} / \text{год}. \quad (1.15)$$

Таким образом, количественные требования энергетической эффективности зданий включают:

- 1) удельный расход энергетических ресурсов $q_{от}$;
- 2) требования к сопротивлению теплопередаче R отдельных элементов ограждающих конструкций.

1.1.2. Влияние компактности здания на его энергоэффективность

Кроме применяемых материалов, определяющих сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, на удельный расход энергии на отопление зданий также влияют их конфигурация и объем, которые характеризуются коэффициентом компактности.

Коэффициент компактности K_k , $1/\text{м}$ – это отношение суммарной площади внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций здания F , м^2 , включая покрытие верхнего этажа и перекрытие нижнего, к заключённому в них отапливаемому объёму V , м^3 [23]:

$$K_k = F/V. \quad (1.16)$$

Связь между компактностью здания и его удельной отопительной характеристикой приведена в выражении (1.4). В работе [26] показана зависимость удельной отопительной характеристики от коэффициента компактности зданий (рис. 1.4).

Коэффициент компактности растёт при снижении объёма здания. В работе [26] приведено, что при уменьшении объёма с 100 000 м³ до 1 000 м³ коэффициент компактности увеличивается с 0,1 до 0,5, то есть в пять раз. Поэтому теплотери здания объёмом 100 000 м³ будут в 2,5 раз

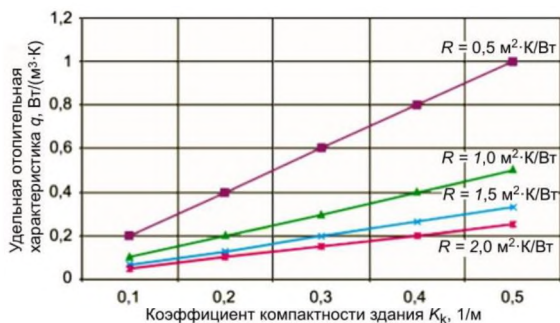


Рис. 1.4. Влияние формы здания на энергетические характеристики [26]

меньше, чем суммарные теплотери 10 зданий с объёмом 10 000 м³ каждое, что связано с увеличением площади ограждающих конструкций.

Таким образом, чем меньше здания, тем большую роль на его удельное потребление оказывает сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций [26, 27]. На рис. 1.5 показано, какие теплозащитные свойства ограждающих конструкций обеспечивают один и тот же удельный расход теплоты на отопление для зданий разного объёма [28].

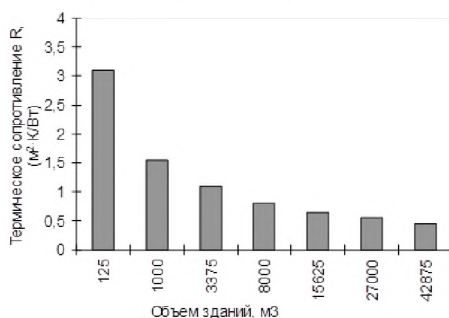


Рис. 1.5. Сопротивление теплопередаче, обеспечивающее удельный расход на отопление 0,1 Гкал/м² в год

В работах [26, 28] утверждается, что для большинства зданий нижней критической величиной сопротивления теплопередаче, при выходе за которую расход теплоты на отопление здания растёт слишком быстро, являются значения $0,6...0,8 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$. Верхним критическим значением является $1,1...1,2 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, свыше которого дальнейшее утепление экономически и технологически нецелесообразно. Такие же выводы сделаны в работе [29], что при превышении сопротивления теплопередаче свыше $1,0 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ затраты на теплозащиту зданий при существующих ценовых параметрах (2002 г.) не окупаемы.

1.1.3. Нормирование тепловой защиты здания в России

В настоящее время система законодательных и нормативных документов, относящихся к энергоэффективности зданий, строений, сооружений состоит из следующих документов:

- Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;

- Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (Статья 13. «Требования энергетической эффективности зданий и сооружений»);

- Постановление Правительства РФ от 27.09.2021 № 1628 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов»;

- Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 года N 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

- СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003;

- СП 345-1325800-2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты (с изм. № 1 и № 2).

- СП 230-1325800-2015. Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей (с изм. № 1 и № 2);

- разделы «Энергосбережение» в СП 54.13330.2022 «Здания жилые многоквартирные» (актуализированная редакция СНиП 31-01-2003) и СП 55.13330.2016 «Дома жилые одноквартирные» (актуализированная редакция СНиП 31-02-2001);

– приказ Минстроя России от 17 ноября 2017 года N 1550/пр «Об утверждении Требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений»;

– приказ Минстроя России от 6 июня 2016 г. № 399/пр «Об утверждении Правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов»;

– Приказ Минстроя России от 19 сентября 2016 г. № 653/пр «Об утверждении Методических рекомендаций по реализации проектов и мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности при капитальном ремонте общего имущества в многоквартирных домах».

Развитие нормативных требований к энергоэффективности ограждающих конструкций зданий рассмотрено в работах [12, 30].

Первые советские нормы по теплозащите зданий были установлены в Технических условиях и нормативах Теплотехнического института (г. Москва) в 1929 г. Для среднего климатического района России была принята необходимость возведения стен в 2,5 кирпича (640 мм) с сопротивлением теплопередаче 0,95 (м²·К/Вт) [30], для других зон – от 0,65 до 1,12 (м²·К/Вт) [31].

В СССР в годы массовой застройки при проектировании зданий требования по энергоэффективности не учитывались [32]. В 1955 году в Строительных нормах и правилах от теплотехнического нормирования отказались и в главе 3 раздела В части II СНиП II-В.3-55 были установлены санитарно-гигиенические требования, заключающиеся в препятствовании выпадения конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций зданий при расчётной зимней температуре наружного воздуха t_n и поддержании внутри здания температуры воздуха t_b не менее 18°C. Для этого расчётное сопротивление теплопередачи R_0 должно было быть не менее требуемого R_0^{TP} :

$$R_0 \geq R_0^{TP} = (t_b - t_n)nm / (\alpha_b \Delta t_n), \quad (1.17)$$

где α_b – коэффициент теплоперехода (в терминах СНиП II-В.3); Δt_n – температурный перепад между температурой t_b и температурой внутренней поверхности ограждения (2,5°C – для полов, 6°C – для наружных стен и 4,5°C – для бесчердачных покрытий и чердачных перекрытий); n – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждения и учитывающий возможное повышение температуры наружного воздуха около ограждающей конструкции по сравнению с t_n (мог принимать значение от 0,4 до 1); m – коэффициент, зависящий от степени массивности ограждения (от 1 до 1,15).

Во введённом с 1963 г. СНиП II-А.7-62 «Строительная теплотехника. Нормы проектирования» санитарно-гигиенические требования сохра-

нились, но в выражении (1.17) коэффициент m перестали учитывать, но ввели новый коэффициент b , учитывающий необходимый запас при наличии в ограждающей конструкции теплоизоляции, теплотехнические показатели которой со временем ухудшались. Для деформируемых теплоизоляционных материалов он принимался равным 1,2, для недеформируемых легких (с плотностью ниже 400 кг/м³) – 1,1. Но в 1971 году в очередной редакции строительных норм СНиП II-A.7-71 коэффициент b был убран. В этой редакции норм впервые было введено требование экономического обоснования необходимого уровня теплоизоляции. Требуемое сопротивление теплопередачи должно было быть не менее нормативных значений, определяемых санитарно-гигиеническими требованиями R_0^{TP} и экономическими требованиями $R_0^{ЭК}$:

$$R_0^{ЭК} = \sqrt{\frac{B_k + B_{\text{э}} T_n}{\lambda K_{\text{огр}}}} \quad (1.18)$$

где B_k – удельные капитальные вложения в устройство системы теплоснабжения; $B_{\text{э}}$ – годовые удельные эксплуатационные затраты на отопление; T_n – нормативный срок окупаемости дополнительных капитальных вложений; λ – коэффициент теплопроводности материала однослойной ограждающей конструкции или теплоизолирующего слоя многослойной ограждающей конструкции; $K_{\text{огр}}$ – стоимость 1 м³ однослойной ограждающей конструкции или теплоизоляции слоя многослойной ограждающей конструкции.

Экономически целесообразными в СНиП II-A.7-71 считались ограждающие конструкции, для которых величина приведенных затрат на изготовление и эксплуатацию будет минимальной. Но из-за незначительной стоимости тепловой энергии и установленных небольших нормативных сроках окупаемости T_n , равной 8 или 12 годам, экономический критерий $R_0^{ЭК}$ в большинстве случаев был значительно ниже санитарно-гигиенического R_0^{TP} и не применялся. Поэтому во введённом с 1979 г. СНиП II-3-79 экономическое обоснование выбора сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций было исключено [12].

Принципы нормирования энергоэффективности были возрождены уже в Российской Федерации в 1995 г. при переиздании СНиП II-3-79. При обосновании принципов нормирования использовался опыт экономически развитых стран [12, 33, 34].

Нормы энергоэффективности были введены Постановлением Минстроя России от 11 августа 1995 г. № 18-81 в виде изменений к СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника», где было принято необходимое приведённое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций для отдельных элементов ограждающих конструкций зданий разного

типа. Нормативные требования были установлены с учётом продолжительности отопительного периода и климатических условий, которые характеризовались показателем ГСОП – градусо-сутки отопительного периода. В нормативных требованиях был использован принцип поэтапного снижения расхода тепловой энергии на отопление зданий, I этап вводился с 1995 года, второй – с 2000 г. Планировалось к 2000 г. снизить затраты на отопление не менее чем на 40%. Также были снижены допустимые температурные перепады между воздухом внутри помещения и поверхностью ограждающих конструкций: с 6°С до 4...4,5°С для стен, 2...2,5°С для пола и 3...4°С для бесчердачных покрытий и чердачных перекрытий (санитарно-гигиеническое требование).

Одновременно были приняты Московские городские строительные нормы МГСН 2.01-94 «Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению», в которых наряду с требованиями по сопротивлению теплопередаче элементов ограждающих конструкций задавался норматив для теплозащиты здания в целом в виде требуемого приведённого коэффициента теплопередачи здания, а также была введена форма энергетического паспорта здания.

В период с 1999 по 2003...2004 год Госстрой РФ разработал ряд территориальных строительных норм (ТСН), в которых наряду с использованием в СНиП II-3-79 предписывающим подходом, заключающимся в нормировании теплозащитных свойств элементов ограждающих конструкций и с подробным описанием конструкции, методов расчёта, применяемых материалов, был применён потребительский подход, заключающийся в установлении удельного расхода тепловой энергии на отопление.

В 2003 г. был введён СНиП 23.02.2003 «Тепловая защита зданий», аналогичный по структуре ТСН. В 2012 г. СНиП 23.02.2003 был актуализирован и получил название СП 50-13330-2012 «Тепловая защита зданий». В Свод правил в 2018 и 2021 г. были внесены существенные изменения, связанные с учетом теплопроводных включений (теплотехнических неоднородностей) для возможности повышения теплозащитных характеристики зданий не путем увеличения толщины теплоизоляции, а проектированием конструкций с пониженным влиянием теплотехнических неоднородностей и зданий с оптимальными архитектурно-планировочными решениями [31]. В дополнение к СП 50.13330.2012 были разработаны: Свод правил СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей» и Свод правил СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты».

Свод правил «Тепловая защита зданий» в 2024 годы был с получением обозначения СП 50.13330.2024 и с внесением незначительных изменений, связанных с отменой возможности применения «регионально-

го» коэффициента m_p для покрытий и перекрытий для зданий второй и третьей категорий (общественных и производственных) и унификацией базовых значений требуемого сопротивления теплопередаче для покрытий и перекрытий этих категорий зданий. Так же при переиздании свода правил был удален термин «Класс энергосбережения» и правила его определения, в таблицу базовых значений требуемого сопротивления теплопередаче добавлена строка с ГСОП = 1000, и для светопрозрачных входных дверей установлены требования теплозащиты такие же, как для светопрозрачных конструкций.

Свод правил «Тепловая защита зданий» определены нормируемые значения удельной теплозащитной характеристики здания, Вт/(м²·°С), (рис. 1.6–1.7) и нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/(м³·°С), (рис. 1.7 – 1.9), эти значения в СП 2012 г. и 2024 г. не отличались.

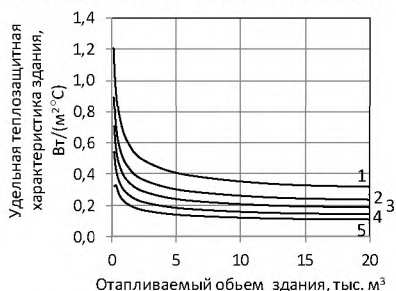


Рис. 1.6. Нормируемые значения удельной теплозащитной характеристики здания (СП 50.13330.2024, табл. 7):

при ГСОП: 1 – 1000; 2 – 3000; 3 – 5000; 4 – 8000; 5 – 12000 °С·сут/год

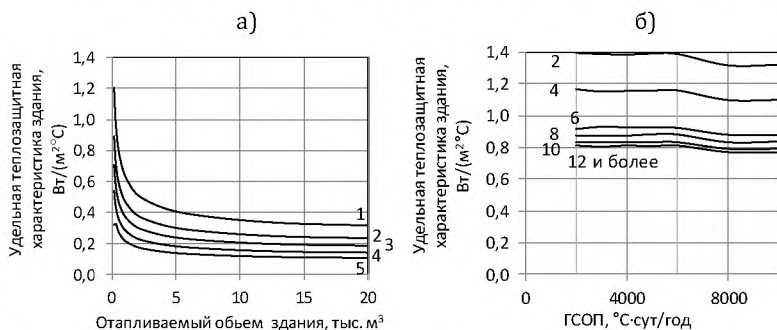


Рис. 1.7. Нормируемые значения удельной теплозащитной характеристики:

а) СП 50.13330.2024, для отопляемого объема: 1 – 150; 2 – 300; 3 – 600; 4 – 1200; 5 – 2500; 6 – 6000; 7 – 15 000; 8 – 50 000; 9 – 200 000 м³; б) приказ Минстроя 399 для разного числа этажей

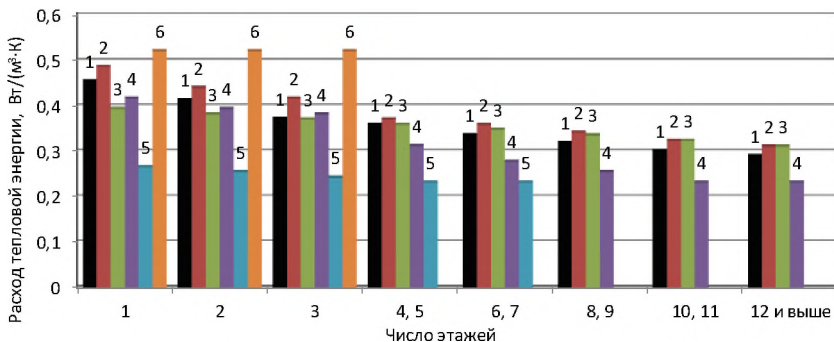


Рис. 1.8. Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий (СП 50.13330.2024, табл. 15):

1 – жилые многоквартирные, гостиницы, общежития; 2 – общественные, кроме перечисленных в строках 3-6; 3 – поликлиники и лечебные учреждения, дома-интернаты; 4 – административного назначения (офисы); 5 – сервисного обслуживания, культурно-досуговой деятельности, технопарки, склады; 6 – дошкольные учреждения, хосписы

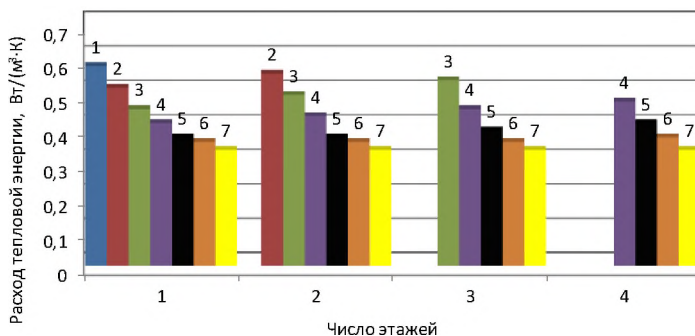


Рис. 1.9. Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию малоэтажных жилых многоквартирных зданий (СП 50.13330.2024, табл. 13):

1 – 50 м²; 2 – 100 м²; 3 – 150 м²; 4 – 250 м²; 5 – 400 м²; 6 – 600 м²; 7 – 1000 и более м²

Летом 2016 г. Минстрой издал приказ № 399, устанавливающий для многоквартирных жилых домов базовый уровень удельного годового расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, который приведен с размерностью кВт·ч/м² для ряда значений ГСОП. Для сравнения значений приказа и СП 50.13330.2012 (СП 50.13330.2024) величина ба-

зового уровня q из приказа 399 была приведена к размерности кВт/(м³°С)

$$q_{\text{от}}^{\text{TP}} = 1000q / (\text{ГСОП} \cdot 24 \cdot 2,8), \quad (1.19)$$

где 24 – количество часов в сутках ; 2,8 м – средняя высота этажа в жилом здании.

Как видно из табл. 1.2, в приказе Минстрой № 399 удельная тепловая характеристика от ГСОП практически не зависит. Для многоэтажных зданий значения нормируемого удельного расхода по двум нормативным документам практически совпадают. Но для малоэтажных зданий в приказе Минстрой № 399 нормируемые значения заметно выше по сравнению с предыдущими требованиями.

Таблица 1.2

Сравнение приведенного к одной размерности нормируемого (базового) удельного расхода теплоты на отопление и вентиляцию, Вт/(м³°С)

Приказ Минстроя № 399, жилые многоквартирные дома (табл. 1, строки «...в том числе тепловой энергии на отопление и вентиляцию»)												
ГСОП	Число этажей											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 и выше
2 000	–	0,50	–	0,42	–	0,33	–	0,31	–	0,30	–	0,29
3 000	–	0,50	–	0,41	–	0,33	–	0,31	–	0,30	–	0,29
4 000	–	0,49	–	0,41	–	0,33	–	0,31	–	0,30	–	0,29
5 000	–	0,50	–	0,41	–	0,33	–	0,32	–	0,30	–	0,29
6 000	–	0,50	–	0,41	–	0,33	–	0,31	–	0,30	–	0,29
8 000	–	0,47	–	0,39	–	0,31	–	0,30	–	0,28	–	0,28
10 000	–	0,47	–	0,39	–	0,31	–	0,30	–	0,28	–	0,28
СП 50.13330.2024 (табл. 15. «Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий»)												
Тип**	Число этажей											
	1	2	3	4, 5	6, 7	8, 9	10, 11	12 и выше				
1	0,455	0,414	0,372	0,359	0,336	0,319	0,301	0,29				
2	0,487	0,440	0,417	0,371	0,359	0,342	0,324	0,311				
3	0,394	0,382	0,371	0,359	0,348	0,336	0,324	0,311				
4	0,521	0,521	0,521	–	–	–	–	–				
5	0,266	0,255	0,243	0,232	0,232	–	–	–				
6	0,417	0,394	0,382	0,313	0,278	0,255	0,232	0,232				

* при пересчете высота этажа принималась 3 м.

** 1 – Жилые многоквартирные, гостиницы, общежития; 2 – Общественные, кроме перечисленных в п. 3-6; 3 – Поликлиники и лечебные учреждения, дома-интернаты; 4 – Дошкольные учреждения, хосписы; 5 – Сервисного обслуживания, культурно-досуговой деятельности, технопарки, склады; 6 – Административного назначения (офисы)

Сравнение установленного в СП 50.13330.2024 среднего нормативного (для здания стандартной энергоэффективности) удельного расхода теплоты на отопление и вентиляцию за отопительный период приведено в табл. 1.3.

Таблица 1.3

**Удельный расход теплоты на отопление и вентиляцию
за отопительный период**

Тип здания	Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию, Вт/(м ³ ·°C) [23]	ГСОП, °C·сут (для г. Белгорода [35])	Примерный расход теплоты за отопительный период	
			Гкал/м ³ здания	м ³ природного газа/м ³ здания
Приказ Минстроя 399				
Многоквартирные дома	0,29-0,49 (81-139 кВт·ч/м ²)	4183	0,025...0,042	3,2...5,3
СП 50.13330.2024				
1. Жилые многоквартирные, гостиницы, общежития	0,29...0,455	4183	0,025...0,039	3,2...5
2. Общественные, кроме перечисленных в строках 3-6	0,311...0,487	4183	0,027...0,042	3,4...5,3
3. Поликлиники и лечебные учреждения, дома-интернаты	0,311...0,394	4598	0,029...0,037	3,7...4,7
4. Дошкольные учреждения, хосписы	0,521	4807	0,052	6,6
5. Сервисного обслуживания, культурно-досуговой деятельности, технопарки, склады	0,232...0,266	4183	0,02...0,023	2,5...2,9
6. Административного назначения (офисы)	0,232...0,417	4183	0,02...0,036	2,5...4,6

Примечания:

- а) более низкие значения соответствуют более высоким (объемным) зданиям;
- б) для производственных зданий энергоэффективность не нормируется.

Кроме удельного расхода теплоты в СП (СНиП) содержатся также нормы теплозащиты для различных элементов конструкции здания, но они вторичны и могут не соблюдаться, если удельный расход тепловой энергии на отопление зданий ниже нормируемого.

В Федеральном Законе от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» установлено, что требования энергетической эффективности зданий, строений, сооружений подлежат пересмотру не реже чем один раз в пять лет. В Постановлении Правительства Российской Федерации от 25 января 2011 г. № 18 (в настоящий момент не действующем)

ющем) установлено, что требования энергоэффективности, для зданий должны предусматривать уменьшение показателей, характеризующих годовую удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, в следующем объёме:

- с января 2011 г. (на период 2011 - 2015 годов) – не менее чем на 15% по отношению к базовому уровню;
- с 1 января 2016 г. (на период 2016 - 2020 годов) – не менее чем на 30%;
- с 1 января 2020 г. – не менее чем на 40%.

Эти требования не выполнены. В приказе Минстроя России от 17 ноября 2017 года № 1550/пр установлены удельные характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, близкие к требованиям СНиП 23-02-2003 / СП 50.13330.2012 / СП 50.13330.2024 (см. табл. 1.2), и требования уменьшения удельной характеристики:

- с 1 июля 2018 г. - на 20%;
- с 1 января 2023 г. - на 40%;
- с 1 января 2028 г. - на 50%.

В настоящее время проходит общественное обсуждение проекта приказа Минстроя «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений и Правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов», объединяющий приказы от 17 ноября 2017 года № 1550/пр и от 6 июня 2016 г. № 399/пр, в котором к требованиям энергетической эффективности зданий, строений, сооружений по сравнению с установленным в приказе № 1550 снижены на 20%.

Таким образом, в требованиях наблюдается противоречивость – они установлены двумя разными документами (Сводом правил и приказом Минстроя), имеют незначительные отличия, при этом декларируемые требования к повышению требований фактически не выполняются.

1.1.4. Класс энергетической эффективности

В СНиП 23.02.2003 «Тепловая защита зданий» было введено понятие «класс энергоэффективности» зданий, определяемый по отклонению удельного расхода тепловой энергии на отопление от нормируемого. В СНиП было определено пять классов энергоэффективности: А, В, С, D, E (рис. 1.10).

В настоящее время нормативного понятия «Класс энергетической эффективности общественного здания» нет. Он был установлен в СНиП 23.02.2003 «Тепловая защита зданий», но с принятием Федерального Закона 261-ФЗ «Об энергосбережении ...», в котором имеется только термин «класс энергетической эффективности многоквартирных домов», к общественным зданиям его применять стало нельзя.

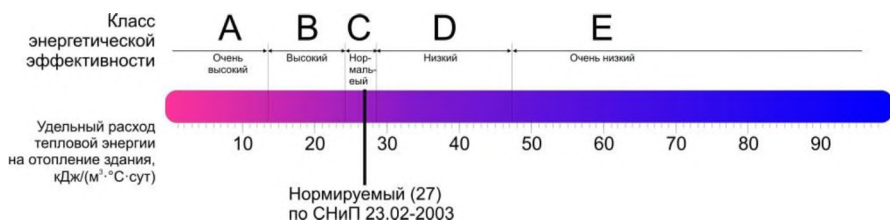


Рис. 1.10. Пример интервалов класса энергоэффективности для административного пятиэтажного здания по СНиП 23.02-2003

Поэтому в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» (актуализированная версия СНиП 23.02.2003) термин «класс энергетической эффективности» был заменен на «класс энергосбережения». Из действующего на настоящее время СП 50.13330.2024 термин «класс энергосбережения» удалили. Классы энергоэффективности многоквартирных домов утверждены приказом Минстроя от 17 ноября 2017 года № 1550/пр.

Некоторое время после принятия закона 261-ФЗ класс энергоэффективности для общественных зданий еще мог быть установлен, так как СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», разделы 4–12, был включен в утв. Постановлением Правительства РФ от 21 июня 2010 г. № 1047-р «Перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального Закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Но с 1 июля 2015 г. Перечень был скорректирован и СНиП 23.02.2003 заменен на СП 50.13330.2012. С этого момента класс энергетической эффективности для общественных зданий присвоен быть не может. Поэтому, например, хотя согласно налоговому кодексу объекты недвижимости высокого класса энергоэффективности освобождаются от налогообложения, но так как для общественных зданий он установлен быть не может, то и льготы использовать нельзя (это подтвердил Конституционный суд РФ в определении от 2 июля 2019 г. № 1832-О). Таким образом, до изменения Федерального Закона 261-ФЗ «Классы энергетической эффективности» общественных зданий – вне закона.

На рис. 1.11 показаны классы энергоэффективности многоквартирных домов, утв. приказом Минстроя России от 17.11.2017 г. № 1550/пр. Сравнение требования к классам в разных документах показаны на рис. 1.12.

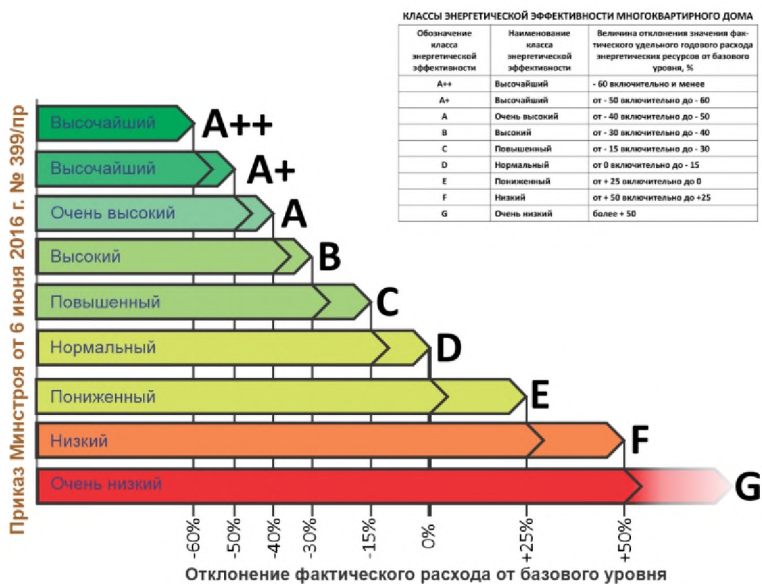


Рис. 1.11. Классы энергоэффективности многоквартирных домов согласно приказу Минстроя от 6.06.2016 № 399

Следует обратить внимания, что в СНиП 23-02-2003 и СП 50.13330.2012 были пять уровней классов энергетической эффективности/энергосбережения, от «А» до «Е» и нормальному соответствует класс «С», а в приказе Минстроя № 399 их семь: «А»...«G», и нормальному соответствует класс «D».

Так же в приказе Минстроя класс определяется не по расходу тепловой энергии на отопление и вентиляции, а по суммарному расходу тепловой энергии, горячей воды и электроэнергии на общедомовые нужды, что делает его применение для оценки энергетической эффективности конструкции здания и режимов его эксплуатации малополезным (как показано далее в разд. 3.6.2).

1.1.5. Нормирование энергоэффективности зданий в Европе

Анализ сертификации энергетической эффективности зданий в Европе приведен в работе [36]. С 2009 г. энергетическая сертификация зданий в ЕС обязательно, что определено в директиве 2002/91/ЕС, которая в 2010 г. переработана в Директиву 2010/31/EU. Положения Директивы реализованы в ряде стандартов ЕС.

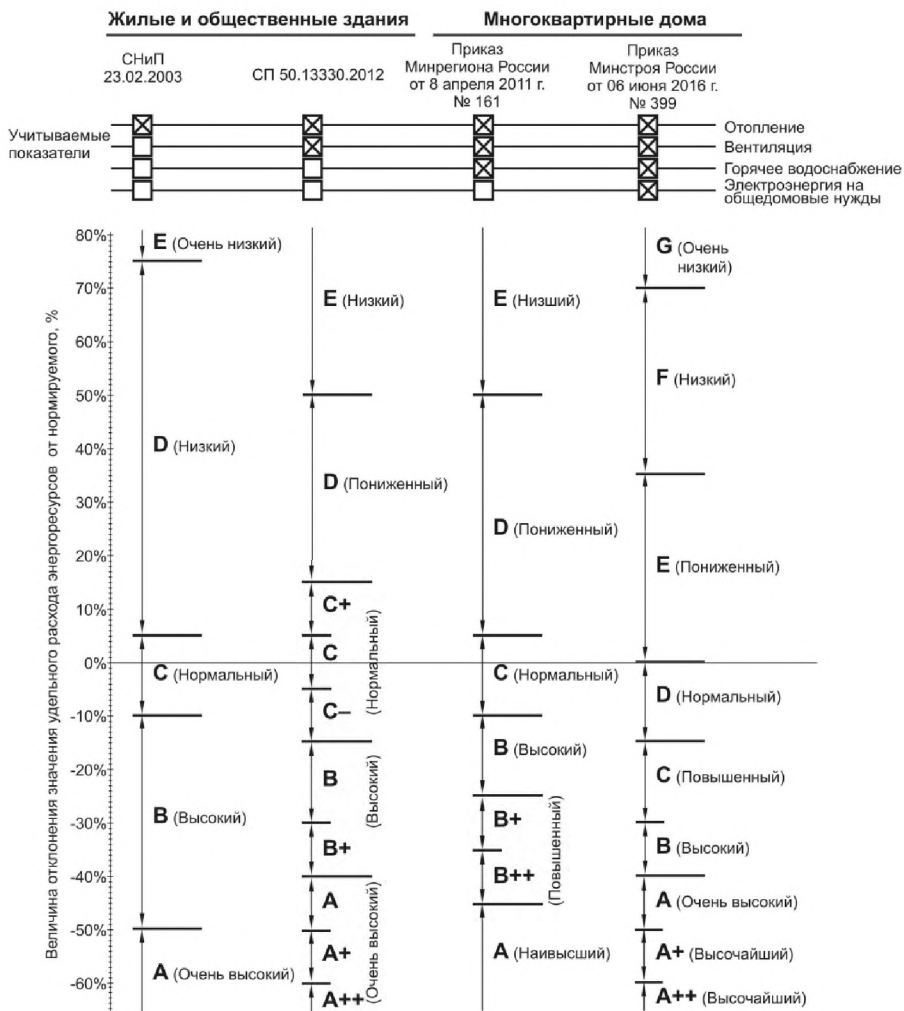


Рис. 1.12. Эволюция классов энергетической эффективности (энергосбережения) в России

В стандарте EN 15217:2007 «Energy performance of buildings. Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings» энергопотребление здания *EP* учитывает следующий расход энергии: а) отопление в отопительный период; б) вентиляцию; в) кондиционирование воздуха в период охлаждения здания; г) горячее водоснабжение; д) освещение; е) оценку степени автоматизации инженерных систем; ж) оценку защиты от инсоляции [36].

Классы высокой энергоэффективности (А, В, С) определяются по нормативам для новых зданий R_r , классы низкой энергоэффективности (Е, F, G) – по среднестатистическому фактическому показателю для данного типа зданий R_s :

Класс А.....	$EP < 0,5 R_r$
Класс В.....	$0,5 R_r \leq EP < R_r$
Класс С.....	$R_r \leq EP < 0,5 (R_r + R_s)$
Класс D (нормальный).....	$0,5 (R_r + R_s) \leq EP < R_s$
Класс Е.....	$R_s \leq EP < 1,25R_s$
Класс F.....	$1,25R_s \leq EP < 1,5R_s$
Класс G.....	$1,5R_s \leq EP$

Для сравнения далее приведён подход к энергоэффективности зданий, используемый в Германии, который рассмотрен в работе [37]. Для обеспечения энергоэффективности зданий был принят ряд постановлений, в которых развивался подход к энергосбережению и ужесточались требования по теплозащите зданий. До 1977 года теплозащита зданий определялась стандартами (DIN), после принятия в 1976 году закона ФРГ «Об экономии энергии» нормирование теплозащиты устанавливалось постановлениями Федерального правительства. Методы нормирования тепловой защиты зданий развивались в несколько этапов, отличающихся комплексностью подхода.

Первый этап, применяющийся до 1977 г., представлял поэлементный метод, в котором определялось сопротивление теплопередаче различных элементов ограждающих конструкций.

На втором этапе, введённом в Германии в 1977 году постановлением «Об энергосберегающей теплозащите зданий», нормировался трансмиссионный коэффициент теплопередачи для здания и предельные значения сопротивления теплопередаче отдельных элементов. Это дало возможность гибкого подхода при проектировании с изменением теплозащитных свойств различных элементов. Средний удельный расход тепловой энергии на отопление жилых зданий составлял около $200 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ($0,172 \text{ Гкал}/\text{м}^2$) за отопительный период. В дальнейшем в 1982 и 1984 годах нормы были ужесточены и расход теплоты был сокращён до $150 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ($0,129 \text{ Гкал}/\text{м}^2$). Нормы устанавливались в зависимости от коэффициента компактности здания.

На третьем этапе, применяемом с 1994 г., было введено нормирование расхода тепловой энергии на отопление за отопительный период. При этом кроме потерь через ограждающие конструкции стали учитываться потери с вентиляцией, теплоступления от солнечной радиации бытовые теплоступления. По этим нормативам удельный расход тепловой энергии составлял $54...100 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ($0,046...0,086 \text{ Гкал}/\text{м}^2$) [37].

На четвёртом этапе введён учёт не только теплотребления, а общего энергопотребления в здании в единой шкале – первичной энергии. В настоящее время к энергосберегающие дома в Германии должны иметь годовое потребление энергии от 30...70 кВт·ч/м² (0,026...0,060 Гкал/м²). Выделяют «пассивный дом», который не использует систему отопления, энергосберегающий дом KfW 60 (потребление не более 60 кВт·ч/м²) и KfW 40 (не более 40 кВт·ч/м²) [36].

Изменение требований к энергоэффективности зданий в Германии представлено на рис. 1.13.

В западных странах также используются рейтинговые системы оценки качества проектных решений по следующим критериям: комфортность, экологичность, энергоэффективность, ресурсосбережение [38].

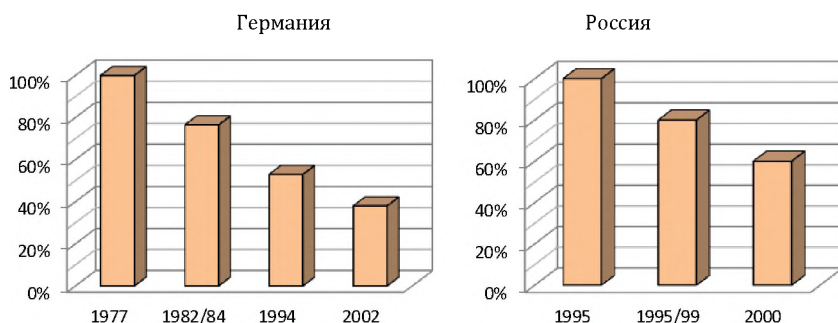


Рис. 1.13. Политика снижения энергопотребления в зданиях [37]

Самые совершенные из них американская – LEED, английская – BREEAM и немецкая – DGNB. Большинство рейтинговых систем являются добровольными национальными стандартами, деятельность которых координируется Международным комитетом по зелёным зданиям Green Building Council. Так же имеется российское представительство этого комитета, названное «Совет по экологическому строительству» и зарегистрированное в 2009 году.

Рассмотрим более подробно американскую рейтинговую систему. Система LEED не является самой первой, она появилась на 8 лет позже английской системы BREEAM, и, тем не менее, она является одной из самых распространённых и используется в 120 странах мира. The Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) – в переводе «Лидерство в энергетическом и экологическом проектировании» – является рейтинговой системой «зелёных» зданий (green building). Система LEED была разработана United States Green Building Council (USGBC) как стандарт оценки проектов энергоэффективных, экологически чистых и устойчи-

вых (sustainable) зданий для перехода строительной индустрии к проектированию, строительству и эксплуатации таких зданий [38]. Рейтинговая система LEED была создана, для того чтобы определить, что же является экологически чистым и энергоэффективным зданием. Система LEED была создана в 1998 году и применяется как для новых зданий, так и при реконструкции существующих. По системе LEED на данный момент уже спроектировано более 278,7 млн. м² зданий. Данная рейтинговая система содержит 34 основных и 69 дополнительных баллов. Для получения самой низкой спецификации по системе LEED «Стандартной» необходимо набрать 26 баллов. Далее следует «Серебряный» уровень 33-38 балла, потом «Золотой» 39-50 баллов и наивысший уровень «Платиновый» присваивается при наборе более 52 баллов. Для оценки зданий используются шесть категорий:

- экологичность строительной территории (до 14 баллов);
- эффективность водных систем (до 5 баллов);
- энергосбережение и окружающая среда (до 17 баллов);
- строительные материалы и ресурсы (до 13 баллов);
- экологическое качество здания (до 15 баллов);
- инновации в проектировании (до 4 баллов).

В России в 2014 г. разработана аналогичная система сертификации зданий гражданского назначения «Green Zoom» (АНО «Научно-исследовательский институт устойчивого развития в строительстве»), построенная на основе системы LEED версии 4.

1.1.6. Проблемы в обеспечении энергоэффективности зданий

По мнению академика и одного из инициаторов создания РААСН С. Н. Булгакова основные причины нерационального расходования тепловой энергии в зданиях следующие [39]:

- тепловые потери с вентилируемым воздухом из-за несовершенство нерегулируемых систем естественной вентиляции;
- низкое качество и неплотности сопряжения оконных переплетов и балконных дверей;
- недостатки архитектурно-планировочных и инженерных решений отопляемых лестничных клеток и лестнично-лифтовых блоков;
- недостаточное теплоизоляционное качество ограждающих конструкций;
- отсутствие в системах отопления и ГВС контроля регулирования;
- большая длина тепловых сетей и наличие дефектов теплоизоляции;
- устаревшее котельное оборудование;

- отсутствие материальной заинтересованности в экономии энергии;

- недостаточное использование ВИЭ.

Результаты обследований зданий, построенных или прошедших капитальный ремонт по новым нормам энергоэффективности, показывают, что фактическое потребление тепловой энергии значительно ниже проектных значений [8–11]. Как указывалось во введении, о причинах несоответствия энергоэффективности зданий ожидаемым значениям сложилось два мнения:

- она связана с недостатками методов расчета, не учитывающих наличие теплотехнических неоднородностей и учета краевых зон (что явилось причиной доработки в 2018 г. сводов правил по проектированию тепловой защиты зданий) [9, 10];

- причиной является низкое качество строительства и теплоизоляционных материалов, не обеспечивающих проектные свойства [4, 12].

Так же ряд авторов считают, что основной причиной потерь в системах отопления являются их неотрегулированность [4, 11].

Если причиной занижения трансмиссионных тепловых потерь является отсутствие учета теплотехнических неоднородностей [10], то изменение методик приведет к еще большему повышению толщины теплоизоляции. По мнению В.Г. Гагарина для обеспечения теплозащитных свойств «следовало бы больше внимания уделять повышению качества проектирования и строительства, в том числе контролю качества, а не изменять нормы в сторону повышения требований» [4].

Недостатком требований энергоэффективности является то, что их обеспечение возможно только с применением эффективных утеплителей, долговечность которых ниже долговечности керамики и бетона [40]. Кроме того, применение синтетических воздухонепроницаемых утеплителей или мягких утеплителей с их изоляцией не специализированной плёнкой, а более дешёвой воздухонепроницаемой полиэтиленовой плёнкой или алюминиевой фольгой приводит к ухудшению санитарно-гигиенических условий в зданиях с естественной вентиляцией. Поэтому в ряде работ утверждается, что принятые нормы энергоэффективности являются излишними [41], но в других наоборот, что принятый уровень недостаточный [42].

Также задачи снижения уровня энергопотребления новых и капитально ремонтируемых зданий на 40% невозможно достичь только увеличением приведённого сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций [43–45]. Также несоответствие проектных и фактических теплозащитных свойств вызвано тем, что в нормативной литературе [23] приводятся теплофизические свойства строительных материалов, соответствующим самым холодным периодом зимы с учё-

том максимального влагонакопления в стенах, тогда как отопительная нагрузка определяется по средней температуре наружного воздуха за отопительный период [40, 46]. Например, для г. Белгорода температура самой холодной пятидневки составляет -24°C , а средняя температура за отопительный период -1 (при средней температуре воздуха $\leq 10^{\circ}\text{C}$) и $1,9^{\circ}\text{C}$ (при средней температуре воздуха $\leq 8^{\circ}\text{C}$).

Большим недостатком современных нормативных требований по теплозащите является то, что они не содержат экономической основы [40, 47]. Также проблемой является значительное несоответствие между расчётными и фактическими значениями сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций [12].

1.2. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Анализ типовых ограждающих конструкций проведён на основе данных энергетического обследования, выполненного в 2011-2013 г. для 2120 бюджетных учреждений г. Белгорода и Белгородской области. Анализ позволил определить следующую структуру ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий, представленную в табл. 1.4–1.6.

Таблица 1.4

Структура ограждающих конструкций (стены)

Вид наружных ограждающих конструкций	Доля
Сплошная кладка из кирпичей или блоков, монолитные стены (85,6%):	
кирпич керамический (глиняный, красный)	23,1%
кирпич силикатный (белый)	41,2%
бетонные, шлако-, керамзит блоки, монолит	3,5%
бетонные блоки с облицовкой из кирпича	0,8%
дерево	2,0%
дерево, облицованное кирпичом	0,9%
стеновые железобетонные панели	10,0%
стеновые керамзитобетонные панели	4,1%
Кладка из теплоизолирующих блоков (4,2%):	
керамзитобетон (или керамзитобетонные блоки)	0,8%
блоки газосиликатные, пенобетонные, пенозолобетонные	3,0%
блоки газосиликатные, пенобетонные с облицовкой кирпичом	0,2%
Стены с утеплителем (10,2%)	
кирпичные с наружным утеплением (вентилируемый фасад)	0,3%
кирпичные с наружным утеплением («мокрый» фасад, сайдинг)	1,5%
сендвич-панели (на основе минераловатного утеплителя)	8,4%

Таблица 1.5

Структура ограждающих конструкций (окна)

Вид окон	Доля
Окна новой конструкции, энергосберегающие (3,0%)	
однокамерный стеклопакет с селективным покрытием, пластиковый переплет	0,1%
двухкамерный стеклопакет, пластиковый переплет	2,9%
Окна новой конструкции, неэнергосберегающие (29,7%)	
однокамерный стеклопакет, пластиковый переплет	25,9%
однокамерный стеклопакет, деревянный переплет	3,8%
Окна старой конструкции (67,3%)	
двойное остекление в металлических переплетах	3,0%
двойное остекление в отдельных деревянных переплетах	4,1%
двойное остекление в спаренных деревянных переплетах (или сплошной раме)	59,1%
одинарное остекление, деревянная рама	0,6%
металлическая (алюминиевая) рама с одинарным остеклением	0,5%

Таблица 1.6

Структура ограждающих конструкций (крыша)

Тип крыши	Доля
Двух или много скатные (48,2%)	
с неутепленным железобетонным перекрытием	32,3%
с неутепленным деревянным перекрытием	7,4%
с утепленным перекрытием (керамзитовая засыпка)	8,5%
Плоские, совмещенные с перекрытием пустотными железобетонными плитами (44,3%)	
неутепленная	33,4%
с утеплением керамзитовой засыпкой	9,9%
с утеплением керамзитобетоном	0,4%
с утеплением минеральной или стекловатой, синтетическим утеплителем	0,6%
Сборные многослойные (7,5%)	
кровельная сэндвич панель	7,5%
В том числе (для всех типов):	
неутепленные	73,0%
утепленные	27,0%

Основная часть эксплуатируемых зданий включает неэнергоэффективные ограждающие конструкции. Доля стен из энергосберегающих материалов или с имеющимся утеплением составляет 14,4%. Окна, удовлетворяющие требованиям нормативных документов для сопротивления теплопередаче, составляют всего 3% от общего количества (однокамерный стеклопакет требованиям энергоэффективности не удовле-

творяет). Из общего числа перекрытий чердака и совмещённых плоских крыш утеплено только 27%, причем две трети из них – низкоэффективной засыпкой из керамзитового гравия.

На основании анализа можно выделить три составляющие конструктивных решений ограждающих конструкций и теплоизоляции:

- несущие стены;
- теплоизоляция;
- комбинированные строительные материалы, включающие несущую основу и теплоизоляцию.

Виды несущих стен представлены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Характеристики типовых несущих ограждающих конструкций

№	Наименование	Коэффициент теплопроводности	Плотность, кг/м ³
1	Деревянные, однослойные, собранные из бруса и рубленные из брёвен	0,14...0,35	--
2	Монолитные		
	бетонные	0,3...0,52	100...1400
	пеногазобетонные	0,11...0,52	300...1200
	керамзитобетонные	0,17...0,8	500...1800
	полистиролбетон	0,057...0,175	150...600
3	Мелкоштучные		
	силикатный кирпич	0,64...0,76	1400...1800
	керамический кирпич	0,47...0,7	1200...1800
4	Крупноблочные		
	керамзитобетонные блоки	0,2...0,8	500...1800
	пено- и газобетонные блоки	0,1...0,47	300...1200
	газосиликатные блоки	0,14	500

Также одним из вариантов изготовления ограждающих конструкций быстровозводимых зданий являются многослойные строительные блоки и панели, включающие несущую часть стены, утеплитель и фасадную декоративную облицовку (табл. 1.8).

В качестве строительной тепловой изоляции в большинстве случаев используют минераловатную и синтетическую изоляцию (табл. 1.9). Сравнение этих материалов приведено в табл. 1.10.

Таким образом, минераловатные утеплители, по сравнению с синтетическими, имеют преимущества:

- негорючесть;
- паропроницаемость.

Главным недостатком минераловатных утеплителей является высокая гигроскопичность и более высокая плотность.

Таблица 1.8

Характеристики многослойных строительных блоков и панелей



№	Наименование	Толщина, мм	Коэффициент сопротивления теплопередаче, м·К/Вт	Торговые марки
1	Крупноблочные, слоистые с эффективным утеплителем 	300..600	2,5...5,2	Liapor, Теплоблок, Теплостен, Полиблок
2	Щитовые и деревянно-щитовые панели с утеплителем (сэндвич-панели) 	50...250	1,32...6,58	Velpanel, Термоспецианель

Таблица 1.9

Характеристики типовой теплоизоляции

№	Наименование	Коэффициент теплопроводности	Торговые марки	Плотность, кг/м ³
1	Минераловатные			
	целлюлозный утеплитель и минераловатные плиты	0,036...0,082	"Isover", "Роквул", "Термолайф"	11...250
	пеностекло или газостекло	0,08...0,12	-	200...400
2	Синтетические			
	вспененный каучук	0,039...0,041	"К-флекс", "Аэрофлекс"	60...95
	экструдированный пенополистирол	0,028...0,032	"Руфмат", "Флурмат", "Стайрофоам"	25...45
	пенополистирол	0,036...0,052	"Пеноплэкс"	15...150
	пенопласт	0,041...0,06	-	50...200

Таблица 1.10

Сравнительные свойства утеплителей [48]

Параметр	Плиты из минеральной (базальтовой) ваты	Без прессовый пенополистирол ПСБ-С	Экструдированный пенополистирол
			
Плотность, кг/м ³	37-190	12-50	28-53

Продолжение табл. 1.10

Параметр	Плиты из минеральной (базальтовой) ваты	Без прессовый пенополистирол ПСБ-С	Экструдированный пенополистирол
Исходное сырьё	Натуральное сырьё (различные виды минералов) или шлаки чёрной или цветной металлургии	Пластмасса (полимеры)	Пластмасса (полимеры)
Прочность на сжатие при 10% линейной деформации, МПа	0,018–0,045	0,02–0,2 (при нагреве до 60°C прочность уменьшается до 30%)	0,25–0,7 (при нагреве до 60°C прочность уменьшается до 30%)
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	–	0,04–0,35	0,2–0,7
Предел прочности на отрыв, МПа	<0,01	<0,08	<0,08
Сжимаемость, %	до 30	<30	<1,5
Усадка, %	<10 (без нагрузки)	0 (без нагрузки) <30 (под расчётной нагрузкой)	0 (без нагрузки) <0,5 (под расчётной нагрузкой)
Сорбционная влажность, %	2–5	2–12	2–3
Водопоглощение за 24 часа, % по объёму	<40 (для гидрофобизир.)	2–4	0,2–0,4
Паропроницаемость, мг/м·Па	0,30–0,032	0,050	0,007–0,012
Теплопроводность, Вт/м·К, при t=25°C	0,036–0,038	0,037–0,042	0,030–0,033
Теплопроводность Вт/м·К, при t=75–80°C	0,052 (при t=125°)	0,2	0,034 (средняя по испытаниям при t=75°C)
Теплопроводность Вт/м·К, при условиях эксплуатации:	«А»: 0,042–0,045 «Б»: 0,045–0,048	«А»: 0,041–0,042 «Б»: 0,043–0,050	«А»: 0,029–0,031 «Б»: 0,030–0,032
Температура применения, °С	–180° до +650° При t > 250° – испаряется связующее. Плавится при 1000°C	–50° до +75° При t > 200–250° – разлагается с выделением токсичных веществ (мономер стирол), температура самовоспламенения 435–475°	–50° до +75° При t > 200–250° – разлагается с выделением токсичных веществ (мономер стирол)
Горючесть	НГ, Т2	Г3, В2, Д3, Т2, Т3, РП4 (ядовитые газы: монооксид углерода, стирол, ароматические соединения, бромоводород)	Г1, В2, Д3, РП1 или Г4, В3, Д3, РП4 (ядовитые газы: монооксид углерода, стирол, ароматические соединения, бромоводород)

Окончание табл. 1.10

Параметр	Плиты из минеральной (базальтовой) ваты	Без прессовый пенополистирол ПСБ-С	Экструдированный пенополистирол
Выделение вредных веществ, при насыщении 1 м ² /м ³ , в мг/м ³	Пыль минерального волокна <2 Фенол <0,1 Формальдегид <0,05 Бензол <0,1 Толуол <0,6 Диметилбензол <0,2 Класс опасности 2 (аллерген)	Стирол <0,002 Бутилацетат <0,1 Ацетон <0,35 Формальдегид <0,01 Бензол <0,1 Толуол <0,6 Ксилол <0,2 Класс опасности 4	Стирол <0,002 Бензол <0,1 Толуол <0,6 Этилбензол <0,02 Ксилол <0,02 Изопропилбензол <0,014 Формальдегид <0,003 Этиловый спирт <0,1 Класс опасности 4
Химическая стойкость	Водостойкость – слабая (вымывается связующее, без которого материал даёт усадку и разрушается). Обладает фитильным эффектом	Стойкий к слабым кислотам, щелочам. Водостойкость слабая (разбухает, крошится). Разрушается от: ароматических углеводородов, формальдегида, бензина, керосина, дизельного топлива, масляных красок и др.	Стойкий к кислотам, растворам солей, щелочам, спиртам, воде, аммиаку. Разрушается от: ароматических углеводородов, формальдегида, ацетона, бензина, керосина, дизельного топлива, масляных красок, солнца и др.
Долговечность заявленная, годы	50 – экспериментально	30 – экспериментально	50 – экспериментально
Долговечность фактическая, годы	10–15. Частые ремонты (потери в массе – пыление в вентилируемом фасаде от 2 до 8% в год)	15–20 (до разрушения)	Не менее 20
Цена за 1 м ³ , руб. (2014 г.)	1650–7100	1500–8600	4100–4300

По способу крепления теплоизоляции используется два метода:

1) теплоизоляционный материал (плита) крепится клеем или (и) дюбелями с шайбами на несущей стене, на утеплитель крепится сетка и на него наносится защитно-отделочная штукатурка (система «мокрый фасад»);

2) теплоизоляционный материал (плита или маты) крепится клеем или (и) дюбелями с шайбами на несущей стене, изолируется с помощью паро-влагоизоляционной плёнки, сверху на металлических связях устанавливается наружный экран на таком расстоянии от теплоизоляции, которое обеспечивает вентилируемую воздушную прослойку (система «навесной вентилируемый фасад»).

В работе [43] отмечается, что оба вида утепления обладают существенными недостатками при низком качестве строительных работ. Так,

на втором–третьем году эксплуатации зданий после утепления, проведённого методом «мокрого фасада», зафиксировано значительное количество трещин на местах, соответствующих стыкам плит теплоизоляции. Это связано с неравномерностью штукатурного слоя и высокой паропроницаемостью в местах стыков плит. Меж капитальный ремонтный срок для таких зданий не превышает пяти лет.

В навесном вентилируемом фасаде из-за применения стальных или алюминиевых связей для крепления декоративных плит возникает теплотехническая неоднородность, что приводит к снижению теплозащитных свойств ограждающей конструкции по сравнению с проектным значением [44, 49, 50]. Также большой проблемой вентилируемых фасадов является их пожароопасность, вызванная применением синтетического горючего утеплителя, паровлагоизоляционных плёнок и декоративных плит, а также несоблюдением норм пожарной безопасности при монтаже утепления [51]. При возгорании за счёт естественной тяги в воздушной прослойке между утеплителем и навесными плитами пламя быстро распространяется по всей высоте дома (рис. 1.14). Можно отметить, что при правильном монтаже и применении не горючих материалов опасность пожаров в здании со смонтированными вентилируемыми фасадами отсутствует.



Рис. 1.14. Пожары в зданиях с навесным вентилируемым фасадом

Как видно из приведённых данных ограждающие конструкции здания могут быть выполнены из множества вариантов строительных материалов. В сочетании с различными видами утеплителя это приводит к большому количеству возможных вариантов исполнения конструкции здания. В табл. 1.11 представлены несколько вариантов строительных материалов, для каждого из которых приведена толщина стены из этого материала, обеспечивающих нормативное сопротивление теплопередаче. Для материалов, из которых могут быть выполнены ограждающие конструкции, также приводится примерная стоимость

Таблица 1.11

Характеристики многослойных строительных блоков и панелей

Наименование материала	λ , Вт/(м·К)	Толщина стены с $R = 2,92 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, м	Примерная стоимость коробки 10×10 м с $R = 2,92 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, тыс. руб.
I. Бетоны и растворы			
Железобетон	1,69	4,93	2030
Газо- и пенобетон D500	0,18	0,53	547,4
Керамзитобетон D800	0,29	0,85	617,6
II. Кирпичная кладка (на цементно-песчаном растворе)			
Кладка из сплошного силикатного кирпича	0,7	2,04	2850
Кладка из керамического кирпича	0,47	1,37	2687
Кладка из силикатного пустотного кирпича	0,64	1,87	2917
III. Дерево, изделия из него и других природных органических материалов			
Сосна и ель поперёк волокон	0,09	0,26	1441
Дуб поперёк волокон	0,1	0,29	2858
ДВП, ДСП	0,15	0,44	
IV. Теплоизоляционные материалы			
A. Минераловатные и стекловолокнистые			
Маты минераловатные на синтетическом связующем (Isovent)	0,056	0,16	
Плиты полужёсткие минераловатные (Izovol)	0,07	0,20	
Маты и полосы из стеклянного волокна прошивные (Ursa)	0,061	0,18	
Б. Полимерные			
Пенополистирол (Пеноплекс, Stygofam, Ursa XPS)	0,038	0,11	
Пенопласт, пенополистирол	0,052	0,15	
Пенополиуретан	0,041	0,12	
В. Засыпки			
Гравий керамзитовый	0,18	0,53	
Щебень и песок из перлита вспученного	0,11	0,32	
Песок для строительных работ	0,35	1,02	
Пеностекло или газостекло	0,11	0,32	
Теплостен	0,313	0,91	

Можно сделать вывод, что определение оптимальной конструкции энергоэффективного здания, обеспечивающего минимальную стоимость и теплопотери, требует проведения многовариантных расчётов при сочетании различных видов и толщин основной несущей стены и утеплителя.

Необходимо отметить, что на выбор теплоизоляции и результаты расчётов оказывает влияние используемые теплофизические свойства строительных материалов и теплоизоляции. Как отмечается в работе [40], в российских нормативных документах приводятся данные о теплопроводности для условий эксплуатации в самый холодный период при максимальном влагонакоплении. В зарубежных нормативных документах приводятся значения, полученные при испытаниях в лабораторных установках на небольших образцах, без учёта влияния строительных и эксплуатационных факторов. В работе [40] приводится пример, что для плит «ROCKWOOL» плотностью 200 кг/м³ производитель представляет расчётное значение коэффициента теплопроводности, равное 0,038 Вт/(м°С) при влажности 0,5%. В российских сводах правил [23] для аналогичного минераловатного утеплителя указана теплопроводность 0,08 Вт/(м°С) при влажности в условиях эксплуатации 5%, что в два раза ниже значения производителя.

1.3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Методы измерения теплофизических свойств строительных материалов

Методы можно разделить на следующие:

- 1) метод стационарного потока теплоты:
 - методы плоского слоя;
 - метод цилиндрического слоя;
- 2) метод нестационарного потока теплоты:
 - регулярного теплового режима;
 - квазистационарного теплового режима;
 - зондовые методы.

Метод стационарного потока основаны на уравнении Фурье

$$\vec{q} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \quad (1.20)$$

Стационарные методы основаны на исследовании постоянных во времени температурных полей. Через материал с помощью источника теплоты (электрического нагревателя) создаётся тепловой поток и по его величине, разности температур в двух точках и расстоянию между

этимися точками определяется коэффициент теплопроводности. В методе плоского слоя (рис. 1.15) рабочий нагреватель расположен с одной стороны образца. Для устранения потерь через торцы образца используются охранные (компенсационные) нагреватели. Метод используется для определения теплопроводности веществ в любом фазовом состоянии. Величина теплового потока определяется с помощью термомеров или измерением электрической мощности, подаваемой на рабочий нагреватель.

Метод цилиндрического слоя (рис. 1.16) применяется для теплоизоляционных материалов, которым придают вид твёрдых колец. Длина образца примерно в 30 раз больше его диаметра. Нагреватель расположен в центре образца вдоль его оси. В методе цилиндрического слоя более высокая точность измерения, так как потери теплоты через торцы образца минимальны.

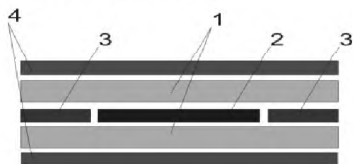


Рис. 1.15. Схема установки измерения теплопроводности методом плоского слоя:

- 1 – материал; 2 – рабочий нагреватель; 3 – охранные нагреватели; 4 – холодильники

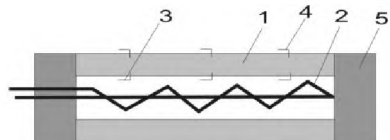


Рис. 1.16. Схема установки измерения теплопроводности методом цилиндрического слоя:

- 1 – материал; 2 – нагреватель; 3 – внутренние термопары; 4 – внешние термопары; 5 – теплоизоляция

Теплопроводность строительных материалов в испытательных лабораториях определяют методом плоского слоя согласно ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и сопротивления теплопередаче при стационарном тепловом режиме». Для измерения выпускается ряд сертифицированных приборов, в которых могут испытываться образцы размером от 100x100 мм и толщиной 3...28 мм до образцов размером 300x300 мм и толщиной 5...60 мм. Кроме размеров образцов приборы отличаются условиями создания температурного режима и методами компенсации утечек тепла [52, 53]. Относительная погрешность определения теплопроводности сухих материалов этими методами 3...5%. Но, несмотря на высокую точность и надёжность эксплуатации, у методов имеются ряд недостатков [40, 53]:

- большая продолжительность испытаний;

– необходимость использовать образцы строго определённых размеров и невозможность измерения коэффициента теплопроводности материалов непосредственно в ограждающей конструкции.

Нестационарные методы измерения теплопроводности основаны на исследовании изменения температурных полей во времени. Сложность их заключается в необходимой точной реализации условий измерений. Но их преимуществом является быстрота проведения опытов. Также кроме данных о теплопроводности с помощью этих методов могут быть получены значения температуропроводности и теплоёмкости [53].

Нестационарный метод регулярного теплового режима заключается в охлаждении нагретого твёрдого тела, помещённого в бикалориметре в среду со значительно более низкой постоянной температурой. Интенсивная теплоотдача на поверхности тела определяет, что лимитирующей стадией в теплопередаче является теплопроводности внутри образца.

Квазистационарные методы основаны на измерении параметров после подачи теплового импульса на поверхности и внутри материала при выполнении постоянства теплового потока или скоростью изменения температуры окружающей среды и поверхности тела [15]. Как метод регулярного теплового режима, так и квазистационарный метод требуют образцов строго определённых размеров и форм и не могут быть использованы в натуральных условиях.

Зондовый метод основан на вводе в материал металлический нагреваемого тела (цилиндрического зонда) и определении зависимости его температуры от теплопроводности окружающего зонд материала. Метод позволяет быстро определить теплопроводность материала в лабораторных и натуральных условиях, но обладает невысокой точностью. Применение метода установлено в ГОСТ 30256-94 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом».

Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Определения сопротивления теплопередаче в натуральных условиях или в лабораторных условиях для ограждающих конструкций натуральных размеров основаны на создании в конструкции условий стационарного теплообмена и измерении плотности теплового потока и температур воздуха и поверхностей конструкции на её обеих сторонах.

Существуют два метода исследования теплозащитных свойств ограждающих конструкций:

– исследования элементов ограждающих конструкций в климатических камерах;

– исследования элементов ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий в натуральных условиях.

Климатическая камера представляет собой два отсека, разделённые друг от друга исследуемой конструкцией.

В одном из отсеков поддерживается температурно-влажностный режим, соответствующий воздуху внутри помещения, в другом – условиям зимним эксплуатации. Тепловой поток через ограждающую конструкцию измеряется с помощью тепломеров или, для светопрозрачных конструкций, с помощью приставленной калориметрической камеры (рис. 1.17).

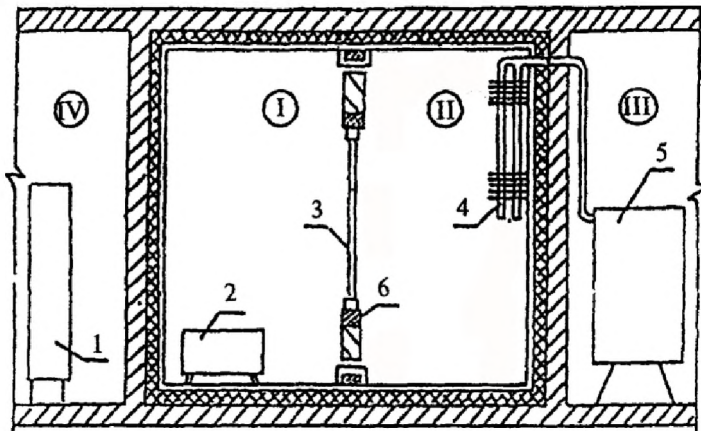


Рис. 1.17. Климатическая камера для определения сопротивления теплопередаче [54]:

I – тёплое отделение камеры; II – холодное отделение камеры; III – машинный зал; IV – помещение с измерительной аппаратурой; 1 – блок измерительных приборов; 2 – нагреватель; 3 – испытываемый элемент; 4 – испаритель; 5 – холодильная установка; 6 – теплоизоляция

Одни из первых испытаний конструкций в климатической камере были проведены Ф.В. Ушковым [55]. Проведение испытаний в климатической камере для непрозрачных ограждающих конструкций в настоящее время нормируется ГОСТ Р 56623-2015 «Контроль неразрушающий. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций», для светопрозрачных конструкций – ГОСТ 26602.1-2023 «Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче».

Исследования в натуральных условиях проводятся в зимний период. Величина теплового потока, проходящего через ограждающую конструкцию, измеряется преобразователем теплового потока ИТП-11 или ИТП-7, спецификация которого приведена в ГОСТ 25380-2014 «Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции». Метод основан на измерении перепада температуры на специальной пластинке, устанавливаемой на поверхности конструкции. При градуировке разность температур сопоставляется с величиной теплового потока.

Первые измерения сопротивления теплопередаче стен эксплуатируемого здания проведены Б.Ф. Васильевым [56]. В настоящее время такие измерения регламентируются ГОСТ Р 56623-2015 «Контроль неразрушающий. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций». Для измерений выпускаются приборы, комплектуемые датчиками теплового потока, термодарами и устройствами для регистрации данных измерений (рис. 1.18).



Рис. 1.18. Измерение сопротивления теплопередачи с использованием измеритель плотности тепловых потоков и температуры ИТП-МГ4.03/Х(1) «ПОТОК»
(изготовитель ООО «СКБ Стройприбор», г. Челябинск)

Порядок проведение измерения следующий:

1. На поверхности ограждающей конструкции в местах теплотехнической однородности, определяемой, как правило, с помощью тепловизионной съёмки, в каждой точки измерения закрепляются датчики:

– преобразователь теплового потока;

– два датчика температуры (термопары) внутри и снаружи ограждающей конструкции, устанавливаемые вблизи датчика теплового потока;

Комплектация приборов позволяет одновременно проводить измерения в одной-трёх точках.

2. Внутри и снаружи помещения устанавливаются датчики температур воздуха и влажности внутри помещения. Кроме того измеряются скорость наружного воздуха и влажность исследуемой конструкции.

3. Измерения проводят в течение не менее 15 суток. После окончания измерений выбирают периоды с установившимся режимом длительностью не менее 1 сут., сопротивление теплопередаче рассчитывается по усреднённым показаниям датчиков за этот период.

Сопротивление теплопередаче R_0 согласно ГОСТ Р 56623-2015 определяется по выражению:

$$R_0 = R_v + R_k + R_n = (t_v - \tau_v)/q_\phi + (\tau_v - \tau_n)/q_\phi + (\tau_n - t_n)/q_\phi, \quad (1.21)$$

где R_v , R_k , R_n – сопротивление теплопередаче соответственно внутренней и наружной поверхности и элемента ограждающей конструкции, (м²·°С)/Вт; q_ϕ – плотность теплового потока, Вт; τ_v , τ_n – температура внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции, °С; t_v , t_n – температура внутреннего и наружного воздуха, °С.

Существует ряд бесконтактных способов измерений сопротивления теплопередаче на основе тепловизионной съёмки, выполненной снаружи здания [57, 58]. При этом тепловой поток определяется по разности температур стены и воздуха и коэффициенту теплопередачи. Но, как показано в ряде работ [59, 60], данный метод обладает крайне низкой точностью.

1.4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

В ряде работ было произведено исследование теплотехнических свойств ограждающих конструкций в натуральных условиях.

Как показано в работе [61], фактическая удельная отопительная характеристика эксплуатируемых московских зданий заметно выше расчётного (проектного) значения (рис. 1.19), что авторами работы объясняется наличием значительных «перетоков», т.е. подачи в здания избы-

точного количества теплоты. Но увеличение расхода теплоты на отопление в несколько раз только наличием «перетопов» объяснено быть не может, так как в этом случае температура в здании была бы выше расчётных значений на аналогичную величину.

Ухудшение энергоэффективности здания может быть вызвано несоответствием расчётных и фактических теплозащитных свойств ограждающих конструкций [12].

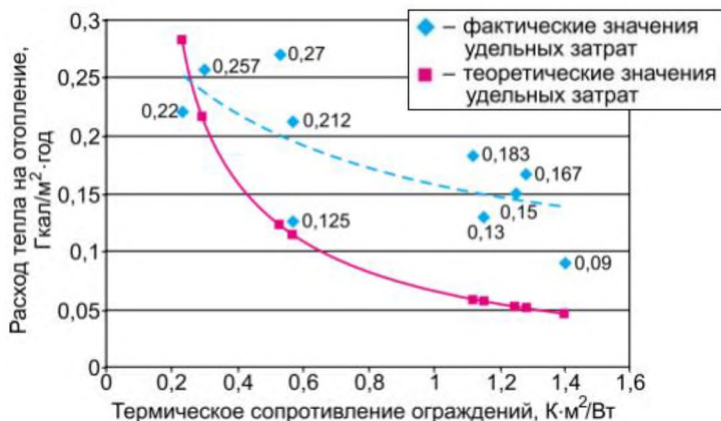


Рис. 1.19. Соотношения теоретических и фактических расходов теплоты на отопление [61]

В работе [40] Н.С. Гурьяновым были исследованы теплозащитные свойства наружных стен в натуральных условиях для зданий, эксплуатируемых в Республике Саха (Якутия), проведён анализ их расчётных и фактических значений сопротивления теплопередаче и его изменение в течение периода эксплуатации здания. Анализ снижения теплозащитных свойств ограждающих конструкций в зависимости от вида и времени эксплуатации по данным работы [40] приведён в табл. 1.12 и 1.13.

Анализ данных натуральных исследований, позволила установить, что снижение теплозащитных свойств ограждающих конструкций впервые 10 лет эксплуатации здания происходит по экспоненциальной зависимости со степенным показателем.

Для зданий возрастом до 10 лет снижение сопротивления теплопередаче стен имеет вид степенной зависимости, в дальнейшем оно снижается по линейному закону (рис. 1.20).

Таблица 1.12

Изменение теплозащитных свойств ограждающих конструкций

Материал ограждающей конструкции	Время эксплуатации, лет	Снижение теплозащитных свойств по сравнению с расчётными, %
Мелкоблочные наружные стены с пенополиуретановым утеплителем	10	59,1
Щитовые наружные стены, с минераловатным утеплителем	17-21	47,5
Крупнопанельные стены с пенополистирольным утеплителем	10	49,4
Крупноблочные стеновые конструкций	8-9	27
Собранные из деревянного бруса	21	4,2
Кирпичные наружные стены	20-24	0,2
Трёхслойные мелкоблочные наружные стены с утеплителем	1	47,5

Таблица 1.13

Сравнение расчетных $R_{0(\text{расч})}^{\text{пр}}$ и фактических $R_{0(\text{ф})}^{\text{пр}}$ параметров теплозащиты наружных стен [40]

№	Адрес (год постройки)	$R_{0(\text{расч})}^{\text{пр}}$, м ² К/Вт	$R_{0(\text{ф})}^{\text{пр}}$, м ² К/Вт	Δ , %
Кирпичные стены, $\delta = 770$ мм				
1	ул. Ленина 2 (1978)	1,14	1,15	101,2
2	ул. Кравченко 14 (1982)	1,12	1,14	101,8
Крупноблочные стены, $\delta = 770$ мм				
3	ул. Чурапчинская 37/3 (1993)	1,36	0,99	64,2
4	ул. Ю. Якутская 24 (1994)		1,03	75,9
5	ул. Островского 12 (1993)		0,92	67,7
Стены, собранные из деревянного бруса, $\delta = 180$ мм				
6	пос. Сер. Бор 81 (1981)	1,32	1,27	95,8
Мелкоблочные стены, с пенополиуретановым утеплителем ($\delta_{\text{ст}} = 600$ мм, $\delta_{\text{у}} = 100$ мм)				
7	ул. Сосновая 4 (1992)	2,8	1,15	40,9
Крупнопанельные стены, с пенополистирольным утеплителем ($\delta_{\text{ст}} = 240$ мм, $\delta_{\text{у}} = 160$ мм.)				
8	пр. Д. Народов 6/2 (1992)	2,47	1,26	50,93
9	ул. Бочкарева 6 (1991)		1,17	47,6
10	пр. Д. Народов 33 (1984)		1,05	42,5
11	пр. Мира 5 (1992)		2,25	1,13
Крупнопанельные стены с пенополистирольным утеплителем ($\delta_{\text{ст}} = 150$ мм, $\delta_{\text{у}} = 100$ мм), утеплённый снаружи минераловатным утеплителем ($\delta_{\text{у}} = 80$ мм) в 2001 году				
12	с. Иенгра, школа-интернат (1989)	3,4	1,06	31,1
Деревянно-щитовые стены с минераловатным утеплителем ($\delta_{\text{ст}} = 130$ мм, $\delta_{\text{у}} = 100-125$ мм)				
13	пос. Сер. Бор 180 (1981)	2,31	1,07	46,1
14	пос. Сер. Бор 110 (1985)		1,24	53,7
15	пос. Сер. Бор 77 (1985)	2,65	1,45	54,7
16	пос. Сер. Бор 103 (1985)		1,47	55,5

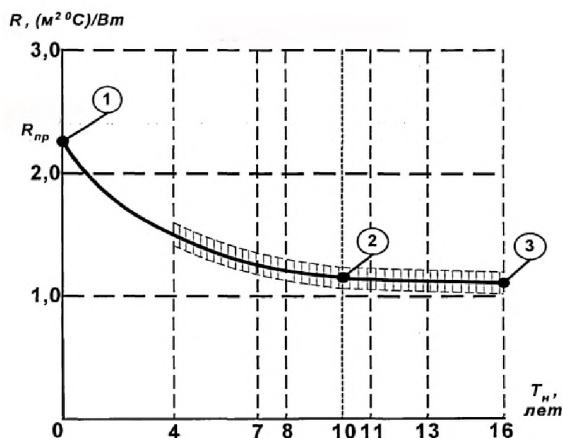


Рис. 1.20. Зависимость сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с течением времени [40]

На основе установленной динамики снижения сопротивления теплопередаче многослойных ограждающих конструкций с течением времени Н.С. Гурьяновым предложено применять поправочный коэффициент K_D , уточняющий их расчётную величину, изменяющуюся в процессе эксплуатации здания.

Таким образом, процесс снижения тепловой защиты наружных стен можно описать функцией

$$R_p = \begin{cases} R_{пр} \cdot e^{-0,0707T_n}, & 0 \leq T_n \leq 10; \\ -6,7 \cdot 10^{-3} T_n + 1,177, & T_n > 10 \end{cases} \quad (1.22)$$

где T_n – продолжительность эксплуатации здания, лет, R_p – расчётное сопротивление теплопередаче, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, $R_{пр}$ – проектное сопротивление теплопередаче, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$.

Погрешность полученной экспериментальной функции не превышает $\pm 10\%$.

Таким образом, наибольшее снижение сопротивления теплопередаче наблюдается для ограждающих конструкций, содержащих слой утеплителя.

Михеев Д. А. в работах [62, 63] для типовых многоквартирных жилых зданий, эксплуатируемых в г. Красноярск и его окрестностях, привёл оценку распределения температур наружных поверхностях ограждений конструкций (рис. 1.21).

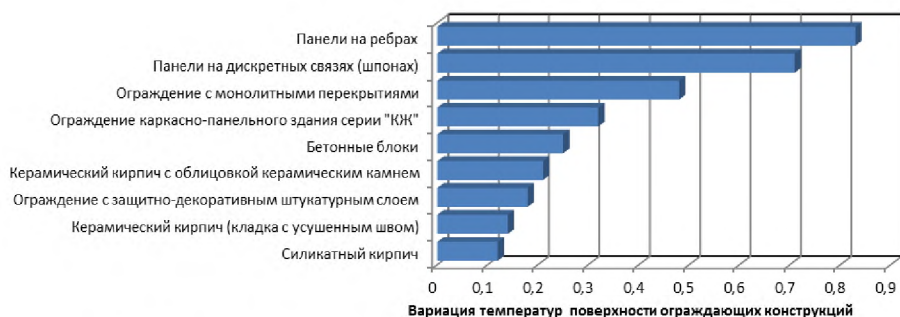


Рис. 1.21. Коэффициенты вариации температур поверхности ограждающих конструкций

Автор показал, что реальное распределение температур, полученное с использованием методов тепловизионной съёмки, позволяет выявить конструктивные особенности и дефекты ограждающих конструкций зданий. Наибольшее расхождение в температуре на поверхности имеют ограждающие конструкции, имеющие неоднородные участки.

В работе [64] Бегдай С.Н. в опытно-промышленных условиях установил влияние солнечной радиации на сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, утеплённых минеральной ватой и экструдированным пенополистиролом. Установлено, что точность расчёта сопротивления теплопередаче может быть повышена на 26% при использовании нелинейных моделей, что также указывает на неравномерность поля теплового потока в ограждающих конструкциях.

1.5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Анализ структуры выработки тепловой энергии

В 2014 г. в России потреблено 863 т усл. первичного топлива [65], из которых примерно 50% затрачено на выработку теплоты [66, 67]. Теплоснабжение является важной составляющей системы жизнедеятельности, определяющей условия жизни населения, поэтому кроме технического аспекта необходимо учитывать и его социальную роль [28, 68]. При этом около 50% коммунальных платежей, как населения, так и бюджетных учреждений, приходится на теплоту (рис. 1.22).

В Российской Федерации по разным источникам 67,5...73% теплоты вырабатывается в централизованных системах, и 27%...32,5% в источниках индивидуального (децентрализованного) отопления (рис. 1.23, 1.24). Объём вырабатываемой теплоты и данное соотношение в последние годы меняется мало [25, 69].

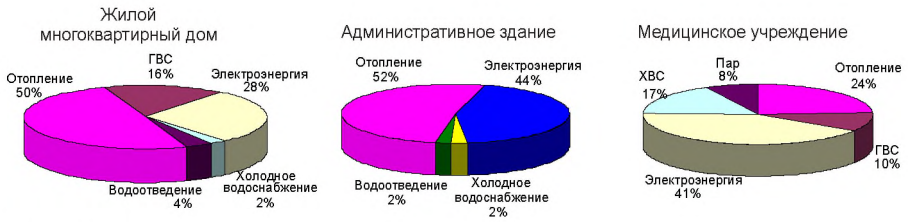


Рис. 1.22. Средняя структура затрат на оплату коммунальных ресурсов при централизованном теплоснабжении на примере г. Белгорода [70]

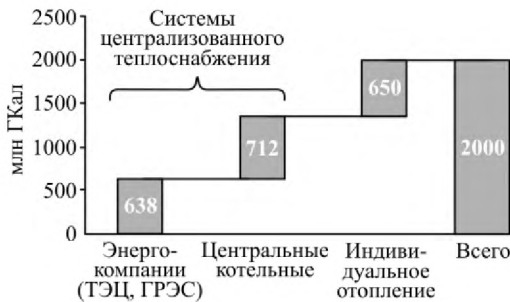


Рис. 1.23. Структура выработки теплоты для отопления в РФ в 2000–2010 г. [25, 28, 67, 71]

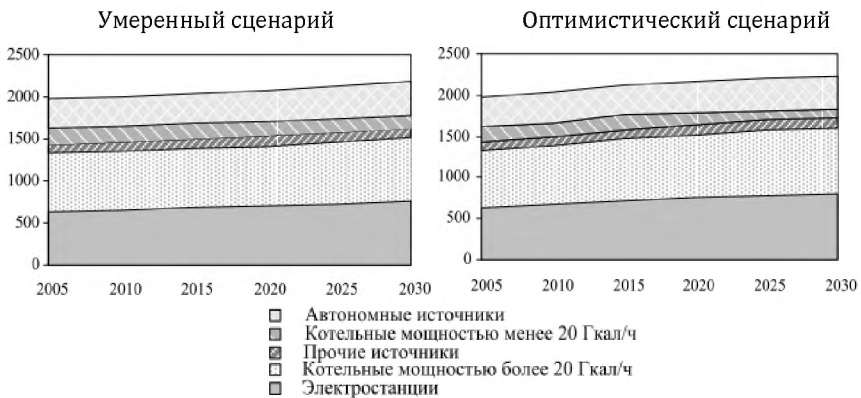


Рис. 1.24. Прогноз производства и потребления тепловой энергии в РФ на период до 2030 года [25]

Доля когенерационных (теплофикационных) установок, осуществляющих совместную выработку электроэнергии и теплоты), в общем объёме производства теплоты за последние 25 лет сократилась на 6,5% (с 954 до 638 млн. Гкал), в настоящее время эта доля стабилизировалась на уровне 32% [25, 28]. Таким образом, две трети теплоты в России вырабатывается в котельных различного масштаба. Их работа, в отличие от мирового опыта, ориентирована на преимущественное использование газа, что её отличает от индустриально развитых стран (рис. 1.25). Доля прочих источников теплоты (вторичные энергоресурсы, местные, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии) не превышает 5% и её увеличение без мощной государственной поддержки проблематично [25].

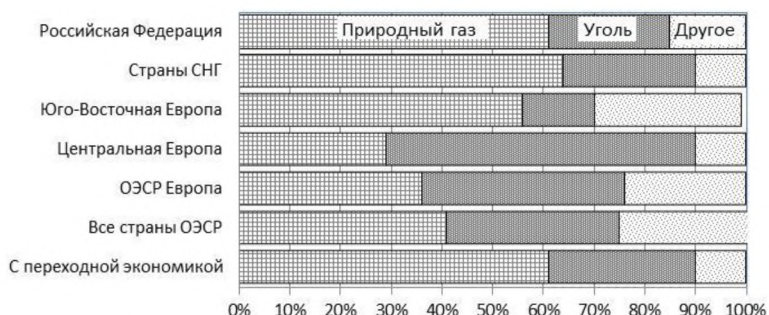


Рис. 1.25. Производство тепловой энергии по видам топлива [25]

Для оценки систем теплоснабжения необходимо учитывать ряд системных факторов – в том числе размер города, численность населения, структуру промышленных и бытовых нагрузок [72]. Распределение населённых пунктов по численности населения и площади жилого фонда представлены на рис. 1.26 и 1.27.

В работах [68, 72] населённые пункты и их системы теплоснабжения классифицированы на несколько типологических групп (табл. 1.14).

Как видно из анализа, 85% всех населённых пунктов имеют численность до 100 тыс. чел. и разрозненные «кустовые» схемы теплообеспечения, при этом они потребляют до 40% теплоты. Ещё 16% теплоты потребляют города численностью 100...300 тыс. чел. Во всех случаях системы теплоснабжения в городах сформированы в основном на базе централизованных систем и являются сложными иерархическими системами с разветвлёнными сетями и большим количеством потребителей [68].

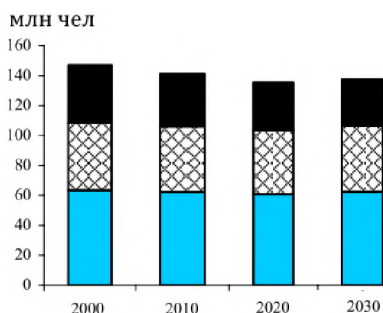


Рис. 1.26. Прогноз распределения населения по типам населённых пунктов:

■ – крупные города; ▨ – средние города; ■ – малые населённые пункты [71]

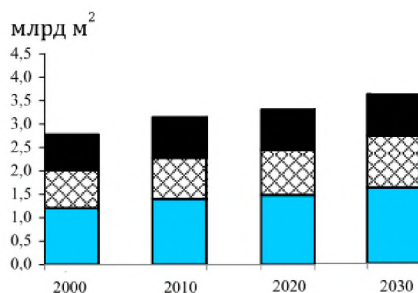


Рис. 1.27. Прогноз развития жилищного фонда по типам населённых пунктов

■ – крупные города; ▨ – средние города; ■ – малые населённые пункты [71]

Таблица 1.14

Характеристики систем теплоснабжения населённых пунктов России [68, 72]

Население, тыс. чел.	до 100	100-300	300-500	500-1000	свыше 1000
Количество населённых пунктов	948	106	29	21	13
Зданий в населённом пункте	100-300	500-1500	2000-4000		5000-7000
Источники тепловой энергии	5-10 котельных	1 ТЭЦ, до 100 котельных	1-3 ТЭЦ, 100-250 котельных		4-7 ТЭЦ, 300-500 котельных
Длина тепловых сетей, км	25-50	70-170	180-350		350-700
Численность населения, млн. чел.	40,5	17,5	11,0	12,4	27,4
Расчётная тепловая нагрузка, Гкал/ч	до 150	150-500	500-1000	1000-3500	более 3500
Годовое теплопотребление, млн. Гкал	752 (37,6%)	320 (16%)	192 (9,6%)	228 (11,4%)	494 (24,7%)

Из анализа структуры населённых пунктов можно сделать вывод, что в России большая часть тепловой энергии вырабатывается в котельных административных центров районов и регионов [67]. При этом, несмотря на небольшую долю выработки энергии в небольших и малых котельных, по общему количеству они занимают 95% от общей числен-

ности котельных (рис. 1.28). Также около 50% теплоты при децентрализованной выработке производится в местных котельных, обслуживающих одно или небольшую группу зданий (рис. 1.29). Таким образом, задача оптимального проектирования и оценки эффективности работы небольших котельных является актуальной.

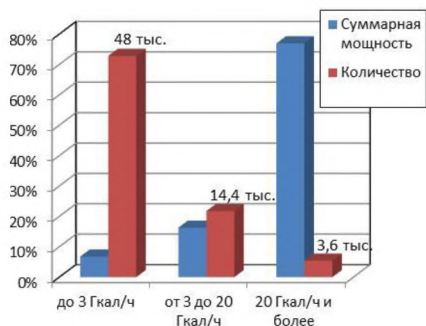


Рис. 1.28. Структура выработки теплоты котельными [25, 67, 69]

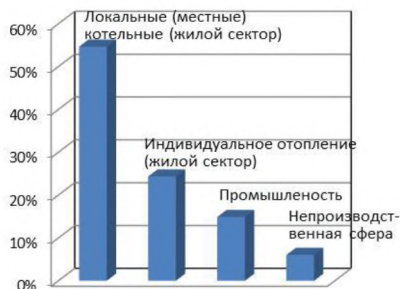


Рис. 1.29. Структура выработки децентрализованной тепловой энергии [67]

Протяженность тепловых сетей систем централизованного теплоснабжения в 2012 г. в России составила около 183 тыс. км в двухтрубном исчислении [67]. Из них по разным оценкам от 15%...25% [69, 71] до 80% [73, 74] нуждаются в замене и капитальном ремонте. Аварийность на теплотрассах достигла семь случаев на 10 км в год и продолжает расти [74]. Основную долю тепловых сетей составляют маломощные сети (табл. 1.15), причём по прогнозу их протяжённость и доля будут увеличиваться (рис. 1.30).

Таким образом, основную часть (в количественном выражении) в централизованном теплоснабжении занимают небольшие системы теплоснабжения. Их эксплуатация требует повышенных удельных текущих расходов (по сравнению с крупными котельными), что отражается в высоких тарифах на тепловую энергию.

Таблица 1.15

Характеристики тепловых сетей России

Диаметр труб, мм	Протяжённость в двухтрубном исчислении в 2007 г., тыс. км [71]	Стоимость прокладки, тыс. \$/км [75, 76]
до 200	128,9 (74,5%)	100
200...400	27,8 (16,2%)	200
400...600	10,3 (6,0%)	2200
свыше 600	6,2 (3,3%)	6000

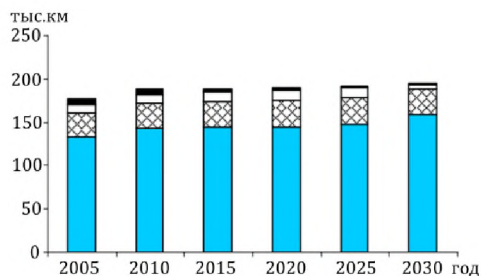


Рис. 1.30. Прогноз изменения протяженности тепловых сетей в ЦТТ по диаметрам труб [71]:

■ – до 200 мм; ▨ – 200-400 мм; □ – 400-600 мм; ■ – 600 мм и более

Так в работе [69] приводятся данные, что на 15% производимой тепловой энергии в небольших котельных приходится более 30–35% бюджетных средств, направленных на финансирование систем теплоснабжения.

Во всех небольших системах теплоснабжения имеется значительный (20% и более) избыток установленной мощности [69]. Разрегулированность и большая тепловая инерционность систем централизованного теплоснабжения приводят к существенным деформациям в поставках и, соответственно, к росту тарифов на тепловую энергию, которые в разных регионах отличаются более чем в три раза [74].

Анализ структуры потребления тепловой энергии

По оценкам ряда источников [25, 44, 67, 69, 71, 73] отпуск тепловой энергии от систем централизованного теплоснабжения в России составляет около 1400 млн. Гкал в год и структура потребления имеет следующий вид:

Промышленность	46,6%
Строительство	0,7%
Сельское, рыбное хозяйство и охота	2,2%
Транспорт и связь	2,6%
Социальная и коммунально-бытовая сферы	9,6%
Население	38,3%

От систем централизованного теплоснабжения обеспечивается отопление 83% жилищного фонда страны и горячее водоснабжением 65% жилого фонда [66]. В общем, на нужды отопления приходится около 70% потребления тепловой энергии населением, и на горячее водоснабжение – 30% [69]. При этом доля в потреблении теплоты от котельных мощностью менее 20 Гкал/ч составляет 54% для населения, 33% для промышленности 33% и 13% для социальной и коммунально-бытовой сферы.

Анализ потерь теплоты в системах теплоснабжения

Потребность в тепловой энергии зависит от масштабов жилищного строительства и реализации потенциала энергосбережения [71]. Для этого необходима оценка реальных потерь при производстве, передаче и потреблении тепловой энергии. В настоящее время сложилось убеждение, что основные потери происходят при транспортировке энергии в тепловых сетях. В работе [71] приводится значение технологически возможных в размере 3-5%. По официальным данным Росстата РФ потери теплоты составляют 7,1%, что соответствует нормативным значениям, включаемым теплоснабжающими организациями в себестоимость отпуска теплоты. По данным разных источников оценка этих потери значительно различается и составляет 19...30,7% [3, 28, 77], 20% [73], от 10 до 32% и более [71], до 35% и может быть еще выше [78].

Такой разброс данных свидетельствует об отсутствии механизма оценки реальных потерь в тепловых сетях. В работе [79] на основе анализа работ по установке и налаживанию систем учета тепловой энергии делается вывод, что максимальные потери теплоты наблюдаются не в сетях, а в зданиях у конечных потребителей. Отличие между договорными и фактически объемами потреблённой теплоты доходят до 30-35%. На основании анализа авторы приводят следующую оценку величины тепловых потерь:

- удельные расходы топлива на производство электрической энергии на паротурбинных энергоблоках практически соответствуют лучшим мировым показателям (328 г усл. топл. на КЭС и 262 г усл. топл. на ТЭЦ);

- удельные расходы топлива на выработку тепловой энергии выше современных показателей на 15...25 % в связи с изношенностью котельного оборудования;

- потери в тепловых сетях составляют 8...13% (Москва) и достигают в ряде городов 18...20%;

- здания потребляют в среднем на 45...55 % больше Европейских норм.

Анализ потенциала энергосбережения в сфере теплоснабжения (разницу между фактическими и нормативными потерями) так же представлен в работе [25], где для тепловых потерь в сетях приведены более высокие значения потерь, а для зданий – более низкие (рис. 1.31).

В работах [28, 66, 71] приводятся данные, что в России значительная часть зданий возводилась в советский период, при этом массовая застройка характеризовалась дешёвыми зданиями с низким сопротивлением теплопередачи ограждающих конструкций, при этом фактические тепловые потери в зданиях из-за низкого качества строительства и эксплуатации на 20-30% выше проектных.

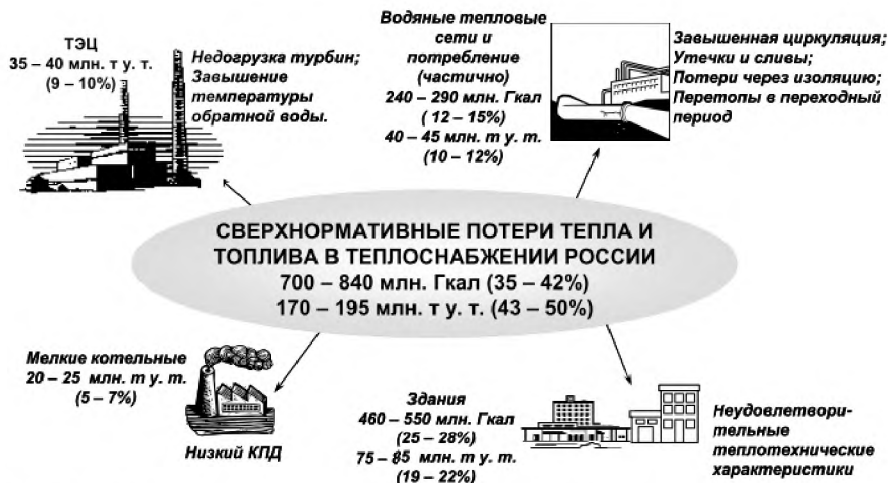


Рис. 1.31. Сверхнормативные потери тепла и топлива в тепловом хозяйстве России [25]

По сравнению с довоенным уровнем фактическое теплотребление отечественных зданий увеличилось в среднем в 1,5-1,7 раза, за 15 лет массовой застройки с 1975 по 1990 г. средний удельный расход теплоты в жилых зданиях увеличился на 12,5% [80]. Таким образом, перерасход теплоты на отопление существующих зданий относительно необходимых энергозатрат составляют от 111 до 153% [80].

Таким образом, по оценкам различных авторов главным потенциалом энергосбережения при обеспечении потребителей тепловой энергии является экономия теплоты у конечных потребителей, что может быть осуществлено в двух направлениях [81-83]:

- повышением тепловой защиты ограждающих конструкций зданий, при технической возможности организацией рекуперации теплоты в системах вентиляции;

- обеспечение оптимальных режимов отопления с исключением «перетопов» (подаваемой в здание теплоты, превышавшее необходимое значение) путём наладки и регулирования системы отопления.

Сравнение централизованного и децентрализованного теплоснабжения

Централизованное и децентрализованное теплоснабжение являются двумя принципиально различными концепциями организации теплоснабжения. Система централизованного теплоснабжения включает котельную высокой производительности или ТЭС (ГРЭС) и распределительной тепловой сети значительной протяженности. Такими система-

ми обеспечиваются тепловой энергией большой объём зданий, как правило, небольшие население пункты целиком или административные районы в крупных городах. Децентрализованное теплоснабжение включает большое количество небольших котельных или блочных ТЭЦ, обеспечивающей тепловой энергией одно или несколько зданий с помощью короткой распределительной сети, или отопительных котлов в зданиях или помещениях (квартирах).

Развитие систем теплоснабжения зависит от климата. Так, в Центральной Европе преобладает в основном автономное теплоснабжение, например, во Франции, Великобритании, Западной Германии, Нидерландах, Швейцарии, Швеции, Финляндии и Норвегии более 80% жилого фонда имеет индивидуальное отопление, а в Италии - более 70% [84]. В странах с более холодным климатом на Северной Европы преобладает централизованное отопление (рис. 1.32), например, в крупных городах, таких как Хельсинки и Копенгаген, доля центрального отопления приближается к 90% [84].

В России в период 2000–2008 г. происходили процессы децентрализации теплоснабжения: общая протяженность тепловых сетей снизилась на 4%; доля сетей диаметров менее 200 мм возросла с 77 до 74%; вырос удельный вес количества котельных мощностью менее 3 Гкал/ч с 70 до 73% за счет уменьшения числа котельных средней мощности; доля тепловой энергии, производимой на индивидуальных установках, увеличилась с 18 до 20% [69].

Объективные предпосылки децентрализации отопления следующие [85]:

– уплотнение застройки городских районов;

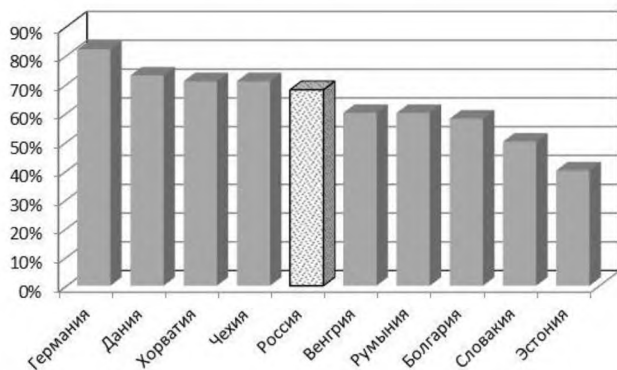


Рис. 1.32. Доля централизованного теплоснабжения в ряде стран Центральной и Восточной Европы [86, 87]

- начало застройки на местностях с неразвитой инженерной инфраструктурой, развитие индивидуального жилищного строительства;
- более низкие капиталовложения и возможность поэтапного покрытия тепловых нагрузок;
- привлекательность индивидуального отопления для потребителей, которые могут сами устанавливать комфортные условия в помещениях;
- появление большого ассортимента качественного отопительного оборудования.

Кроме индивидуального теплоснабжения от блочной или крышной котельной, в России в многоквартирных жилых домах также развивается поквартирное автономное отопление, когда каждая квартира оснащается газовым отопительным котлом, системами подачи воздуха и отвода продуктов сгорания [85].

В работе [85] проведён анализ эффективности систем децентрализованного теплоснабжения, из которого видно, что эксплуатационные расходы в них меньше, чем при централизованном теплоснабжении:

- годовой расход топлива снижается в среднем на 40–50% за счет более высокой эффективности современных котлов, отсутствия потерь в тепловых сетях, эффективному регулированию отопительной нагрузки;
- затраты на обслуживание снижаются в 2,5–3 раза;
- затраты на электрическую энергию снижаются в 3 раза за счет отсутствия мощных сетевых насосов.

Стоимость тепловой энергии при индивидуальном отоплении в ценах 2015 г. в 2,5 раза ниже, чем при централизованном (см. табл. 3.26, 4.29). Это, кроме дополнительных затрат на транспортировку теплоты, объясняется затратным механизмом тарифообразования, принятым в России. Стоимость теплоты в централизованных системах определяется себестоимостью её выработки [88], что позволяет энергокомпаниям получать большую прибыль при увеличении издержек, а не при повышении эффективности работы [74]. Таким образом, неэффективность работы теплоснабжающих организаций, разрегулированность систем транспортировки и потребления, потери в тепловых сетях покрываются за счет высоких тарифов.

Между тем у систем централизованного теплоснабжения есть ряд определяющих преимуществ.

1. На ТЭЦ осуществляется комбинированная выработка тепловой и электрической энергии, где теплота генерируется при утилизации отходов из турбин газов, поэтому замена теплоты, получаемой от ТЭЦ, на индивидуальную выработку, не приведёт к снижению потребления топлива на ТЭЦ. Это приведёт к увеличению себестоимости

электроэнергии, увеличению общего потребления топлива и уровня загрязнения воздушного бассейна [89].

2. Крупная ТЭЦ характеризуется меньшими суммарными выбросами, чем аналогичные по теплопроизводительности источники индивидуального энергоснабжения [84]. Кроме того высота труб у небольших котельных значительно ниже, чем у крупных, что резко ухудшает условия рассеивания [85]. Кроме того источники индивидуального энергоснабжения, в отличие от централизованных котельных и ТЭЦ, располагаются в жилой зоне.

3. Децентрализация отопления требует модернизации газораспределительной сети, так как объёмы газа, необходимого на отопление, в десятки раз превышают объем, затрачиваемый на бытовые нужды.

4. Удельные капитальные затраты на единицу вырабатываемой теплоты для крупных котельных значительно ниже, чем для небольших (рис. 1.33).

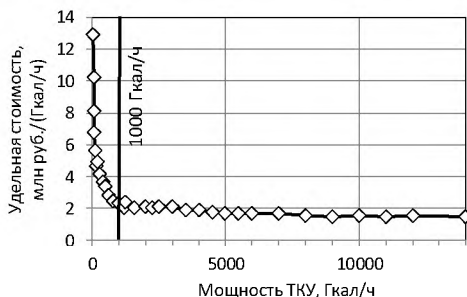


Рис. 1.33. Удельная стоимость блочных котельных установок (по данным ЗАО «Белогорье»)

В ряде работ [28, 68, 72] на примере центральных районов Москвы показано, что в условиях плотной застройки централизованное отопление с условием обеспечения эффективного регулирования систем экономически более выгодно, чем его децентрализация.

Технико-экономический анализ систем теплоснабжения

В работе [71] отмечается, что классические схемы сравнения вариантов энергоснабжения от ТЭЦ или теплоснабжения от котельных и электроснабжения от конденсационных электростанций, не отвечают реальным условиям даже на уровне раннего (схематического) проектирования [71]. Эффективность применения системы теплоснабжения могут быть оценены только на основании комплексного анализа с учётом всех составляющих компонентов, от источников тепла до конечных по-

требителей, и возможных альтернативных вариантов теплоснабжения [71, 90, 91].

Особенности распределенных систем, к которым относятся и системы теплоснабжения, заключаются в том, что частные эффективные решения не всегда приводит к повышению эффективности всей системы [68]. Так, замена части централизованной сети на индивидуальное теплоснабжение приводит к снижению производительности централизованной системы, то есть к увеличению стоимости и снижению качества теплоснабжения потребителей, оставшихся подключёнными к общим сетям. Это особенно важно для небольших населённых пунктов, в которых возможные решения в ряде случаев будут очень сильно отличаться в силу индивидуальных особенностей поселений [72].

Например, модернизация малых котельных приводит к сокращению эксплуатационные расходы не менее чем на 20% [92], поэтому например возможна замена оборудования с минимальными первоначальными затратами за счет экономии топлива [93]. Также значительный потенциал заключается в модернизации сетевых насосов, в настоящее время удельные затраты электроэнергии на перекачку теплоносителя составляют 32,6 кВт·ч/Гкал вместо достижимых 8 кВт·ч/Гкал) [25]. Таким образом, модернизация оборудования с повышением его эффективности, снижением накладных расходов на обслуживание и ремонт приведёт к сопоставимости стоимости энергии в централизованных и децентрализованных системах.

Поэтому только комплексный подход с учетом выработки, транспортировки и потребления энергии может дать реальный результат [91].

1.6. МЕТОДЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Анализ методов оценки эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия приведён в ряде работ [90, 94–98].

В условиях плановой экономики для сравнительных оценок различных вариантов мероприятий широко применялся метод минимума приведённых затрат:

$$P = K + T \text{Э}, \quad (1.23)$$

где P – приведённые затраты, руб.; K – капитальные вложения, руб.; Э – текущие годовые затраты на эксплуатацию оборудования или зданий, руб.; T – нормативное время эксплуатации оборудования или зданий, лет.

Наиболее оптимальный вариант соответствует минимальному значению величины P . Например, в ряде работ [99–101] при утеплении здания в качестве значения K используется стоимость утепления, величины Э – затраты на отопление здания; величины T – срок службы

утепления. Величины K и Ξ записываются как функции от сопротивления теплопередаче R элементов ограждающих конструкций и путём дифференцирования определяется величина R , советуемая минимуму Π .

Недостатком метода минимума приведённых затрат при использовании оценки энергосберегающих мероприятий является [94]:

- изменение эффекта от мероприятий с течением времени из-за износа оборудования и утраты свойств материалов;
- отсутствие методов точного определения параметра T , который, как правило, принимается на основании общих предположений.

Используемые в настоящее время критерии экономической эффективности при обосновании энергосберегающих проектов рассмотрены в работах [95–98, 102]. Для оценки могут использоваться простые критерии, без учёта фактора времени, и интегральные (дисконтированные) критерии.

Простые критерии применяются для малозатратных или быстрокупаемых мероприятий [95], к ним относятся:

- годовой прирост чистой прибыли (экономия издержек производства), характеризующий значение прибыли, остающейся в распоряжении предприятия (используется только в сфере бизнеса);
- без дисконтный (простой) срок окупаемости, характеризующий срок возврата инвестиций (универсальный критерий, который можно использовать как для бизнеса, так и для бюджетных организаций и населения).

Интегральные коэффициенты, рассчитываемые с применением дисконтирования, используются для высокозатратных или долгокупаемых мероприятий. Дисконтирование (приведение) – это учёт изменения стоимости путём приведения затрат и результатов к одному периоду [95]. В качестве интегральных показателей в сфере бизнеса (для организаций и предприятий, получающих доход) используются:

- чистый дисконтированный доход (NPV, рис. 1.34);
- рентабельность инвестиций;
- внутреннюю норму доходности (IRR);
- дисконтированный срок окупаемости инвестиций (DPP).

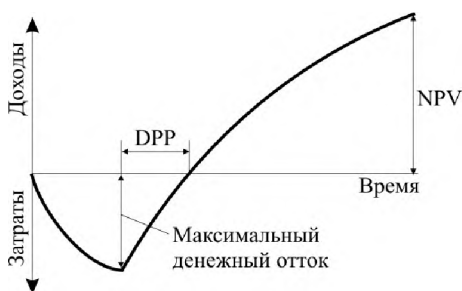


Рис. 1.34. Чистый дисконтированный доход

Для проектов в бюджетной и жилищной сфере одним из наиболее наглядных экономических критериев является срок окупаемости проекта.

В работе [98] приведены следующие способы расчёта срока окупаемости энергосберегающих мероприятий за счёт доходов от экономии энергоресурсов:

1) без дисконтный срок окупаемости инвестиций T_0 , лет:

$$T_0 = \Delta K / \Delta \Delta; \quad (1.24)$$

2) с учётом дисконтирования поступающих доходов T_d , лет:

$$T_d = - \ln[1 - rT_0] / \ln(1 + r); \quad (1.25)$$

3) с учётом наращивания (капитализации) поступающих доходов T_{np} :

$$T_{np} = \ln[1 + rT_0] / \ln(1 + r), \quad (1.26)$$

где ΔK – инвестиции в энергосберегающие мероприятия, руб.; $\Delta \Delta$ – дополнительный ежегодный доход за счёт экономии энергоресурсов, руб./год; r – расчётная норма дисконта, принимается, как правило, равной величине ставке рефинансирования Центрального банка, уровню инфляции или процентной ставке за кредитные средства.

В работе [90] отмечается, что оценка эффективности на основании дисконтированного срока окупаемости с большой вероятностью приводит к неоправданным капитальным вложениям из-за высокой нормы дисконта доходов в России. В работе предлагается производить оценку на основании дисконтированной доходности на протяжении всего срока работы оборудования (материалов).

Как правило, срок эксплуатации новых зданий составляет от 50 лет, а энергетического и инженерного оборудования – от 15 лет [98]. В этих случаях объективность использования интегральных показателей зависит от правильного определения нормы дисконта r в этот период времени [98]. Кроме того на величину эффекта, связанного со снижением потребления энергоносителей, влияет их стоимость [96]. Таким образом, существенным недостатком метода дисконтирования денежных потоков является сложность прогнозирования денежного потока от инвестиций, а также проблема выбора ставки дисконта [103, 104]. В случае расчета экономии от энергосбережения метод дисконтирования также обладает большим недостатком, так как он не учитывает увеличение экономии из-за роста стоимости энергоресурсов.

На рис. 1.35 приведена динамика роста стоимости энергоносителей, заработной платы и инфляция (показателей, формирующих денежные потоки от инвестиций в энергосберегающие мероприятия) за последние 10 лет. График демонстрирует нелинейность изменения показателей и диспропорции в изменении отдельных из них. Таким образом, применение для всех показателей одной расчётной нормы дисконта приведёт к неправильной оценке денежных потоков и, следовательно, к ошибкам в

оценке эффективности инвестиций в течение длительного расчётного периода.

В ряде работ предлагаются методы оценки инвестиций, предназначенные для энергосберегающих проектов. В работе [47] предложена оптимизационная модель, включающая ряд экономических и экологических требований.

В работе [94] предложен критерий окупаемости единовременных затрат на утепление зданий

$$-\Delta K/\Delta k < 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot C_T/p = \omega, \quad (1.27)$$

где ΔK – величина кредита в банке, отнесённая к единице площади здания, руб./м²; $\Delta k = k_1 - k_0$, – разность между коэффициентами теплопередачи ограждения базового k_1 и расчётного варианта k_0 , Вт/(м²К); ГСОП – градусосутки отопительного периода, °С·сут; C_T – стоимость тепловой энергии; p – фиксированная годовая ставка за кредит.

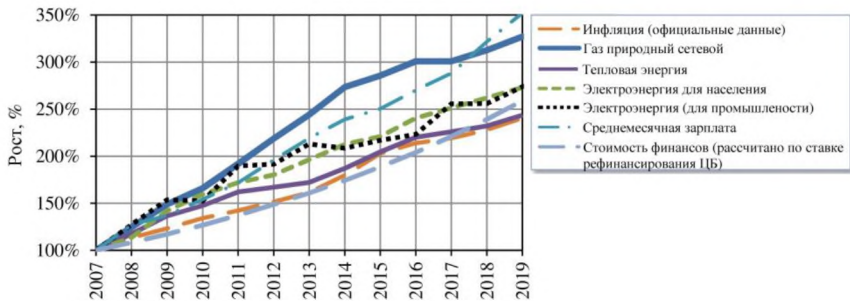


Рис. 1.35. Динамика увеличения стоимости энергоносителей и экономических показателей (по данным Росстата www.gks.ru)

Левая часть неравенства определяется теплозащитными свойствами и стоимостью конструкции и показывает затраты на снижение её коэффициента теплопередачи. Правая часть, ω , определяется климатическими и экономическими характеристиками и устанавливает предельное значение для окупаемости затрат. Недостатком метода является отсутствие дисконтирования цен [94].

Можно сделать вывод, что методы оценки эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия, особенно для средне- и долгосрочных, нуждаются в корректировке [90].

1.7. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ РЕГУЛИРУЕМЫЕ ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Технико-экономическая оценка проектов по модернизации средних и крупных муниципальных теплоснабжающих предприятий (с мощностью более 10 Гкал/ч) затруднена тем, что в соответствии с постановлением Правительства РФ от 22.10.2012 N 1075 «О ценообразовании в сфере теплоснабжения» для определения регулируемых тарифов могут применяться два метода:

- метод экономически обоснованных расходов (затрат);
- метод индексации установленных тарифов.

В первом методе расчётный период регулирования составляет не более одного года, во втором – три-пять лет. Оба метода основаны на использовании необходимой валовой выручки, определённой для соответствующего регулируемого вида деятельности, и расчётного объёма полезного отпуска соответствующего вида продукции (услуг) на расчётный период регулирования. Инвестиции в валовой выручке могут учитываться двумя способами:

- как расходы на капитальные вложения (инвестиции) в расчётный период регулирования, определяется на основе утверждённых инвестиционных программ;

- как средства на обслуживание заёмного капитала (денежные средства, сформированные за счёт получения кредитов, займов, выпуска и продажи облигаций и израсходованные на создание, реконструкцию и модернизацию производственных объектов.

Расходы, связанные с обслуживанием заёмных средств, не могут превышать величину, равную ставке рефинансирования Центрального банка Российской Федерации, увеличенной на 4 процентных пункта.

Таким образом, инвестиции в модернизацию производственных объектов приведут к увеличению необходимой валовой выручки и, следовательно, к увеличению тарифов на тепловую энергию. Но при этом модернизация приводит к экономии затрат и снижению тарифов. Расходы на капитальные вложения включаются в тариф до проведения мероприятий. Поэтому тариф в этом случае на период получения необходимых для инвестиций средств будет увеличен, причём на значительную величину. При привлечении заёмного капитала средства на его обслуживание будут компенсироваться получаемой экономией. Это хотя и потребует увеличения валовой выручки на величину кредитных процентов, но приведёт к сохранению и может быть даже уменьшению тарифа на период возврата заёмного капитала.

2. АНАЛИЗ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. АНАЛИЗ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ

В разделе приводятся данные инструментальных измерений сопротивления теплопередаче эксплуатируемых зданий различного типа.

2.1.1. Здание учебного заведения (БелГАУ им. В.Я. Горина)

Здание инженерного корпуса Аграрного университета

Здание находится на улице Вавилова 10, п. Майский Белгородского района. Здание введено в эксплуатацию в 1964 году.

Характеристики здания:

Площадь, м²1193;

Этажность3;

Высота, м.10;

Отапливаемый объем, м³11815.

Характеристики ограждающих конструкций приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Расчётное значение сопротивления теплопередаче основной стены

Наименование слоя	Толщина, м	λ , Вт/м·°С	R, м·°С/Вт
Теплоотдача для внутренних стен	–	–	0,11
Силикатный кирпич на цементно-песчаном растворе	0,600	0,760	0,79
Раствор цементно-песчаный	0,020	0,760	0,03
Теплоотдача от наружных стен	–	–	0,04
Всего	0,620	–	0,97

Измерения сопротивления теплопередаче стены проводились при помощи прибора ИТП-МГ4.03/10 «Поток», в течение 3 суток. На внутренней поверхности стены был установлен один датчик потока совместно с датчиком температуры, снаружи датчик температуры на кирпичную кладку. Также были установлены датчики температуры внутреннего и наружного воздуха.

На графике (рис. 2.1) изображено изменение плотности теплового потока и температур внутренней и наружной поверхности ограждающей стены. Интервал всех замеров составлял 20 минут. Измерения и расчёты сопротивления теплопередаче R выполнялись в соответствии с ГОСТ Р 56623-2015.

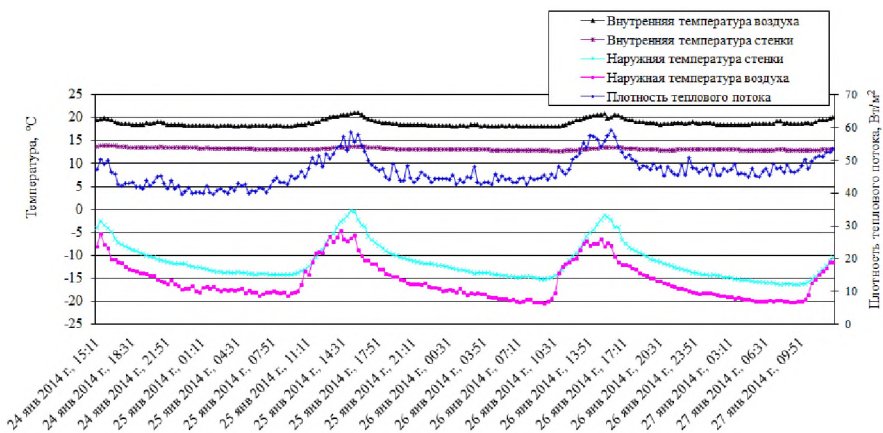


Рис. 2.1. Изменение температур поверхностей измеряемого участка стенки и плотности теплового потока с температурами внутреннего и наружного воздуха

Результат среднего значения измеряемой характеристики температурного поля ограждающих конструкций приведён в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результат замеров температурного поля ограждающих конструкций

Температура, °C				Плотность теплового потока, Вт/м ²
наружного воздуха	снаружи на поверхности	внутреннего воздуха	внутри на поверхности	
-14,6	-10,7	18,8	13,2	45,7

Обработка данных проводилась с использованием специализированного программного обеспечения.

В табл. 2.3 представлены общее сравнение сопротивления теплопередаче наружной стены учебного здания.

Таблица 2.3

Сравнение сопротивления теплопередаче наружной стены здания

Приведённое фактическое значение сопротивления теплопередаче, (м ² ·°C)/Вт	Расчётное значение сопротивления теплопередаче, (м ² ·°C)/Вт	Нормативное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций по СП 23-101-2004, (м ² ·°C)/Вт
0,69	0,97	2,45

Таким образом, измеренное фактическое сопротивление теплопередаче стены на 29% ниже расчётного.

Общежитие № 7 Аграрного университета

Здание расположено по адресу Белгородский р-н, п. Майский, ул. Студенческая 12Б, 1964 года постройки.

Характеристики здания:

Площадь, м²12043;

Этажность8;

Высота, м.32;

Отапливаемый объем, м³30107,5.

Характеристики ограждающих конструкций приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Расчётное значение сопротивления теплопередаче основной стенки здания

Наименование слоя	Толщина, м	λ , Вт/м·°С	R, м ² ·°С /Вт
Теплоотдача для внутренних стен	–	–	0,11
Силикатный кирпич на цементно-песчаном растворе	0,600	0,760	0,79
Раствор цементно-песчаный	0,020	0,760	0,03
Теплоотдача от наружных стен	–	–	0,04
Всего	0,620	–	0,97

Измерения проводились при помощи прибора ИТП-МГ4.03/10 «Поток», в течение 3 суток. На графике (рис. 2.2) изображено изменение плотности теплового потока и температур внутренней и наружной ограждающей стенки. Интервал всех замеров 20 минут.

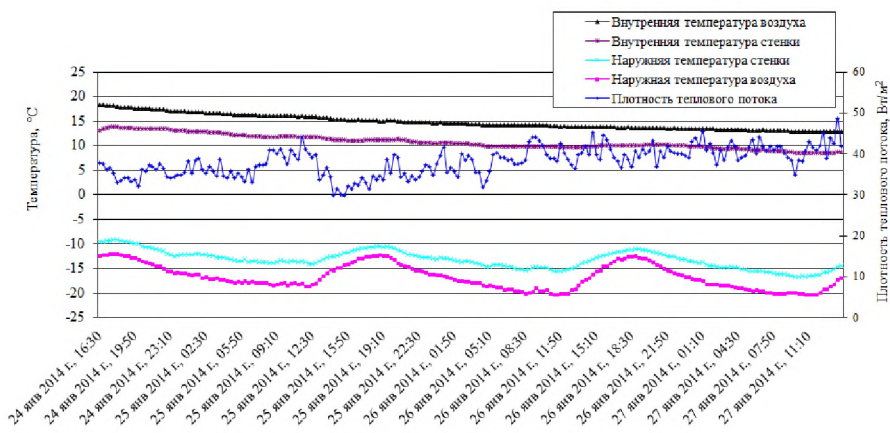


Рис. 2.2. Изменение температур поверхностей измеряемого участка стенки и плотности теплового потока с температурами внутреннего и наружного воздуха

На внутренней поверхности стены был установлен один датчик потока совместно с датчиком температуры, снаружи датчик температуры на кирпичную кладку. Также были установлены датчики температуры внутреннего и наружного воздуха.

Результат среднего значения измеряемой характеристики температурного поля ограждающих конструкций и температур приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Результат замеров температурного поля ограждающих конструкций

Температура, °С				Плотность теплового потока, Вт/м ²
наружного воздуха	снаружи на поверхности	внутреннего воздуха	внутри на поверхности	
-16,9	-13,5	14	10	39,3

Обработка данных проводилась с использованием специализированного программного обеспечения. В табл. 2.6 представлены общее сравнение сопротивления теплопередаче наружной стены административного здания.

Таблица 2.6

Сравнение сопротивления теплопередаче наружной стены здания

Приведённое фактическое значение сопротивления теплопередаче, (м ² ·°С)/Вт	Расчётное значение сопротивления теплопередаче, (м ² ·°С)/Вт	Нормативное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций по СП 23-101-2004, (м ² ·°С)/Вт
0,77	0,97	2,86

Таким образом, измеренное фактическое сопротивление теплопередаче стены на 21% ниже расчётного.

Выводы. Оба замера теплозащитных характеристики стен были проведены одновременно. Здание общежития и инженерного корпуса построены в один год и одинаковым исполнением несущих стен. В здании общежития установлен ИТП и на выходные дни автоматически понижает температуру в помещениях до 12...13 °С. А в здании инженерного корпуса температура в период замеров не снижалась. В результате измерения фактического сопротивления теплопередаче в обоих зданиях были получены сопоставимые значения, которые на 21-29% ниже расчётного.

2.1.2. Современные энергоэффективные здания

Торгово-офисный центр с подземным паркингом

Описание здания приведено в разд. 3.5.3. Измерения проводились прибором ИТП-МГ4.03/10 «Поток» в течение пяти суток с 28 февраля по 3 марта 2013 г. с интервалом в 10 мин. Измерения и расчёты сопротивления теплопередаче R выполнялись в соответствии с ГОСТ 26254-95 (в наст. время ГОСТ Р 56623-2015).

Точка А. Покрытие подземного паркинга

На внутренней поверхности покрытия были установлены два датчика потока совместно с двумя датчиками температур – один на оцинкованном профлисте (во внутренней части волны), второй – на ребре металлической балки (рис. 2.3). Также был установлен датчик температуры внутреннего воздуха. Датчик температуры с наружной стороны покрытия установить не удалось, поэтому в расчётах использовалась температура наружного воздуха, которая принималась по данным прибора, установленного в точке Б.

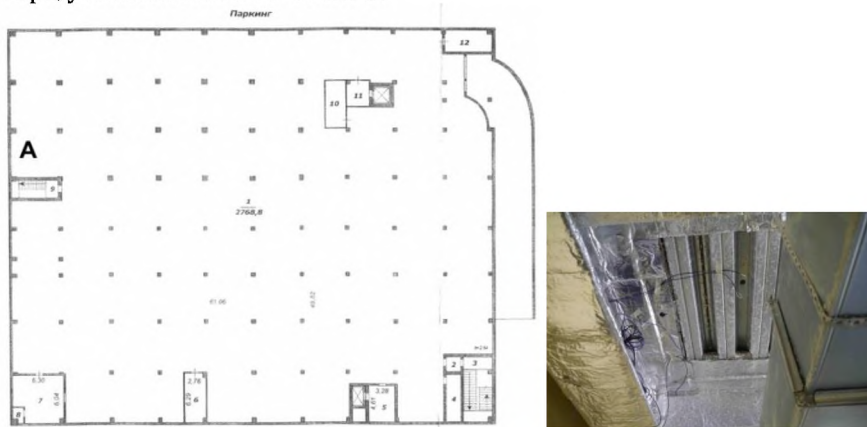


Рис. 2.3. Место замеров сопротивления теплопередаче перекрытия подземного паркинга

На рис. 2.4 приведены изменения показаний датчиков и расчётное сопротивление теплопередаче стены в каждый момент замеров.

Для расчёта сопротивления теплопередаче были выбраны два стационарных периода, обозначенных на графике (рис. 2.4). Результаты расчёта приведены в табл. 2.7. Показания датчика 1 в расчёте среднего значения не использовались, так заниженная величина теплового потока, измеренная датчиком, вызвана, скорее всего, наличием воздушного зазора под гофрированным листом. Сравнение характеристики сопротивления теплопередачи приведено в табл. 2.8.

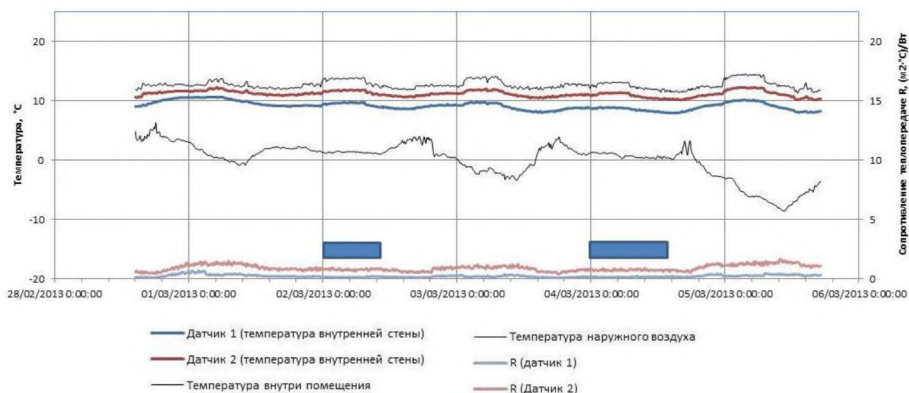


Рис. 2.4. Изменение показаний датчиков и расчётное сопротивление теплопередаче перекрытия подземного паркинга

Таблица 2.7

Результаты замеров сопротивления теплопередаче покрытия паркинга, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт

Наименование	Сопротивление теплопередаче $R_k + R_n$	Сопротивление теплопередаче R_0
Датчик 1 (первый стационарный период)	0,161*	–
Датчик 1 (второй стационарный период)	0,151*	–
Датчик 2 (первый стационарный период)	0,786	0,911
Датчик 2 (второй стационарный период)	0,738	0,836
Среднее значение	0,76	0,89

* Результаты при расчёте не учитывались.

Таблица 2.8

Сравнение сопротивления теплопередаче покрытия паркинга, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт

По данным замеров	Первоначальный проект	Значение в соответствии с фактической конструкцией	Нормативное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций по СНиП 23-02-2003
0,89	1,802	1,092...1,58	3,78*; 3,31**

* Покрытия и перекрытий над проездами;

** Перекрытий чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами

Таким образом, как проектное, так и фактическое сопротивление теплопередаче покрытия над паркингом не соответствует нормативам.

Точка Б. Сэндвич-панель

На внутренней поверхности покрытия были установлены два датчика потока совместно с двумя датчиками температур, для каждого датчика потока также была установлен температурный датчик на наружной поверхности стены (рис. 2.5). Установлены датчики температуры наружного и внутреннего воздуха. Изменение показаний датчиков и расчётное сопротивление теплопередаче стены в каждый момент замеров приведено на рис. 2.6.



Рис. 2.5. Место замера сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции торговой площади на втором этаже

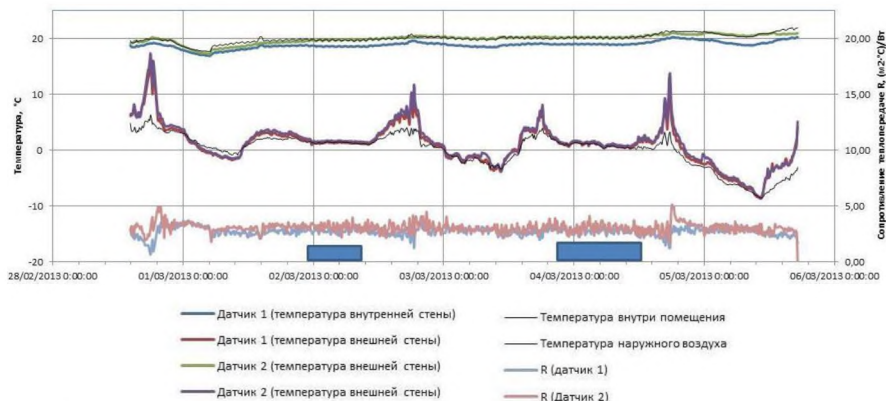


Рис. 2.6. Изменение показаний датчиков и расчётное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции

Для расчёта сопротивления теплопередаче были выбраны два стационарных периода, обозначенных на графике. Результаты расчёта приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Результаты замеров сопротивления теплопередаче сэндвич-панели, (м²·°C)/Вт

Наименование	Сопротивление теплопередаче $R_k + R_n$	Сопротивление теплопередаче R_0
Датчик 1 (первый стационарный период)	2,774	2,9420
Датчик 1 (второй стационарный период)	2,777	2,9460
Датчик 2 (первый стационарный период)	3,120	3,2887
Датчик 2 (второй стационарный период)	3,026	3,1946
Среднее значение	2,92	3,09

Сравнение характеристики сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции приведено в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Сравнение сопротивления теплопередаче сэндвич-панели, (м²·°C)/Вт

По данным замеров	Проектное значение	Нормативное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций по СНиП 23-02-2003
3,09	3,08	2,86

Таким образом, фактическое сопротивление теплопередаче соответствует проектному и нормативному.

Точка В. Кирпичная стена с вентилируемым фасадом

На внутренней поверхности стены были установлены два датчика потока совместно с двумя датчиками температур (рис. 2.7). Также был установлен датчик температуры внутреннего воздуха. Датчик температуры с наружной стороны стены установить не удалось, поэтому в расчётах использовалась температура наружного воздуха, которая принималась по данным прибора, установленного в точке Б.

Изменение показаний датчиков и расчётное сопротивление теплопередаче стены в каждый момент замеров приведены рис. 2.8.

Для расчёта сопротивления теплопередаче были выбраны два стационарных периода, обозначенных на графике. Результаты расчёта приведены в табл. 2.11.

Сравнение характеристики сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции приведено в табл. 2.12.



Рис. 2.7. Место замеров сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции на первом этаже торгово-офисного здания

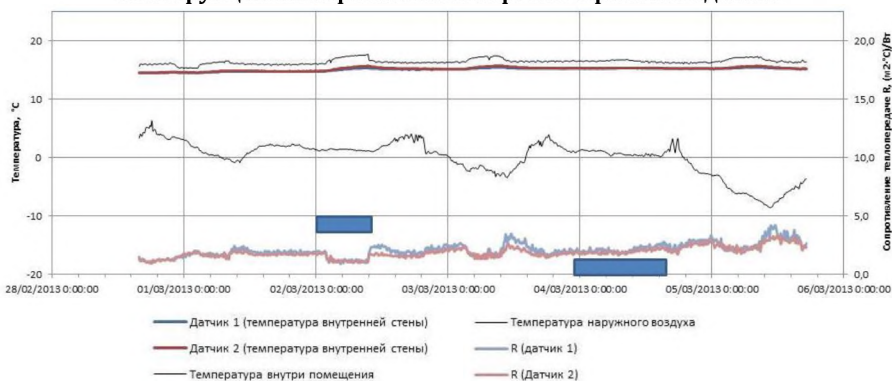


Рис. 2.8. Изменение показаний датчиков и расчётное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции на первом этаже в точке замера «В»

Таблица 2.11

Результаты замеров сопротивления теплопередаче стены с вентилируемым фасадом, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт

Наименование	Сопротивление теплопередаче R_k	Сопротивление теплопередаче R_0
Датчик 1 (первый стационарный период)	1,875	2,0431
Датчик 1 (второй стационарный период)	2,056	2,2247
Датчик 2 (первый стационарный период)	1,698	1,8662
Датчик 2 (второй стационарный период)	1,890	2,0587
Среднее значение	1,88	2,05

Таблица 2.12

**Сравнение сопротивления теплопередаче кирпичной стены
(вентилируемый фасад), (м²·°С)/Вт**

По данным замеров	Первоначальный проект	Значение в соответствии с фактической конструкцией	Нормативное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций по СНиП 23-02-2003
2,05	3,08	2,87	2,86

Таким образом, фактическое сопротивление теплопередаче ниже проектного на 28%.

Энергоэффективное административное здание

Описание здание приведено в разд. 3.5.2. Измерения проводились при помощи прибора ИТП-МГ4.03/10 «Поток», в течение 3-х суток. Интервал замеров составлял 10 минут. На рис. 2.9 приведены усреднённые данные по трём датчикам температуры наружной поверхности стены, трём датчикам температуры внутренней поверхности стены и трём датчикам плотности теплового потока, используемые при определении сопротивления теплопередаче в установившемся режиме.

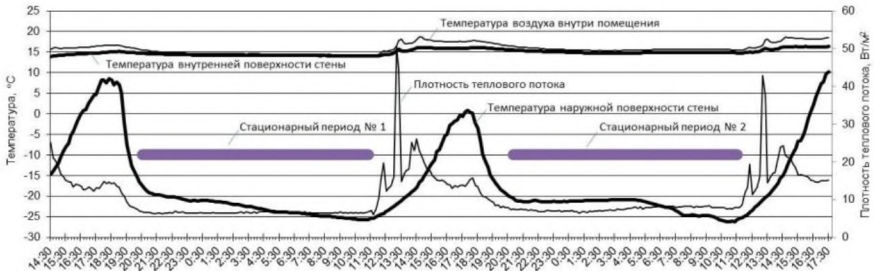


Рис. 2.9. Данные измерения в трёх реперных зонах

Результат среднего значения измеряемой характеристики температурного поля ограждающих конструкций приведён в табл. 2.13.

Таблица 2.13

Результат замеров температурного поля ограждающих конструкций

Номер реперной зоны	Температура, °С				Плотность теплового потока, Вт/м ²
	наружного воздуха	снаружи на поверхности	внутреннего воздуха	внутри на поверхности	
1	-22	-19,7	15,7	15	9,7
2		-19,3		14,9	10,1
3		-19,3		14,7	10,1

Расчёт сопротивления теплопередаче R_0 для характерных реперных и дефектных зон выполнялся в соответствии с ГОСТ 26254-84 (ГОСТ Р 56623-2015), полученные значения сопротивления приведены в табл. 2.14.

Таблица 2.14

Сопротивление теплопередачи для реперных зон

Зона	Тип ограждающей конструкции	Сопротивление теплопередаче, (м ² ·°C)/Вт
Реперная зона 1	Стена (1,7м от пола)	3,89
Реперная зона 2	Стена (1,3м от пола)	3,73
Реперная зона 3	Стена (0,5м от пола)	3,73

В табл. 2.15 представлены сравнение фактического и проектного сопротивления теплопередаче наружной стены административного здания.

Таблица 2.15

Сравнение сопротивления теплопередаче наружной стены здания

Наружные ограждающие конструкции здания.	Приведённое фактическое значение сопротивления теплопередаче, (м ² ·°C)/Вт	Расчётное значение сопротивления теплопередаче, (м ² ·°C)/Вт	Нормативное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций по СП 23-101-2004, (м ² ·°C)/Вт
Стена	3,78	6,987	2,45

Можно сделать вывод, что измерения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции их газобетонных блоков не соответствует проектным значениям. Причину расхождения установить не удалось, это могло быть как нарушение технологии изготовления блоков и строительства, так и их увлажнение.

2.1.3. Оценка соответствия расчётных и фактических значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Кроме приведённых данных в разд. 2.1.1 и 2.1.2 были также обследованы ряд жилых и общественных зданий старой постройки и современный энергоэффективный трёхэтажный жилой дом. В табл. 2.16 приведены результаты замеров с описанием конструкции зданий.

Как видно из табл. 2.16, фактические значения сопротивления теплопередаче сплошных ограждающих конструкций соответствует расчётному и отклонения, вызванные в основном износом здания и качеством строительных работ, составляют в большинстве случаев не более 0,1-0,2 м²·K/Вт.

Таблица 2.16

Сравнение сопротивления теплопередаче, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$)

Описание здания, расположение	Год постройки	Кол-во этажей	Описание и толщина ограждающих конструкций	Толщина, мм	Сопротивление теплопередаче, ($\text{м}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$)			
					по данным замеров (фактическое)	расчётное (проектное)	нормативное	Отклонение фактического и расчётного значений
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Современные ограждающие конструкции с утеплителем								
Жилой дом, г. Белгород	2010	3	Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем	670	4,87	6,44	2,86	-1,57
Торгово-офисный центр, г. Белгород	2012	2	Покрытие подземного паркинга, на верхней стороне которого расположена открытая площадка (тротуарная плитка; цементно-песчаная смесь; керамзитобетон 100 мм; керамзит - 100...300 мм; бетонная стяжка - 200 мм; железобетонная монолитная плита)	700	0,89	1,1 ¹ (1,802 ²)	3,78 ³ ; 3,31 ⁴	-0,21
			Сэндвич-панель из минераловатного утеплителя	120	3,09	3,08	2,86	0,01
			Силикатный кирпич 500 мм, минераловатный утеплитель 100 мм, вентилируемый фасад	600	2,05	2,871 ⁵ (3,082 ⁶)	2,86	-0,82
Административное здание, г. Белгород	2012	2	Керамические крупноформатные поризованные блоки и минераловатный утеплитель	760	3,78	6,987	2,45	-3,21
Керамзитобетон								
Административные здания, г. Москва	1980	12	Каркасно-монолитная конструкция	360	1,59	1,43	2,56	0,16
	1985	4	Керамзитобетон	500	2,0	1,9	2,56	0,10
Кирпичная кладка								
Административное здание, г. Москва	1902	9/11	Кирпичная кладка из красного кирпича	500	1,1	1,36	2,56	-0,26

Окончание табл. 2.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Административное здание, г. Москва	1917	6	Кирпичная кладка из красного кирпича	70080 0	1,32	1,26	2,56	0,06
Административное здание, г. Москва	1953	3	Кирпичная кладка из красного кирпича	600	0,93	0,9	2,56	0,03
Здание учебного заведения, п. Майский Белгородской области	1964	4	Кладка из силикатного кирпича	600	0,69	0,97	2,45	-0,28
Общежитие, п. Майский Белгородской области	1964	9	Кладка из силикатного кирпича	600	0,77	0,97	2,86	-0,20
Жилые дома, г. Старый Оскол	1966	5	Кладка из силикатного кирпича	510	0,99	0,83	2,86	0,16
	1969	5	Кладка из силикатного кирпича	510	1,02	0,85	2,86	0,17
	1972	5	Кладка из силикатного кирпича	510	0,88	0,83	2,86	0,05
Стеновые панели								
Жилые дома, г. Старый Оскол	1973	5	Однослойные панельные плиты	400	0,82	0,93	2,86	-0,11
	1973	5	Однослойные панельные плиты	400	0,89	0,93	2,86	-0,04
	1973	5	Однослойные панельные плиты	400	1,05	0,93	2,86	0,12
	1974	5	Трёхслойные панельные плиты (с внутренним утеплителем)	300	1,49	1,50	2,86	-0,01
	1977	5	Однослойные панельные плиты	400	0,85	0,93	2,86	-0,08

Примечания:

- 1 – с утеплением керамзитовой засыпкой, применённым в ходе строительства;
- 2 – с утеплением материалом IZOVOL 50 мм, предусмотренном в проекте;
- 3 – для покрытий и перекрытий над проездами;
- 4 – для перекрытий чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами;
- 5 – для обычного силикатного кирпича, используемого при строительстве;
- 6 – для пустотелого силикатного кирпича, предусмотренного в проекте.

Но для многослойных конструкций с минераловатным утеплителем, монтируемым в процессе строительства, фактическое сопротивление теплопередаче значительно ниже расчётного, отклонения составляют 0,36...2,91 м²·К/Вт.

2.2. АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ ИХ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

2.2.1. Измерение теплотехнических свойств на опытных стендах*

Испытания на опытных стендах проводились в аккредитованной испытательной лаборатории ООО «Интеллект-Сервис-ЖБК-1» [105] с 32 видами строительных материалов и разными вариантами слоёв ограждающих конструкций. Были использованы методы тепловой диагностики, описанные в работах [106–113]. Опытные макеты (рис. 2.10) представляли собой стены, выложенные из исследуемых материалов, теплоизолированные снизу и сверху.

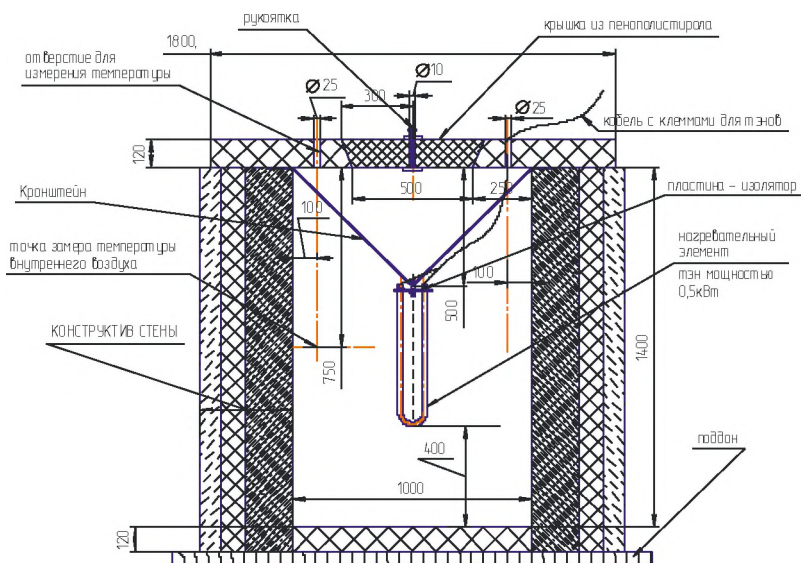


Рис. 2.10. Макет климатической камеры

Для поддержания внутри стенда постоянной температуры использовался электронагреватель. Сопротивление теплопередаче измерялось в трёх точках с использованием прибора ИТП-МГ4.03 «ПОТОК».

Для каждого вида материала проводилось один или несколько опытов. Полученные результаты испытаний представлены в табл. 2.17.

* Для анализа использовались данные, полученные ООО «Интеллект-Сервис-ЖБК-1»

Таблица 2.17

Результаты испытаний в климатической камере

№	Описание и толщина исследуемых конструкций	Сопротивление теплопередаче, (м ² ·К)/Вт		Отношение фактического значения к расчётному, %	Количество опытов
		по данным замеров (фактическое)	расчётное		
1	2	3	4	5	6
Однослойная конструкция (кладка из кирпичей или блоков)					
1	Силикатный кирпич, 510 мм	0,35	0,729	48%	1
2	Силикатный кирпич, 520 мм	0,37	0,743	50%	1
3	Керамзитобетонный камень Liapor, 365 мм	2,64	3,8	69%	3
4	Камень керамический пустотный М125, 510 мм	1,1	1,1	100%	1
5	Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 390 мм а) кладочный раствор - цементно-песчаный раствор М75, тычковый ряд б) кладочный раствор - цементно-песчаный раствор М75, ложковый ряд	0,473	1	47%	3
		0,73	1	73%	2
6	Керамзитобетонный камень СКЦ-7Р-75, 365 мм а) кладочный раствор - цементно-песчаный раствор М75 б) кладочный раствор - тёплый раствор КНАУФ-ЛМ 21	0,59	1,8	33%	1
		1,81	1,8	101%	1
7	Керамзитобетонный камень СКЦ-7Р-75, 390 мм	0,94	1,95	48%	1
Двухслойная конструкция (кладка из кирпичей или блоков)					
8	I. Газосиликатный блок М500, 300 мм II. Силикатный кирпич, 120 мм	1,985	2,3	86%	2
	I. Газосиликатный блок М500, 300 мм II. Воздушная прослойка, 17,5 мм III. Силикатный кирпич, 120 мм				
Двухслойная конструкция (кладка из кирпичей или блоков с тёплой штукатуркой)					
9	I. Силикатный кирпич, 520 мм II. Теплоизолирующая шпаклёвка (тёплая штукатурка), 30 мм	0,41	0,92	45%	1
	I. Силикатный кирпич, 520 мм II. Теплоизолирующая шпаклёвка (тёплая штукатурка), 40 мм				
10	I. Силикатный кирпич, 520 мм II. Теплоизолирующая шпаклёвка (тёплая штукатурка), 40 мм	0,63	0,98	64%	1
	I. Силикатный кирпич, 520 мм II. Теплоизолирующая шпаклёвка (тёплая штукатурка), 60 мм				
11	I. Силикатный кирпич, 520 мм II. Теплоизолирующая шпаклёвка (тёплая штукатурка), 60 мм	1,3	1,1	118%	1
	I. Силикатный кирпич, 520 мм II. Теплоизолирующая шпаклёвка (тёплая штукатурка), 60 мм				
12	I. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 390 мм II. Теплоизолирующая шпаклёвка (тёплая штукатурка), 40 мм (кладочный раствор - цементно-песчаный раствор М75, тычковый ряд)	0,54	1,3	42%	1
	I. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 390 мм II. Теплоизолирующая шпаклёвка (тёплая штукатурка), 40 мм (кладочный раствор - цементно-песчаный раствор М75, тычковый ряд)				

Продолжение табл. 2.18

1	2	3	4	5	6
Двухслойная конструкция (кладка из кирпичей или блоков с утеплителем)					
13	I. Силикатный кирпич, 510 мм II. Пенополистирол ПСБС-25, 100 мм	1,6	3,3	48%	1
14	I. Силикатный кирпич, 510 мм II. Пенополистирол ПСБС-25, 100 мм (штукатурка и краска)	0,57	3,3	17%	1
15	I. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 630 мм II. Пенополистирол ПСБС-25, 100 мм	0,7	3,6	19%	2
16	I. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 170 мм II. Пенополистирол ПСБС-25, 120 мм	0,505	3,4	15%	1
17	I. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 240 мм II. Полистиролбетон D200, 280 мм	1,16	4,4	26%	1
Трёхслойная конструкция (кладка из кирпичей или блоков с полимерным утеплителем в межстенном пространстве)					
18	I. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 190 мм II. Пенополистирол ПСБС-25, 100 мм III. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм	2,28	3,3	69%	2
19	I. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 190 мм II. Пенополистирол ПСБС-25, 120 мм III. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм	1,99	3,8	52%	3
20	I. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-50, 190 мм II. Пенополистирол ПСБС-25, 120 мм III. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм а) изоспан на ПСБС б) изоспан под ПСБС	1,84	3,5	53%	1
		2,08	3,5	59%	1
21	I. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 190 мм II. Полистиролбетон D200, 280 мм III. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм	1,48	4,7	31%	1
22	I. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 190 мм II. Экструдированный пенополистирол (31-35 кг/м ³), 100 мм III. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм	1,5	4,7	32%	1
23	I. Пазогребневый камень СКЦт-7Р-75, 190 мм II. Экструдированный пенополистирол (31-35 кг/м ³), 100 мм III. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм	2,185	4,2	52%	2
24	I. Пазогребневый камень СКЦт-7Р-75, 190 мм II. Пенополистирол ПСБС-25, 100 мм III. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм:				

Окончание табл. 2.19

1	2	3	4	5	6
	а) точечное крепление утеплителя	1,715	3,2	54%	2
	б) крепление по периметру и в центре утеплителя ПСБС-25	2,88	3,2	90%	1
25	I. Пазогребневый камень СКЦт-7Р-75, 190 мм II. Пенополистирол ПСБС-25, 120 мм III. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 90 мм	2,1	3,69	57%	3
26	I. Пазогребневый камень СКЦт-7Р-75, 190 мм II. Пенополистирол ПСБС-25, 120 мм III. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм	2,205	3,74	59%	4
27	I. Пазогребневый камень СКЦт-7Р-75, 190 мм II. Пенополистирол ПСБС-25, 100 мм III. Воздушная прослойка, 15 мм IV. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм	2,23	3,4	66%	1
Трёхслойная конструкция (кладка из блоков с минераловатным и целлюлозным утеплителем в межстенном пространстве)					
28	I. Пазогребневый камень СКЦт-7Р-75, 190 мм II. Минераловатный и целлюлозный утеплитель, 100 мм III. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм	2,04	2,7	76%	2
29	I. Пазогребневый камень СКЦт-7Р-75, 190 мм II. Минераловатный и целлюлозный утеплитель, 150 мм III. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм	1,57	3,7	42%	1
Трёхслойная конструкция (кладка из блоков с пенобетоном в межстенном пространстве)					
30	I. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 190 мм II. Пенобетон, 200 мм III. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм	1,61	2,4	67%	8
31	I. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 190 мм II. Пенобетон, 280 мм III. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм	2,53	3,1	82%	3

После анализа данных были найдены ряд зависимостей для отклонения расчётного и фактического теплового сопротивления от их значений и характеристик ограждающих конструкций, определённых для ограждающих конструкций, сгруппированных по заданным признакам. В табл. 2.20 представлено отношение фактического сопротивления теплопередаче к расчётному, определённому по методике и данным документов [23, 114], для разных видов ограждающих конструкций.

Таблица 2.20

Снижение сопротивления теплопередаче разных видов ограждающих конструкций

Вид ограждающей конструкции	Количество опытов	Отношение фактического значения к расчётному, %
Кирпичная кладка из сплошного кирпича или блоков	13	74%
Кирпичная кладка из пустотных кирпичей или блоков	10	61%
Ограждающая конструкция, содержащая пено- или газобетон	13	65%
Ограждающая конструкция с минераловатным утеплителем	3	65%
Ограждающая конструкция с полимерным утеплителем	26	51%

Как видно из табл. 2.20, наименьшее отклонение фактического сопротивления от расчётного имеют сплошные конструкции, наибольшее – ограждающие конструкции с утеплителем.

На рис. 2.11 представлено отношение фактического сопротивления к расчётному для ограждающих конструкций, сгруппированных по значению расчётного сопротивления теплопередаче и количеству слоёв.

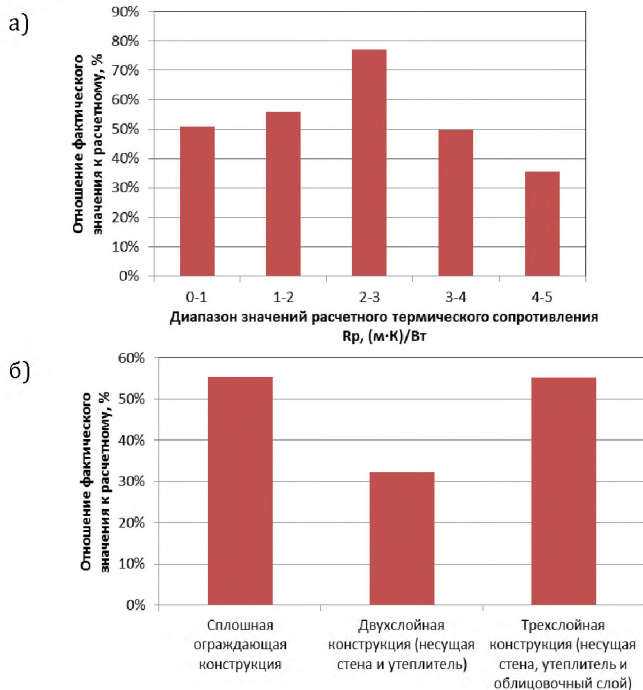


Рис. 2.11. Снижение сопротивления теплопередаче в зависимости от:
а) расчётного сопротивления теплопередаче; б) количества слоёв

Наибольшее относительное отклонение имеет место для конструкций с низким и высоким сопротивлением теплопередаче. Это можно объяснить тем, что для стен с низким сопротивлением теплопередаче большое влияние оказывают дефекты конструкции и влияние теплотехнических неоднородностей (кладки, стыков теплоизоляционных плит и т.п.). Для стен с высоким сопротивлением теплопередаче, большую часть которого составляет сопротивление полимерного утеплителя, снижение фактического сопротивления по сравнению с расчётным можно объяснить несоответствием теплотехнических свойств утеплителя заявленным значениям, а также значительным снижением теплозащитных свойств, обусловленных способом крепления утеплителя к стене. Этой же причиной можно объяснить наименьшее отношение фактического и расчётного сопротивления теплопередаче для двухслойных конструкций.

В табл. 2.21 предоставлено влияние размеров элементов, составляющих ограждающие конструкции, на снижение теплового сопротивления. Как видно из полученных данных, такое влияние не обнаружено.

Таблица 2.21

Отклонение расчётного сопротивления теплопередаче от фактического в зависимости от вида ограждающей конструкции

Вид ограждающей конструкции	Количество опытов	Отношение фактического значения к расчётному, %
Сплошная ограждающая конструкция	46	58%
Крупный элемент (блок)	95	62%
Мелкий элемент (кирпич)	13	71%

Так же в работе был проведён анализ влияния отдельных материалов на величину снижения фактического сопротивления по отношению к расчётному. Для этого были определены величины отклонения для разных видов материалов, составляющих ограждающие конструкции. Все полученные данные были объединены в зависимости от типа материалов, присутствующих в исследуемых образцах (табл. 2.22).

Таблица 2.22

Отклонение расчётного сопротивления теплопередаче от фактического в зависимости от типа материала

Тип материала, присутствующий в ограждающей конструкции	Количество опытов	Отношение фактического значения к расчётному, %
Утеплитель	34	56%
Кирпичная кладка из сплошного кирпича	12	69%
Бетоны на искусственных пористых заполнителях	78	61%
Кирпичная кладка из пустотного кирпича	17	64%
Бетоны ячеистые	13	71%

Как видно из данных, наибольшее отклонение расчётного сопротивления теплопередаче от фактического наблюдается для образцов, содержащих утеплитель.

Таким образом, выбор оптимального конструктивного исполнения ограждающих конструкций позволит достичь максимальной степени энергосбережения. Особенно это важно в индивидуальном строительстве, которое в настоящее время активно развивается в Белгородской области [115], так как в малоэтажных зданиях значительно выше коэффициент компактности, чем в многоэтажных. Следовательно, выше удельный расход на отопление при одинаковом конструктивном исполнении ограждающих конструкций и выше перерасход энергии при наличии дефектов в них.

2.2.2. Влияние размера швов на сопротивление теплопередаче кладки из керамзитовых блоков*

Теплозащитные характеристики ограждающих конструкций определяются в первую очередь их сопротивлением теплопередаче. Однако существует ряд трудностей по определению этого показателя, связанные с высокой стоимостью оборудования, необходимостью наличия определённых погодных условий и др.

Анализ теплопередачи с помощью математического или компьютерного моделирования позволяет оценить энергетическую эффективность изделия (стены, окна, полов, крыши и двери) и локальные температуры образца, позволяющие решить вопросы, связанные с конденсацией, влажностью материала изделия и его герметичностью.

В работе использовалась программа двумерного анализа теплопередачи THERM, основанная на методе конечных элементов, который может моделировать сложные конфигурации строительных конструкций. Графический интерфейс программы позволяет рисовать поперечные сечения конструкций или их компонентов для последующего теплотехнического расчёта. Для создания поперечных сечений имеется возможность трассировки импортированных файлов в DXF или растровом формате, или непосредственное вычерчивание геометрии конструкции по известным размерам. Каждое поперечное сечение представляется комбинацией многоугольников. Пользователь задаёт свойства материалов для каждого многоугольника и условия среды окружающей рассчитываемую конструкцию, определяя тем самым граничные условия, окружающие поперечное сечение. После задания модели, дальнейшие шаги расчёта (создание расчётной сетки и расчёт теплопереда-

* Работа выполнена ст. В.В. Сухорословой под научным руководством автора

чи) выполняются автоматически. Пользователь может просматривать результаты расчёта в различной форме, включая сопротивление теплопередаче, коэффициент теплопередачи, изотермы, векторы теплового потока, и локальные температуры [116, 117].

Исследование сопротивления теплопередаче проведены на примере кладки из керамзитобетонных блоков, соединённых между собой цементно-песчаным раствором с коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,76$ Вт/(м·К) [23]. Граничными условиями моделирования теплопередачи являются температура наружного воздуха в зимнее время (-20°C) и температура внутри помещений (22°C) в соответствии с ГОСТ Р 56623-2015.

В процессе работы был произведён анализ влияния на сопротивление теплопередаче таких параметров, как коэффициент теплопроводности, способ укладки блоков относительно друг друга, толщина цементно-песчаного раствора.

Для исследования сопротивления теплопередаче стен из керамзитобетонных блоков были выбраны три образца различной плотности. Коэффициенты теплопроводности этих выбранных материалов представлены в табл. 2.23.

Таблица 2.23

Коэффициенты теплопроводности керамзитобетона [23]

Плотность ρ_0 , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)
500	0,17
800	0,24
1200	0,44

На рис. 2.12 представлены различные способы укладки керамзитобетонных блоков. Размеры блоков для каждой модели принимались одинаковыми, соответствующими стандартным параметрам 390×190×188. Так как модель является двумерной, определяющими размерами являются ширина (190 мм) и длина (390 мм) образца.

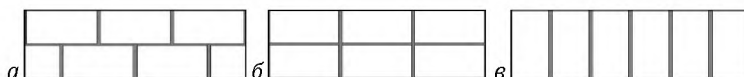


Рис. 2.12. Методы укладки керамзитобетонных блоков:

a – вариант № 1; *б* – вариант № 2; *в* – вариант № 3

Немалую роль в моделировании процесса теплопередачи и определении сопротивления теплопередаче стены играет толщина цементно-песчаного раствора, расположенного между блоками. На рис. 2.13 пред-

ставлены результаты расчёта сопротивления теплопередаче, основанного на интеграции всех параметров.

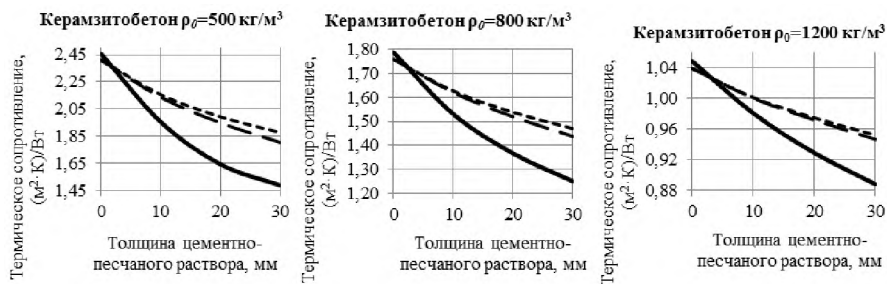


Рис. 2.13. Зависимость сопротивления теплопередаче стены из керамзитобетонных блоков различной плотности от толщины цементно-песчаного раствора

Методы укладки керамзитобетонных блоков (рис. 2.12):

---- вариант №1; -.-.- вариант №2; — — вариант №3

Особое влияние толщины цементно-песчаного раствора на сопротивление теплопередаче присутствует для первого варианта укладки керамзитобетонных блоков. Отклонения значений сопротивления теплопередаче стены по толщине представлены в табл. 2.24.

Таблица 2.24

Изменение значений сопротивления теплопередаче при увеличении толщины цементно-песчаного раствора от 0 мм до 30 мм

Материал	Отклонение в зависимости от метода укладки блоков, %		
	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
Керамзитобетон $\rho_0 = 500 \text{ кг/м}^3$	39	35	22
Керамзитобетон $\rho_0 = 800 \text{ кг/м}^3$	30	18	16
Керамзитобетон $\rho_0 = 1200 \text{ кг/м}^3$	15	9	8

Кроме сопротивления теплопередаче результатами теплотехнического расчёта в программе THERM могут выступать:

- изотермы (рис. 2.14);
- изображение векторов теплового потока;
- цветные линии теплового потока (рис. 2.15);
- температуры (локальное и среднее число, максимум и минимум).

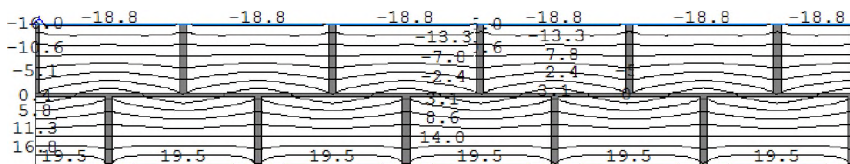


Рис. 2.14. Распределение температур по изотермам внутри моделируемой стены (вариант №1)

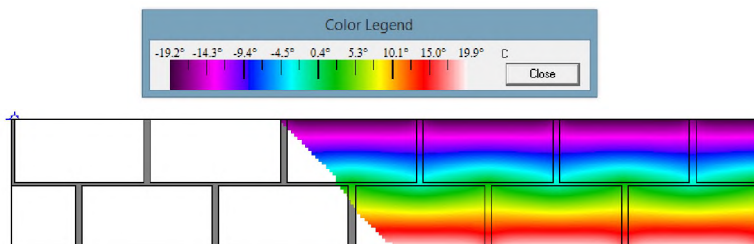


Рис. 2.15. Цветовые линии теплового потока внутри стены (вариант №1)

Выводы. На сопротивление теплопередаче кладки значительное влияние оказывает толщина шва. Наиболее сильно это влияние имеет место при укладке блоков с низким коэффициентом теплопроводности. Таким образом, на теплозащитные свойства ограждающих конструкций кроме свойств строительных материалов значительное влияние оказывает качество строительных работ.

2.3. ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ОКОННОЙ ПЛЁНКИ

2.3.1. Влияние энергосберегающей оконной плёнки на микроклимат в помещении в летнее время

В последнее время широкое распространение получили энергосберегающие стекла и плёнки, которые называют ещё низкоэмиссионными или селективными из-за способности задерживать определённую частоту излучения [118]. В летнее время такие покрытия защищают помещения от солнечного излучения, в зимнее – снижают потери теплоты через окна [119–122], что позволяет с меньшими затратами выполнять нормативные условия [123], описывающие параметры микроклимата в жилых и общественных зданиях.

Исследования влияние таких покрытий на показатели микроклимата в помещении практически нет. В работе [124] с целью выявления

эффективности применения селективных (теплоотражающих) стёкол были проведены натурные испытания в зимних условиях эксплуатации. Было установлено, что сопротивление теплопередаче окон с такими стёклами окна на 40% выше, чем обычных. Согласно данным, приведённым в работе [125], нанесение селективного покрытия на стекла увеличивает их сопротивление теплопередаче на 70-115% и уменьшает в зимний период температуру с внешней поверхности стекла на 2°C.

Для определения степени влияния энергосберегающей оконной плёнки на микроклимат в помещении в летнее время был произведён мониторинг температур в двух офисных помещениях, расположенных в бизнес-инкубаторе ОГУ «Белгородский региональный ресурсный инновационный центр» по адресу: г. Белгород, ул. Королева, 2а, корп. 2. Оба помещения имели одинаковую площадь и конструкцию окон, находились рядом на одной стороне западного фасада на шестом этаже здания. В офисе № 603 на оконных стёклах была наклеена энергосберегающая оконная керамическая плёнка торговой марки KorQu (производство Южная Корея), контрольный офис № 607 имел обычные не модернизированные оконные стекла. Оба офиса кондиционерами оборудованы не были. При измерении использовались два логгера температур Testo 174 Н. Непрерывные измерения проводились в течение месяца с 22 августа по 23 сентября 2011 г., температуры воздуха в помещениях записывались с интервалов в пять минут. Метеорологические данные для г. Белгорода за указанные период (температура наружного воздуха и степень облачности) были взяты на сайте <http://rp5.ru>

Время эксперимента было выбрано с условием, что бы температура наружного воздуха была равна или ниже температуры в помещении, таким образом нагрев воздуха в помещении происходил в основном за счёт инсоляции. Согласно СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» среднемесячное дневное поступление суммарной солнечной энергии на поверхность Земли для широты 50° в июне и июле в 1,5 раза выше, чем в сентябре. Поэтому в летнее время нагрев помещений за счёт солнечного излучения был бы выше, чем в период измерений.

В табл. 2.25 представлены средние температуры воздуха в помещениях. Из данных табл. видно, что ночью средняя температура в обоих помещениях близка, но днём температура в помещении с окнами, оборудованными плёнкой ниже, чем в контрольном, на величину от 0,3 до 0,4°C.

Для исключения влияния на показатели микроклимата режима работы офисного помещения (количества людей, работающей техники, режима проветривания) для анализа были выбраны данные за выходные дни, когда в помещениях не было людей (рис. 2.16).

Средняя температура воздуха в помещении, °С

Наименование	За весь период	в том числе		Рабочие дни	в том числе		Выходные дни	в том числе	
		днём	ночью		днём	ночью		днём	ночью
Помещение, оборудованное плёнкой	24,5	24,9	24,2	24,6	25,0	24,2	24,4	24,6	24,2
Контрольное помещение	24,7	25,2	24,1	24,7	25,2	24,1	24,6	25,1	24,2
Разность	0,1	0,3	0,0	0,1	0,2	0,0	0,2	0,4	0,0

Как видно из графика, разница температур в помещениях непостоянна. При сопоставлении дневной разницы температур со средней степенью облачности было установлена обратная зависимость между этими величинами (рис. 2.17), что показывает наличие влияния плёнки на микроклимат в помещении.

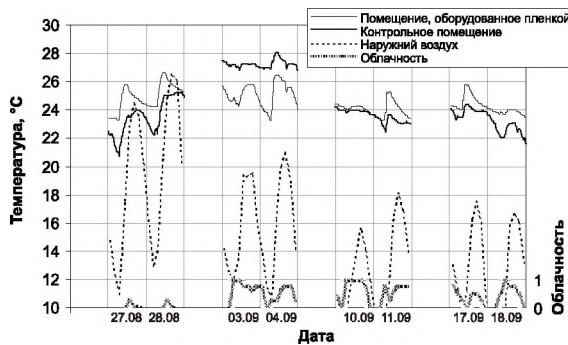


Рис. 2.16. Температура воздуха в помещении и климатические параметры в выходные дни

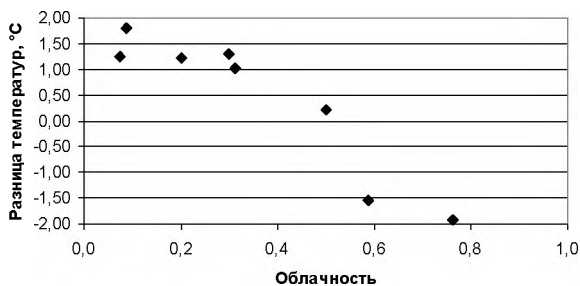


Рис. 2.17. Зависимость разности средних дневных температур в помещении, оборудованном плёнкой, и контрольном помещении, в зависимости от степени облачности

Так как данные были получены в период с низкой температурой окружающего воздуха, среднее значение которой за период испытаний было равно 15°C (за дневное время 18°C), в более жаркий период можно прогнозировать более сильное снижение температур в помещениях, оборудованных энергосберегающей плёнкой.

Можно сделать вывод, что оборудование оконных проёмов энергосберегающей селективной плёнкой оказывает влияние на микроклимат в помещении, делая его более комфортным, или снижает затраты энергии на работу кондиционеров. Снижение температуры в помещениях, оконные блоки которых оборудованы энергосберегающей плёнкой, в солнечные дни составляет не менее 2°C.

2.3.2. Определение теплозащитных свойств энергосберегающей оконной плёнки с использованием пиранометра*

В разделе произведено инструментальное измерение уровня защитных свойств оконной энергосберегающей плёнки торговой марки KorQu (Южная Корея) при воздействии солнечного излучения.

Для измерений использовались пиранометры «Пеленг СФ-06», которые применяются для измерений энергетической освещённости солнечным излучением в диапазоне длин волн от 0,3 до 2,4 мкм, включающий диапазон видимого света и инфракрасного излучения. Для измерения естественного излучения использовался люксметр Testo 445. В целях обеспечения сравнительной оценки защитных свойств самоклеящихся плёнок на однокамерный стеклопакет размером 1700x440 мм (4M1-16-4M1) одной из створок оконного блока была наклеена энергосберегающая плёнка, а стеклопакет другой створки оставили без изменения. На расстоянии 185 мм от каждого стеклопакета были расположены головки пиранометров, которые преобразовывают маргангин-константановыми термобатарейми энергетическую освещённость, создаваемую солнечным излучением, в электрический сигнал в аналоговой форме.

Испытания проводились в период с 15.08.2013 г. по 25.08.2013 г. Контролируемые объекты с нанесённой теплозащитной плёнкой «Термодрафт». Условия испытаний приведены в табл. 2.26. Суточный мониторинг значений энергетической освещённости солнечным излучением, проходящим через однокамерный стеклопакет 4M1-16-4M1 без использования защитной плёнки и с плёнкой приведены на рис. 2.18, 2.19.

* Измерения выполнены ООО «Интеллект-Сервис ЖБК-1» по заказу ООО «Группа СитиКей»

Условия проведения исследований

№ п/п	Параметры	15.08.2013 г., 12 ³³ -12 ⁴⁵	26.08.2013 г., 13 ²⁰ -13 ⁴⁰
1	Температура наружного воздуха, °С	27,7	22,1
2	Относительная влажность наружного воздуха, %	45,1	50,3
3	Скорость движения наружного воздуха, м/с	2,5-4,2	1,9-4,6
4	Температура внутреннего воздуха, °С	28,8	24,4
5	Относительная влажность внутреннего воздуха, %	37,4	43,2

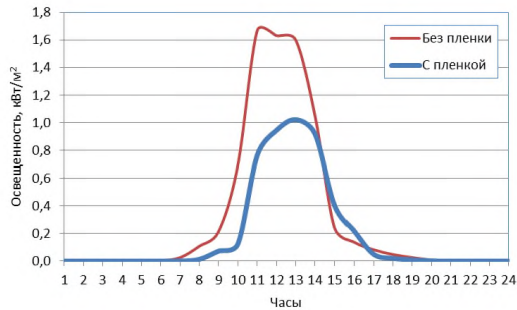


Рис. 2.18. Энергетическая освещенность солнечным излучением в течение суток (средние данные за 11 дней)

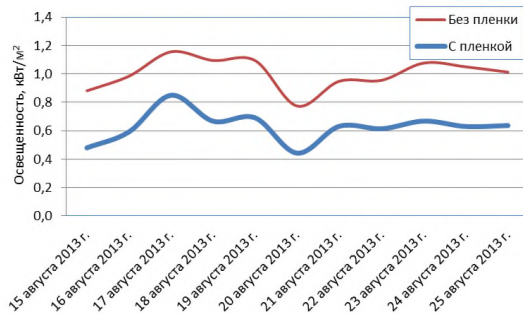


Рис. 2.19. Энергетическая освещенность солнечным излучением (среднесуточные данные за период с 10⁰⁰ по 16⁰⁰)

За период испытаний энергетическая освещенность солнечного излучения, проходящего через стеклопакет 4М1-16-4М1 с энергосберегающей пленкой, была в среднем на 33,88% ниже, чем для аналогичного стеклопакета без пленки. При этом снижение естественной освещенности при использовании пленки составляет в среднем 24,3%.

2.4. ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Проведён анализ результатов измерения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий, а также результатов измерений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в сертифицированных климатических камерах с целью сопоставления фактических и расчётных значений. Установлено, что основное влияние на снижение фактического (определённого по данным замеров) сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций по отношению к расчётным (проектным) значениям оказывает их конструктивное исполнение, а не применяемые материалы. Наибольшее отклонение сопротивления теплопередаче от расчётного значения наблюдается для стеновых конструкций с утеплителем, монтируемым в процессе строительства. Ограждающие конструкции, выполненные в виде кладки из кирпичей или блоков, а также панелей, изготавливаемых в заводских условиях, по теплозащитным характеристикам в большей части соответствуют своим заявленным свойствам.

2. На основе моделирования процесса теплопередачи в двухмерных координатах произведён анализ влияния на сопротивление теплопередачи кладки из керамзитобетонных блоков коэффициента теплопроводности блоков, способа укладки и толщины цементно-песчаного раствора. Установлено, что на сопротивление теплопередаче кладки значительное влияние оказывает толщина шва, наиболее сильно это влияние имеет место при укладке блоков с низким коэффициентом теплопроводности. Так, увеличение толщины шва с 5 до 15 мм приводит к снижению сопротивления теплопередаче кладки на 9% для кладки из блоков плотностью 500 кг/м³ и на 4% для блоков плотностью 1200 кг/м³. Таким образом, на теплозащитные свойства ограждающих конструкций кроме свойств строительных материалов значительное влияние оказывает качество строительных работ.

3. С использованием пиранометров «Пеленг СФ-06» определена разница энергетической освещённости солнечным излучением для обычного стеклопакета и стеклопакета с наклеенной на поверхность энергосберегающей плёнки. Установлено, что теплозащита стеклопакета 4М1-16-4М1 с плёнкой в среднем на 34% выше, чем аналогичного стеклопакета без плёнки. Для определения степени влияния энергосберегающей оконной плёнки на микроклимат в помещении в летнее время произведён сравнительный мониторинг температур в двух офисных помещениях. Установлено, что снижение температуры в помещениях, оконные блоки которых оборудованы энергосберегающей плёнкой, в солнечные дни составляет не менее 2°C.

3. ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ И ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ

3.1. ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В БЮДЖЕТНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Система управления энергетическими ресурсами (СУЭР) создана в Белгородской области согласно распоряжению Правительства Белгородской области от 27 сентября 2017 г. № 425-рп «О внедрении Системы управления энергетическими ресурсами Белгородской области». Ее правообладатель и оператор – ОГБУ «Центр энергосбережения Белгородской области». Разработчик СУЭР – Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Разработка была начата в 2017 году с проведения научно-исследовательских работ по созданию новых методов и инструментов управления энергосбережением в бюджетном секторе и их реализации в программном компоненте информационного комплекса СУЭР. В 2018 г. была произведена опытная эксплуатация и модернизация системы. В 2020 году был разработан программный модуль «Бюджет», который позволяет автоматизировать выполнение действующих нормативно-правовых актов в области энергоэффективности и оцифровать процессы управления энергосбережением на социально-значимых государственных объектах области. В основе СУЭР используются методы оценки энергоэффективности крупных территориально распределенных потребителей коммунальных ресурсов на основе индивидуального анализа характеристик и теплотребления отдельных зданий.

Сегодня СУЭР – это региональная информационно-аналитическая система, обеспечивающая адресную оценку эффективности затрат и контроль потребления энергетических ресурсов бюджетными учреждениями регионального и муниципального подчинения, а также цифровизацию процессов, связанных с энергетической эффективностью, в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами, в том числе:

1) автоматизированный расчет прогноза потребления энергетических ресурсов бюджетными учреждениями (лимитов), контроль потребления энергетических ресурсов (исполнения лимитов);

2) автоматизированный расчет и контроль достижения целевого уровня снижения потребления энергетических ресурсов в разрезе каждого учреждения;

3) автоматизированное составление, актуализацию и адресный контроль исполнения программ энергосбережения и повышения энергетической эффективности бюджетных учреждений;

4) мониторинг исполнения энергосервисных контрактов.

В настоящее время СУЭР включает сведения обо всех муниципальных и региональных учреждениях Белгородской области (табл. 3.1).

На рис. 3.1 приведено изменение потребления энергетических ресурсов и воды в учреждениях и затрат на них за время функционирования СУЭР.

Таблица 3.1

Характеристики бюджетных учреждений Белгородской области

Наименование	Количество
Количество ГРБС (главных распорядителей бюджетных средств) – органов муниципальной власти и региональных структур (средний уровень СУЭР)	49
Количество региональных и муниципальных учреждений (нижний уровень СУЭР)	2 144
Число сотрудников	147 425
Количество зданий	5 332
Общая площадь зданий	6 808 938,33 м ²
Общий отапливаемый объем зданий	23 896 206,52 м ³
Количество установленных приборов учета	18 987
Потребление топливно-энергетических ресурсов учреждениями в структуре ТЭБ области	
электроэнергия	1,1%
тепловая энергия	17%
природный газ	0,2%

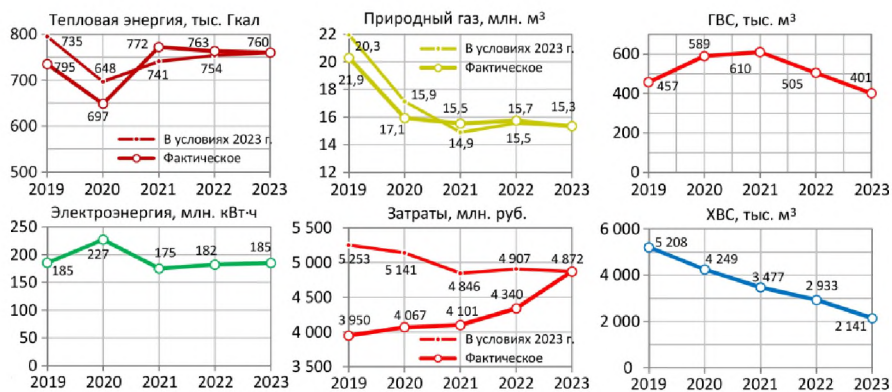


Рис. 3.1. Изменение потребления энергетических ресурсов и вода бюджетных учреждений Белгородской области

Для тепловой энергии и природного газа (который в основном используется для индивидуального отопления) кроме фактического потребления приведены значения, приведенные к погодным условиям и длительности отопительного периода 2023 года. Для затрат на энерге-

тические ресурсы и воду так же кроме фактических значений приведены затраты в условиях 2023 г., для расчета которых использовались тарифы и цены на энергоресурсы и воду 2023 г. и значения потребления тепловой энергии и природного газа, приведенные к условиям 2023 г.

Согласно Постановлению Правительства РФ от 7 октября 2019 года № 1289 целевой уровень снижения потребления ресурсов устанавливается на 3-летний период с 2021 года, базовым годом является 2019 год. На рис. 3.2 представлено изменение потребления энергоресурсов за этот период. Общие затраты на энергоресурсы снизились на 8%. Наибольшее снижение потребление было для холодной воды (59%) и природного газа (30%). Потребление тепловую энергию в сопоставимых условиях снизилось на 4%, электроэнергии не изменилось. Потребление горячей воды в 2020 году резко возросло, затем начало планомерно снижаться и в конце трехлетнего цикла по сравнению с базовым годом снизилось на 12%. Общая экономия энергетических ресурсов за трехлетний период по сравнению с базовым годом составила 861 млн. руб. в ценах 2019 г. или 1 133 млн руб. в ценах 2023 г.

Структура потребления (рис. 3.4, 3.5) показывает, что в затраты и основное потребление приходится на тепловую энергию, в большинстве учреждений затраты на нее составляют больше половины от общих, и электроэнергию, затраты на которую – от 1/4 до 1/3 от общих.

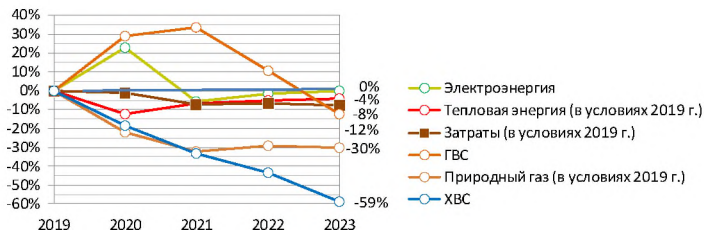


Рис. 3.2. Снижение потребления энергоресурсов

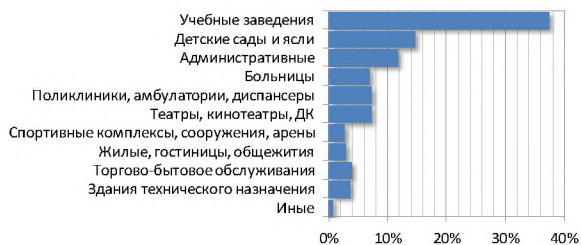


Рис. 3.3. Доля кластеров в общих затратах на энергоресурсы и воду бюджетных учреждений Белгородской области

Таблица 3.2

Характеристики кластеров зданий бюджетных учреждений Белгородской области

Кластер (Тип зданий)	Число зданий	Общая площадь	
		тыс. м ²	%
Учебные заведения	1116	2 985,1	44%
Детские сады и ясли	548	730,9	11%
Административные здания	1074	720,9	11%
Больницы	159	537,8	8%
Поликлиники, амбулатории, диспансеры	477	402,5	6%
Театры, кинотеатры, ДК	761	676,3	10%
Спортивные комплексы, сооружения, арены	53	114,8	2%
Жилые здания, гостиницы, общежития	214	327,9	5%
Здания торгово-бытового обслуживания	108	49,8	1%
Здания технического назначения	484	134,6	2%
Иные здания, строения, сооружения	338	90,5	1%
Всего	5332	6 771,0*	100%

* Отличие от значения в табл. 3.1 объясняется, что в сумму не включены учреждения, занимающие части здания

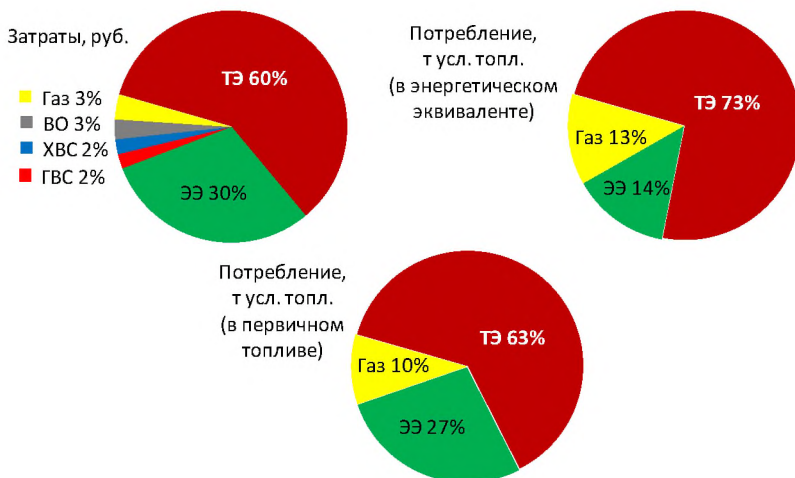


Рис. 3.4. Структура затрат на энергетические ресурсы и воду

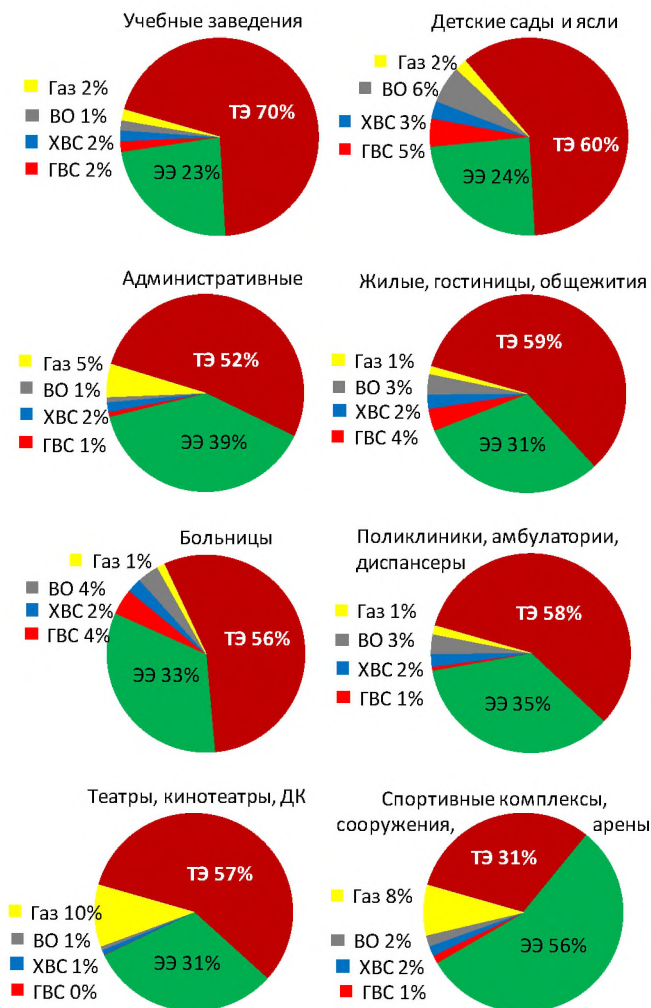


Рис. 3.5. Структура затрат на энергоресурсы и воду в учреждениях разного типа

В регионе затраты на энергоресурсы и воду 10% учреждений составляет 52% от общих затрат в регионе (рис. 3.6). В 25 учреждений, затрачивающих на энергоресурсы и воду более 20 млн. руб. в год (19% от региональных затрат) входят 17 медицинских учреждений со стационарным лечением больных, четыре образовательных учреждения

(школы и БГИИК), два спортивных комплекса, централизованная клубная система Белгородского района, объединяющая все районные учреждения культуры, и МБУ «Управление Белгорблагостройство».



Рис. 3.6. Ранжирование учреждений по затратам на энергетические ресурсы и воду

Так как наибольшую долю затрат составляет тепловая энергия, по данным СУЭР произведена оценка трех энергосберегающих мероприятий по снижению тепловых потерь в здании с высокой стоимостью реализации. Общий потенциал энергосбережения по этим мероприятиям для всех объектов, где возможна реализация мероприятия, и необходимые затраты приведены в табл. 3.3 и составляет 50% от потребления тепловой энергии и 25% от общих затрат на энергоресурсы и воду.

Таблица 3.3

Потенциал энергосбережения при реализации энергосберегающих мероприятий

Наименование	Количество зданий	Снижение расхода тепловой энергии в год				Затраты, млн. руб.	Средний простой срок окупаемости, лет
		Гкал	млн. руб.	доля от потребления тепловой энергии	доля от общих затрат		
Утепление стен и чердачного перекрытия	2250	209 606	692,8	27,6%	14,2%	9 175,6	13,2
Замена окон на энергосберегающие	3962	64 524	206,9	8,5%	4,2%	6 638,2	32,1
Установка автоматизированного теплового пункта с погодозависимым регулированием (АИТП)	1154	105 057	320,8	13,8%	6,6%	3 226,8	10,1
Всего	-	379 187	1 220,5	49,9%	25,1%	19 040,7	15,6

Экономически окупаемые мероприятия, рассчитанные по разному максимальному сроку окупаемости, представлены в табл. 3.4. Снижение максимального срока окупаемости приводит к сокращению объектов, для которых мероприятия целесообразны, но к небольшому снижению среднего срока окупаемости, при снижении ограничения на срок окупаемости с 10 до 5 лет затраты и достигаемый эффект снижаются в 2,6 раза, но средний срок окупаемости уменьшается с шести до пяти лет.

Таблица 3.4

Эффект энергосберегающих мероприятий

Наименование	Количество зданий	Снижение расхода тепловой энергии в год				Затраты, млн. руб.	Средний простой срок окупаемости, лет
		Гкал	млн. руб.	доля от потребления тепловой энергии	доля от общих затрат		
Включены мероприятия со сроком окупаемости не более 10 лет							
Утепление стен	185	6 337	32,2	0,8%	0,7%	278,2	8,6
Утепление чердачного перекрытия	330	23 437	52,9	3,1%	1,1%	432,0	8,2
Утепление стен и чердачного перекрытия	668	79 443	346,28	10,453%	7,108%	2 136,1	6,2
Замена окон на энергосберегающие	2	20,2	0,11	0,003%	0,002%	1,0	9,1
Установка АИТП	600	70 715	228,0	9,3%	4,7%	1 047,6	4,6
Всего	–	179 952	659,6	23,7%	13,5%	3 894,9	5,9
Включены мероприятия со сроком окупаемости не более 7 лет							
Утепление стен	94	2 408	12,7	0,3%	0,3%	80,7	6,3
Утепление чердачного перекрытия	226	20 369	53,6	2,7%	1,1%	266,6	5,0
Утепление стен и чердачного перекрытия	380	47 883	232,1	6,3%	4,8%	1 175,8	5,1
Замена окон на энергосберегающие	–	–	–	–	–	–	–
Установка АИТП	423	56 915	187,3	7,5%	3,8%	703,2	3,8
Всего	–	127 575	419,3	16,8%	8,6%	2 226,3	5,3
Включены мероприятия со сроком окупаемости не более 5 лет							
Утепление стен	64	829	4,9	0,1%	0,1%	23,5	4,8
Утепление чердачного перекрытия	254	20 027	81,0	2,6%	1,7%	334,8	4,1
Утепление стен и чердачного перекрытия	163	20 774	108,8	2,7%	2,2%	436,2	4,0
Замена окон на энергосберегающие	–	–	–	–	–	–	–
Установка АИТП	248	40 071	138,5	5,3%	2,8%	411,6	3,0
Всего	–	81 701	247,3	10,8%	5,1%	1 206,2	4,9

Потенциал экономии от организационных мероприятий представлен в табл. 3.5 и 3.6. Увеличенный расход энергетических ресурсов имеется у 25% учреждений, потенциал экономии составляет 0,8% от затрат на энергетические ресурсы и воду.

Таблица 3.5

Потенциал энергосбережения от организационных мероприятий по кластерам учреждений (по данным 2023 г.)

Наименование кластера	Электроэнергия		Горячая вода		Холодная вода		Природный газ	
	тыс. кВт·ч	количество учреждений	тыс. м ³	количество учреждений	тыс. м ³	количество учреждений	тыс. м ³	количество учреждений
Администрации	534,8	117	0,88	15	14,7	79	3,91	81
Образование	1 078,3	261	6,27	75	49,8	226	10,62	216
Детские сады	145,6	76	6,23	73	13,6	103	2,62	53
Медицина	998,7	19	1,02	17	32,0	20	0,86	17
Культура и спорт	605,7	30	0,72	14	7,5	46	1,86	38
Социальные учреждения	33,6	3	0,15	3	1,6	17	0,48	10
Всего по региону	3 396,7	506	15,27	197	119,3	491	20,34	415

Таблица 3.6

Потенциал энергосбережения от организационных мероприятий по региону (по данным 2023 г.)

Ресурс	В натуральном выражении	млн. руб./год	Доля от потребления ресурса	Доля от общих затрат
Электроэнергия, тыс. кВт·ч	3396,7	28,5	1,9%	0,6%
Горячая вода, тыс. м ³	15,3	2,5	3,0%	0,1%
Холодная вода, тыс. м ³	119,3	4,2	4,1%	0,1%
Водоотведение	134,5	5,9	5,1%	0,1%
Природный газ, тыс. м ³	20,3	0,2	0,1%	0,0%
Всего	3686,1	41,3	-	0,8%

В результате анализа можно заключить, что общий потенциал экономии, который может быть достигнут в региональных и муниципальных учреждениях Белгородской области составляет 14,3% от годовых затрат на энергетические ресурсы и воды. Но основной эффект достигается техническими мероприятиями со средним сроком окупаемости 6 лет.

3.2. СТРУКТУРА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ Г. БЕЛГОРОДА

Анализ энергопотребления г. Белгород

Структура потребления энергетических ресурсов на территории г. Белгорода, по данным работы [70], представлена на рис. 3.7.

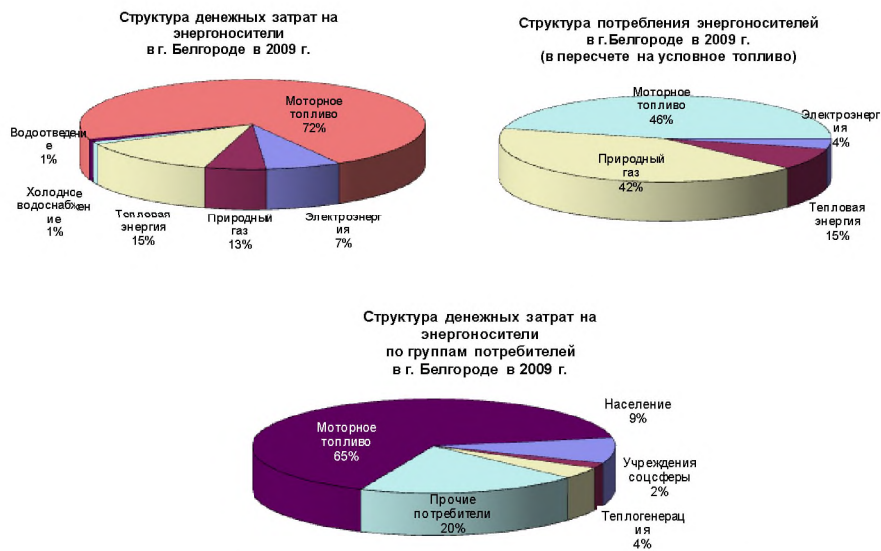


Рис. 3.7. Структура энергопотребления в г. Белгороде

Для сравнения энергопотребления на рис. 3.7 и 3.8 представлен энергетический баланс города в пересчёте на условное топливо. Как видно из рис., наибольшее количество энергии в городе вырабатывается из природного газа, но в связи с его низкой стоимостью по сравнению с электроэнергией, наибольшие затраты по оплате приходятся на электроэнергию.

Из анализа энергопотребления города можно заключить, что наибольший расход энергии приходится на моторное топливо, отопление и ГВС, а наибольшие финансовые затраты – на оплату моторного топлива и электроэнергии.

Характеристика и энергопотребление муниципальных учреждений и организаций

Энергопотребление в муниципальных учреждениях и организаций г. Белгорода в 2009 г. представлено в табл. 3.7.

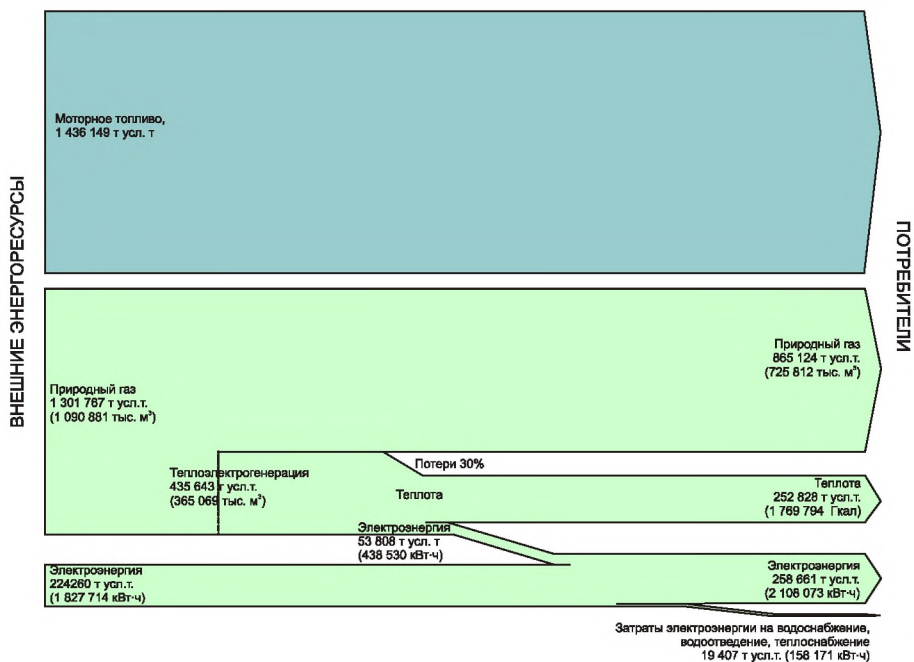


Рис. 3.8. Энергетический баланс г. Белгорода

Таблица 3.7

Энергопотребление в муниципальных учреждениях и организациях г. Белгорода в 2009 г.

Наименование	Органы управления	Образование	Культура	Здравоохранение и социальная политика	Муниципальные унитарные предприятия	Население	
Количество объектов	21	129	34	63	164	1909	
Количество людей							
сотрудники	1991	7460	821	5888	1919	295 300	
учащиеся (полный / неполный день)	- / 604	46410 / -	- / 5161	-	-	-	
посетители	503968		790286	3141703	3760	-	
Общая площадь, м ²	41370,6	421732,9	18252,1	148810,9	43237,7	6 486 300	
Всего энергопотребления за 2009 г., тыс. руб.	37 256	142 820	4 323	59 169	181 071	3 460 640	
Электроэнергия	тыс. кВт	12716	9935	455	6387	100942	277522
	тыс. руб.	254 969	204 676	915	12 798	173 319	749 308

Окончание табл. 3.7

Наименование		Органы управления	Образование	Культура	Здравоохранение и социальная политика	Муниципальные унитарные предприятия	Население
Отопление и ГВС	Гкал	5198	56170	2447	17317	–	1309591*
	тыс. руб.	6 225	71 583	3 118	21 646	–	1542227*
ГВС	тыс. м ³	8,30	731,35	1,63	290,36	–	–
	тыс. руб.	120	37 281	108	14 829	–	–
Холодное водоснабжение	тыс. м ³	27,58	441,42	4,54	227,98	49,04	30323,60
	тыс. руб.	276	3 866	49	3 299	526	263616
Водоотведение	тыс. м ³	37,9	904	5,7	426	49	27 649
	тыс. руб.	384	8 085	58	4 638	410	258 396
Природный газ	тыс. м ³	186	120	45,6	149	562	147 067
	тыс. руб.	457	394	152	481	2 099	647 093

* включая ГВС

Доля муниципальных учреждений и организаций в структуре потребляемых в городе Белгороде энергоносителей представлена в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Доля муниципальных учреждений, организаций и многоквартирных домов в городском энергопотреблении энергоносителей

Наименование	В расходе энергоносителей, потребляемых в г. Белгороде			В стоимости энергоносителей, потребляемых в г. Белгороде		
	Муниципальные учреждения и предприятия	Многоквартирные дома	Всего	Муниципальные учреждения и предприятия	Многоквартирные дома	Всего
Электроэнергия	5,8%	12,2%	18,0%	3,8%	12,2%	16,1%
Теплота	7,3%	74%	81,3%	7,3%	17%	81,3%
Природный газ	0,1%	13,5%	13,6%	0,1%	13,5%	13,6%
Холодное водоснабжение	3,2%	81,4%	84,6%	2,2%	71,8%	74,0%
Водоотведение	5,1%	75,7%	80,8%	3,9%	74,8%	78,7%

Структура затрат по потребителям и энергоресурсам показана на рис. 3.9. В бюджетных организациях большая часть средств тратится на теплотребление. Таким образом, наиболее главные направления снижения энергозатрат – уменьшение затрат на отопление и ГВС в бюджетных учреждениях.



Рис. 3.9. Структура затрат на энергоносители

Далее представлено сравнение потребления энергоносителей в бюджетных учреждениях и МУП (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Удельные показатели энергопотребления

Индикаторы энерго-эффективности	Размерность	Органы управления	Образование (школы и садики)	Культура	Здравоохранение и социальная политика
Удельный расход теплоты на теплоснабжение	Гкал/м ²	0,126	0,133	0,134	0,116
Удельный расход электроэнергии	кВт·ч/чел	63,87	184	554	1084
Удельный расход холодной воды	м ³ /чел	13,8	8,2	5,5	38,7

Анализ энергопотребления в образовательных учреждениях

Анализ энергопотребления представлен на основании работы [126].

В Белгороде действует 152 учреждения общей площадью 421 733 м², в том числе 46 школ, 64 дошкольных образовательных учреждений (ДОУ), 38 учреждений дополнительного образования (УДО), 4 административных подразделения. В 2009 г. в учреждениях работало 7 460 сотрудников и обучалось 46410 воспитанников.

Всего образовательными учреждениями в год расходуется энерго-ресурсов на сумму 142,82 млн. руб. (в ценах 2009 года). Структура затраты на энергоносители представлена рис. 3.10 и 3.11.

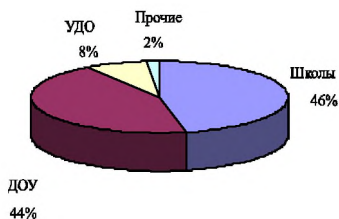


Рис. 3.10. Затраты на энергоносители по подразделениям

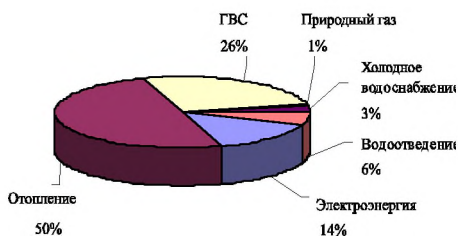


Рис. 3.11. Затраты на энергоносители по видам

Как видно из результатов анализа, основная часть затрат на энергоносители (75%) приходится на отопление и горячее водоснабжение.

Большая часть объектов образования возводилась более 20-30 лет назад, когда энергоресурсы были крайне дешёвыми. Поэтому в то время повышать теплозащиту зданий было просто экономически не выгодно. Приведём экспресс-оценку энергоэффективности образовательных учреждений г. Белгорода, произведённую по данным годового потребления теплоты (рис. 3.12). Удельный показатель определялся следующим образом:

$$q = 106 \cdot Q / (4183 \cdot S \cdot h), \quad (3.1)$$

где Q – потребление теплоты за год, ГДж; S – площадь, м²; h – средняя высота этажа, м.

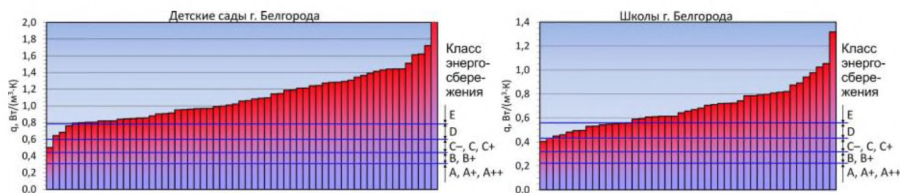


Рис. 3.12. Ранжирование образовательных учреждений г. Белгорода по степени энергетической эффективности зданий [127]

Согласно результатам анализа больше половины зданий относятся к классу E – пониженный, а оставшиеся – к классу D – Низкий.

В настоящее время на большинстве объектов зафиксированы теплотери, связанные с основными факторами:

- неудовлетворительное состояние теплового контура здания (оконных и дверных проёмов);
- неудовлетворительное содержание приточно-вытяжной вентиляции;

• неотрегулированная отопительная нагрузка, приводящая к значительному превышению температуры в зданиях относительно нормативной, и вследствие этого – перерасход тепловой энергии на отопление.

Оценка эффективности и потенциала экономии

Для анализа фактического потребления энергоресурсов были отобраны учреждения, оснащённые приборами учёта по всем видам энергоресурсов, для которых были определены индикаторы энергоэффективности, то есть удельные расходы энергоресурсов (табл. 3.10).

Таблица 3.10

Индикаторы энергоэффективности

Показатель	Площадь, м ²	Количество сотрудников и учащихся, чел.	Доля модернизированных оконных блоков	Индикаторы энергоэффективности		
				тепловой энергии, Гкал/м ²	электроэнергии, кВт·ч/чел	холодной воды, м ³ /чел
Школы (20 учреждений)						
Всего	124693	15149	–	–	–	–
Среднее	6235	757	12	0,14	143,15	7,08
Минимальное	1023,6	212	0	0,10	69,57	3,78
Максимальное	9904	1658	51,3	0,31	286,13	17,33
Дошкольные образовательные учреждения (34 учреждения)						
Всего	158536	18370	–	–	–	–
Среднее	3373	391	10	0,26	256,55	11,55
Минимальное	947,8	156	0,0	0,10	108,44	3,78
Максимальное	9904	1658	57,4	0,36	366,76	21,88
Всего по управлению образования						
Всего	204704	24602	–	–	–	–
Среднее	3791	456	12	0,19	186,72	8,80
Минимальное	947,8	156	0,0	0,10	69,57	3,78
Максимальное	9904	1658	57,4	0,36	366,76	21,88

Как видно из приведённых данных, суммарная энергоэффективность различных учреждений может отличаться в три раза.

Для определения был рассчитан коэффициент корреляции между индикаторами энергоэффективности и характеристиками учреждений (площадью зданий, количеством находящихся в них людей, долей новых

окон, табл. 3.11). Имеется обратная зависимость между расходом тепловой энергии и площадью здания и количеством людей и между расходом электроэнергии и количеством людей. Таким образом, более крупные учреждения характеризуются лучшей энергоэффективностью.

Таблица 3.11

Корреляция параметров

Параметры	Индикаторы энергоэффективности		
	Тепловой энергии	Электроэнергии	Холодной воды
Площадь	-0,80	-0,60	-0,32
Количество сотрудников и учащихся	-0,66	-0,68	-0,30
Доля модернизированных оконных блоков	-0,09	-0,15	0,01
Индикатор энергоэффективности потребления тепловой энергии	-	0,45	0,33
Индикатор энергоэффективности потребления электроэнергии	-	-	0,33

Для сравнения суммарных затрат на энергоносители использовалась рейтинговая оценка R :

$$R = \sum d \cdot e / e_{\text{ср}}, \quad (3.2)$$

где d_i – доля энергоресурса в общей сумме затрат; e – удельный расход энергоресурса; $e_{\text{ср}}$ – средний расход энергоресурса по всем учреждениям, включенным в выборку.

Ранжированные результаты расчета показателя R представлены на рис. 4.

Для расчета потенциала экономии энергоресурсов E использовалось отклонение индикаторов энергоэффективности от нормативного или среднего значения

$$E = \sum C \cdot X \cdot (e - e_{\text{ср}}), \text{ для } e > e_{\text{ср}}, \quad (3.3)$$

где C – стоимость единицы энергоресурса; X – показатель, используемый для расчета удельного расхода (площадь или количество человек).

Потенциал экономии в среднем составляет 13%, для разных учреждений он может составлять до 40%. Как правило, для крупных учреждений он незначителен, но зависимости между годовыми затратами на энергоресурсы и потенциалом экономии нет. Таким образом, для определения оптимальной структуры инвестиций в энергосберегающие мероприятия для достижения наибольшей экономии энергоресурсов необходим дифференцированный подход с учетом индивидуальных показателей каждого отдельного учреждения.

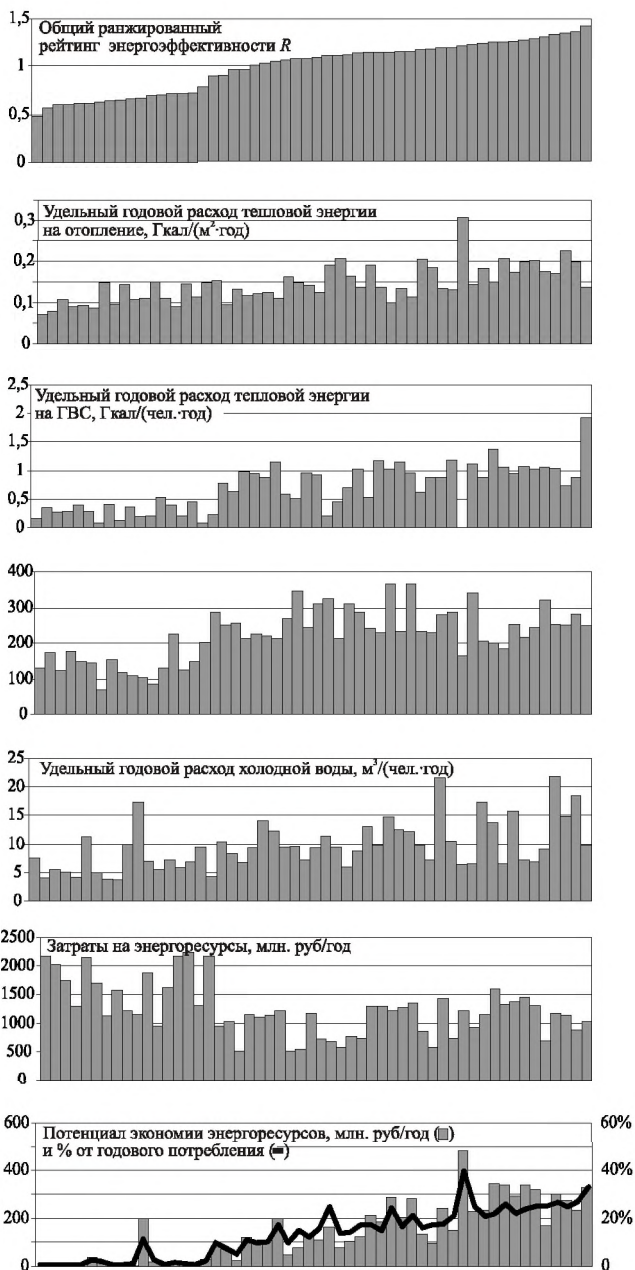


Рис. 3.13. Индикаторы энергоэффективности и потенциал экономии

3.3. АНАЛИЗ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ДОШКОЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ г. БЕЛГОРОДА

На базе данных 67 дошкольных образовательных учреждений (ДОУ) г. Белгорода было проанализировано потребление тепловой энергии в период 2012 – 2014 г. Результаты полученных показателей энергоэффективности представлены в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Анализ расхода теплоты на отопление

Наименование	Показатель энергоэффективности, Гкал/м ²			Наименование	Показатель энергоэффективности, Гкал/м ²		
	2012 г	2013 г	2014 г		2012 г	2013 г	2014 г
ДОУ №1	0,371	0,278	0,313	ДОУ №51	0,223	0,217	0,215
ДОУ № 2	0,508	0,408	0,233	ДОУ №52	0,224	0,209	0,198
ДОУ № 3	-	-	-	ДОУ №53	0,149	0,147	0,151
ДОУ № 4	-	-	-	ДОУ №54	0,209	0,190	0,183
ДОУ №5	0,251	0,226	0,211	ДОУ №56	0,144	0,134	0,131
ДОУ №6	0,260	0,226	0,227	ДОУ №57	0,153	0,152	0,164
ДОУ № 7	-	0,160	0,094	ДОУ №58	0,241	0,166	0,173
ДОУ №8	0,164	0,170	0,169	ДОУ №59	0,140	0,173	0,135
ДОУ №10	0,209	0,174	0,189	ДОУ №60	0,186	0,183	0,166
ДОУ №11	0,398	0,393	0,392	ДОУ №63	0,189	0,180	0,183
ДОУ №12	0,285	0,266	0,282	ДОУ №64	0,156	0,117	0,127
ДОУ №13	0,218	0,194	0,198	ДОУ №65	0,161	0,178	0,142
ДОУ № 14	0,093	0,084	0,085	ДОУ №66	0,207	0,215	0,235
ДОУ №15	0,285	0,282	0,277	ДОУ №67	0,249	0,195	0,218
ДОУ №16	0,408	0,464	0,379	ДОУ №68	0,223	0,186	0,187
ДОУ №17	0,233	0,228	0,219	ДОУ №69	0,233	0,269	0,216
ДОУ №18	0,154	0,105	0,100	ДОУ №70	0,189	0,181	0,158
ДОУ №23	0,323	0,294	0,294	ДОУ №71	0,252	0,216	0,205
ДОУ №25	0,211	0,198	0,205	ДОУ №72	0,208	0,149	0,152
ДОУ №27	0,366	0,355	0,357	ДОУ №74	0,399	0,377	0,189
ДОУ №28	0,327	0,327	0,329	ДОУ №75	0,276	0,186	0,221
ДОУ №33	0,324	0,237	0,276	ДОУ №76	0,174	0,174	0,174
ДОУ №34	0,253	0,243	0,247	ДОУ №78	0,588	0,635	0,285
ДОУ №35	0,289	0,265	0,325	ДОУ №79	0,245	0,268	0,237
ДОУ №36	0,220	0,224	0,215	ДОУ №80	0,401	0,397	0,393
ДОУ №39	0,279	0,336	0,326	ДОУ №81	0,330	0,335	0,307
ДОУ №40	0,253	0,174	0,187	ДОУ №82	0,278	0,225	0,304
ДОУ №41	0,307	0,266	0,267	ДОУ №84	0,326	0,263	0,278
ДОУ № 42	0,455	0,360	0,171	ДОУ №85	0,289	0,289	0,252
ДОУ №43	0,297	0,291	0,301	ДОУ №86	0,262	0,236	0,246
ДОУ №45	0,201	0,178	0,186	ДОУ №87	0,252	0,263	0,243
ДОУ №46	0,261	0,258	0,260	ДОУ №88	0,337	0,459	0,345
ДОУ №47	0,300	0,256	0,270	ДОУ №89	0,229	0,226	0,231
ДОУ №48	0,211	0,189	0,168				

Также в процессе расчётов был определён среднее удельное потребление по данной группе потребителей и приведен в таблице 3.13.

Таблица 3.13

Средние показатели

Год	Удельное потребления тепловой энергии, Гкал/м ²			Средняя температура в отопительный период (октябрь-апрель)
	Среднее	Минимальное	Максимальное	
2012	0,24	0,093	0,588	0,1°С
2013	0,222	0,084	0,635	1,3°С
2014	0,207	0,085	0,393	0,5°С
Нормативное значение (СП 50.13330.2024)	0,16...0,19 – класс «С» Нормальный 0,19...0,25 – класс «D» Пониженный > 0,25 – класс «E» Низкий			-1,0°С

Как видно из удельного потребления, в среднем здания ДОУ имеют пониженную энергоэффективность, что связано с тем, что большинство зданий построено в советский период. Вместе с тем удельное потребление снижается, что связано с проводимыми техническими и организационными мероприятиями.

Для установления влияния на энергоэффективность размера зданий, были определены зависимости теплопотребления зданий от площади объекта (рис. 3.14, 3.15).

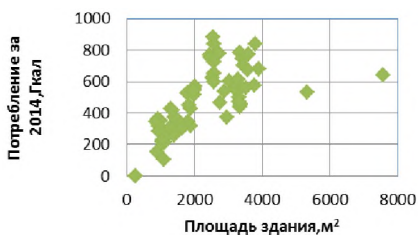


Рис. 3.14. Зависимость годового потребления теплоты от площади здания

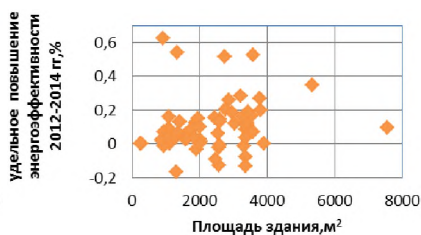


Рис. 3.15. Зависимость повышения энергоэффективности от площади здания

Как видно из рис., явной зависимости приведенных параметров от площади здания не наблюдается, таким образом на энергоэффективность ДОУ они влияют в совокупности с другими факторами.

Как видно из приведенных показателей, в целом энергоэффективность данной группы энергопотребителей повышалась с каждым годом. Более подробно это можно увидеть в табл. 3.14, где приведено процентное изменение энергетической эффективности по каждому объекту.

Таблица 3.14

Динамика индикаторов энергоэффективности

№ ДОУ	Изменение показателя энергоэффективности, %		№ ДОУ	Изменение показателя энергоэффективности, %		№ ДОУ	Изменение показателя энергоэффективности, %	
	2012/2013 г.	2013/2014 г.		2012/2013 г.	2013/2014 г.		2012/2013 г.	2013/2014 г.
1	25%	13%	34	4%	2%	65	10%	10%
2	20%	13%	35	8%	23%	66	4%	9%
3	-	-	36	2%	1%	67	22%	12%
4	-	-	39	20%	3%	68	17%	1%
5	10%	1%	40	31%	8%	69	13%	10%
6	13%	0%	41	13%	0%	70	5%	2%
7	-	11%	42	21%	3%	71	15%	1%
8	4%	1%	43	2%	4%	72	28%	2%
10	17%	9%	45	12%	5%	74	6%	10%
11	1%	0%	46	1%	1%	75	33%	19%
12	7%	6%	47	15%	6%	76	0%	0%
13	11%	2%	48	10%	1%	78	1%	35%
14	10%	0%	51	3%	1%	79	9%	2%
15	1%	2%	52	7%	3%	80	1%	1%
16	11%	18%	53	1%	3%	81	2%	3%
17	2%	1%	54	9%	1%	82	19%	35%
18	32%	3%	56	7%	0%	84	19%	6%
23	9%	0%	57	0%	3%	85	0%	13%
25	6%	4%	58	31%	4%	86	10%	4%
27	3%	1%	59	23%	2%	87	4%	3%
28	0%	0%	60	2%	3%	88	3%	5%
33	27%	16%	63	4%	1%	89	1%	2%
			64	25%	9%			

На протяжении 2012-2014 гг. был реализован ряд мероприятий, позволивших снизить потребление тепла. Данные мероприятия были проанализированы и в таблице 3.15 представлены самые энергоэффективные из них. Стоит также учитывать, что данная экономия достижима в случае выполнения лишь одного мероприятия, при сочетании нескольких мероприятий экономию стоит пересчитать с учетом их взаимовлияния. Реализация других мероприятий, таких как ремонт теневого навеса и благоустройство территории не позволяет достигать подобной экономии.

Следует отметить, что для снижения расхода энергии на отопление существуют два основных направления:

- утепление контура здания (средняя экономия затрат на отопление при этом составляет 15...20% при утеплении стен; 5...10% при замене окон; 5...15% при утеплении чердачного перекрытия или крыши);
- регулирование температуры в помещении, так как повышение температуры на 1°C по отношению к нормативной приводит к увеличе-

нию расхода теплоты на отопление на 5%). Перетопы – одна из основных причин повышенного расхода теплоты, при этом также не соблюдаются установленные санитарно-гигиенические нормативы, по которым температура воздуха в ДОУ не может превышать 22...25°C.

Таким образом, на основании анализа были рекомендованы и проведены наиболее перспективные в области теплосбережения мероприятия, они представлены ниже в табл. 3.16.

Таблица 3.15

Фактический эффект от энергосберегающих мероприятий

Период	Наименование мероприятия	Эффект
2012-2013 г.	Замена оконных блоков (ДОУ № 41,54,57,64,68)	Повышение энергоэффективности в среднем на 13%
	Ремонт кровли (ДОУ № 15, 36, 39, 40, 47, 54, 63, 66, 67, 69, 76, 84, 85, 86, 87, 52, 58, 60)	Повышение энергоэффективности в среднем на 7%
	Ремонт систем вентиляции (ДОУ №13,36,40,46,71)	Повышение энергоэффективности в среднем на 11%
2013-2014 г.	Замена оконных блоков (ДОУ № 12, 41, 45, 51, 58, 64, 68, 74, 80)	Повышение энергоэффективности в среднем на 5%
	Ремонт кровли (ДОУ № 6, 39, 41, 51, 58, 59, 64, 65, 66, 67, 85, 87)	Повышение энергоэффективности в среднем на 4%
	Ремонт систем вентиляции (ДОУ № 3, 12, 33, 40, 60)	Повышение энергоэффективности в среднем на 2%
	Ремонт внутренних инженерных систем (ДОУ № 5, 59, 72, 74, 75, 85, 89)	Повышение энергоэффективности в среднем на 9%

Таблица 3.16

Оценка эффективности мероприятий

№ ДОУ	Установка индивидуального теплового пункта				Утепление фасада				Замена стеклопакетов			
	Затраты, т.руб.	Экономия (в год)		Срок окупаемости, лет	Затраты, т.руб.	Экономия (в год)		Срок окупаемости, лет	Затраты, т.руб.	Экономия (в год)		Срок окупаемости, лет
		Гкал	т.руб.			Гкал	т.руб.			Гкал	т.руб.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	200	153	214,3	0,9	1482	115	160,7	9,2	2930	77	107,1	27,4
2	200	62	86,7	2,3	1093	46	65	16,8	1593	31	43,4	36,7
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	200	46	64,1	3,1	989	34	48,1	20,6	1303	23	32	40,7
6	200	86	120	1,7	1303	64	90	14,5	2264	43	60	37,7
7	200	21	29,3	6,8	1001	16	22	45,6	1335	10	14,7	91,2
8	200	64	89,7	2,2	1306	48	67,3	19,4	2273	32	44,9	50,7
10	200	69	96,3	2,1	1281	52	72,3	17,7	2186	34	48,2	45,4

Продолжение табл. 3.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
11	200	72	101,2	2	911	54	75,9	12	1106	36	50,6	21,9
12	200	114	158,9	1,3	1347	85	119,2	11,3	2418	57	79,5	30,4
13	200	43	60,1	3,3	989	32	45,1	21,9	1304	21	30,1	43,4
14	200	128	179,1	1,1	2609	96	134,3	19,4	9075	64	89,6	101,3
15	200	110	154,4	1,3	1338	83	115,8	11,6	2389	55	77,2	30,9
16	200	70	98,4	2	914	53	73,8	12,4	1113	35	49,2	22,6
17	200	69	96,3	2,1	1189	52	72,2	16,5	1884	34	48,1	39,1
18	200	107	149,1	1,3	2188	80	111,9	19,6	6385	53	74,6	85,6
23	200	105	147,1	1,4	1268	79	110,3	11,5	2145	53	73,6	29,2
25	200	43	60,8	3,3	975	33	45,6	21,4	1268	22	30,4	41,7
27	200	71	98,9	2	944	53	74,2	12,7	1187	35	49,5	24
28	200	63	88,4	2,3	930	47	66,3	14	1153	32	44,2	26,1
33	200	107	149,5	1,3	1321	80	112,1	11,8	2325	53	74,7	31,1
34	200	55	76,9	2,6	1000	41	57,6	17,4	1333	27	38,4	34,7
35	200	167	234,2	0,9	1521	125	175,7	8,7	3085	84	117,1	26,3
36	200	68	95,2	2,1	1194	51	71,4	16,7	1901	34	47,6	40
39	200	86	120,2	1,7	1088	64	90,1	12,1	1578	43	60,1	26,3
40	200	108	150,7	1,3	1608	81	113,1	14,2	3449	54	75,4	45,8
41	200	75	104,5	1,9	1121	56	78,4	14,3	1677	37	52,3	32,1
42	200	31	43,2	4,6	900	23	32,4	27,8	1081	15	21,6	50,1
43	200	57	79,9	2,5	924	43	59,9	15,4	1137	29	39,9	28,5
45	200	42	59,4	3,4	1014	32	44,6	22,8	1370	21	29,7	46,1
46	200	103	144,9	1,4	1339	78	108,7	12,3	2391	52	72,4	33
47	200	108	151,4	1,3	1341	81	113,5	11,8	2399	54	75,7	31,7
48	200	93	129,7	1,5	1577	69	97,3	16,2	3315	46	64,8	51,1
51	200	46	64,2	3,1	980	34	48,1	20,4	1281	23	32,1	39,9
52	200	120	168,4	1,2	1654	90	126,3	13,1	3647	60	84,2	43,3
53	200	100	140	1,4	1727	75	105	16,4	3974	50	70	56,8
54	200	51	71,7	2,8	1124	38	53,8	20,9	1683	26	35,9	47
56	200	88	123	1,6	1737	66	92,2	18,8	4025	44	61,5	65,5
57	200	110	154,2	1,3	1737	83	115,7	15	4025	55	77,1	52,2
58	200	111	155,3	1,3	1698	83	116,5	14,6	3843	55	77,6	49,5
59	200	91	126,8	1,6	1739	68	95,1	18,3	4030	45	63,4	63,6
60	200	112	157,4	1,3	1748	84	118	14,8	4074	56	78,7	51,8
63	200	60	83,6	2,4	1212	45	62,7	19,3	1959	30	41,8	46,9
64	200	75	105	1,9	1629	56	78,7	20,7	3540	37	52,5	67,5
65	200	94	131,6	1,5	1726	70	98,7	17,5	3972	47	65,8	60,4
66	200	157	220	0,9	1736	118	165	10,5	4017	79	110	36,5
67	200	149	208,1	1	1752	111	156,1	11,2	4091	74	104,1	39,3
68	200	123	172,1	1,2	1719	92	129	13,3	3939	61	86	45,8
69	200	155	217,2	0,9	1796	116	162,9	11	4303	78	108,6	39,6
70	200	112	156,6	1,3	1782	84	117,4	15,2	4236	56	78,3	54,1
71	200	141	196,8	1	1758	105	147,6	11,9	4121	70	98,4	41,9
72	200	115	160,9	1,2	1844	86	120,7	15,3	4532	57	80,4	56,3
74	200	135	189,4	1,1	1795	101	142,1	12,6	4294	68	94,7	45,3
75	200	168	235,5	0,9	1849	126	176,6	10,5	4560	84	117,8	38,7
76	200	136	190	1,1	1873	102	142,5	13,1	4676	68	95	49,2

Окончание табл. 3.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
78	200	156	218,1	0,9	1570	117	163,6	9,6	3285	78	109,1	30,1
79	200	61	85,5	2,3	1077	46	64,1	16,8	1548	31	42,8	36,2
80	200	69	96,1	2,1	887	51	72,1	12,3	1048	34	48,1	21,8
81	200	83	115,9	1,7	1101	62	86,9	12,7	1617	41	58	27,9
82	200	150	209,9	1	1490	112	157,5	9,5	2962	75	105	28,2
84	200	144	201,9	1	1527	108	151,5	10,1	3109	72	101	30,8
85	200	130	182,2	1,1	1526	98	136,7	11,2	3105	65	91,1	34,1
86	200	125	174,8	1,1	1512	94	131,1	11,5	3046	62	87,4	34,9
87	200	90	126	1,6	1292	67	94,5	13,7	2224	45	63	35,3
88	200	177	247,4	0,8	1518	133	185,6	8,2	3070	88	123,7	24,8
89	200	119	167,2	1,2	1525	90	125,4	12,2	3102	60	83,6	37,1
Всего	13000	6349	8886	–	91645	4757	6665	–	183290	3170	4443	–
Среднее	200	97,7	136,7	1,5	1410	73,2	102,5	13,8	2820	48,8	68,4	41,3
Минимальное	200	21	29,3	0,8	887	16	22	8,2	1048	10	14,7	21,8
Максимальное	200	177	247,4	6,8	2609	133	185,6	45,6	9075	88	123,7	101,3

Наиболее перспективными дошкольными учреждениями для реализации мероприятий по повышению энергоэффективности представлены в таблице 3.17.

Таблица 3.17

Рекомендуемые энергосберегающие мероприятия

Наименование	Экономия, Гкал	Экономия, т. руб./год	Затраты, т. руб.	Срок окупаемости, лет
1. Установка ИТП				
ДОУ №1	153,05	214,27	200	0,93
ДОУ №88	176,73	247,43	200	0,81
ДОУ №78	155,81	218,13	200	0,92
ДОУ №66	157,16	220,03	200	0,91
ДОУ №67	148,64	208,09	200	0,96
2. Утепление фасада				
ДОУ №2	46,44	65,02	1092,88	16,81
ДОУ №8	48,05	67,27	1305,78	19,41
ДОУ №46	77,62	108,66	1339,22	12,32
ДОУ №47	81,09	113,53	1341,31	11,81
ДОУ №48	69,47	97,26	1576,76	16,21
ДОУ №16	125,47	175,66	1521,15	8,66
ДОУ №1	114,79	160,70	1482,47	9,22
ДОУ №3	132,55	185,57	1517,51	8,18
ДОУ №25	112,47	157,45	1490,40	9,47
ДОУ №51	116,85	163,60	1569,72	9,60
Итого				
По рекомендуемым мероприятиям	1 716,19	2 402,67	15 237,2	8,9
По всем ДОУ	14 276	19 993	287 935	14,4

Проведенный анализ показывает, что реализация вышеприведенных мероприятий (табл. 3.17) на базе отобранных детских садов является наиболее перспективной для достижения наибольшей экономии тепловой энергии и повышения энергетической эффективности, так как по мероприятиям по всем ДООУ на 1 руб. вложенных средств эффект от энергосбережения составляет 0,07 руб. в год, а для выбранных мероприятий – 0,16 руб. Но при выборе объектов, кроме эффекта от энергосбережения, также необходимо учитывать их техническое состояние и износ здания.

3.4. ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ РАЗНОГО ОБЪЁМА

Эффект от энергосберегающих мероприятий, как правило, индивидуальный для каждого объекта [33, 42, 79, 122, 128–130]. Целью работы является оценка одинаковых мероприятий для зданий разного объёма. В качестве примера рассмотрены два жилых дома – панельное девятиэтажное трехподъездное здание и индивидуальный жилой дом (табл. 3.18). В обоих зданиях несущие стены выполнены на основе керамзитобетона.

Таблица 3.18

Характеристики анализируемых жилых зданий

Тип	Многоквартирный жилой дом	Индивидуальный жилой дом
		
Адрес	г. Белгород, пр-т Ватутина, д. 7	Белгородская область, пос. Новосадовый
Площадь, м ²	5752	104
Отапливаемый объем, м ³	14380	260
Количество этажей	9	1 (с мансардой)
Год постройки	1977	2012
Число квартир	104	1
Показатель компактности здания	0,303	1,161
Несущая стена	Керамзитобетонные панели, толщина 400 мм	Керамзитобетонные блоки, толщина 200 мм

Анализ здания основан на выполнении теплотехнического расчёта по нормативным методикам методике [23]. При расчёте определялись тепловые потери через элементы ограждающих конструкций и расход теплоты на отопление. Структура потерь в зданиях без утепления представлен на рис. 3.16.



Рис. 3.16. Структура потерь теплоты в здании

Для каждого здания был проведён расчёт утепления при различной толщине теплоизоляции. В качестве утеплителя использовались минераловатные плиты Izovol плотностью 100 кг/м³. Принимался монтаж утеплителя на несущую стену с финишной отделкой наружного слоя штукатуркой. Результаты расчётов представлены в табл. 3.19 и 3.20 на рис. 3.17. По результатам расчёта можно сделать выводы, что эффективность утепления зависит от коэффициента компактности зданий. Для небольших зданий с высоким коэффициентом компактности утепление с одним и тем же слоем теплоизоляции даёт относительную экономию более чем в два раза большую, чем для крупных зданий, с низким коэффициентом компактности. Так, при толщине утеплителя 100 мм расход тепловой энергии на отопления для многоэтажного здания снижается на 21,2%, а для индивидуального здания – на 48%.

Таблица 3.19

**Технико-экономические показатели утепления
(многоквартирный жилой дом)**

Толщина слоя утеплителя, мм	Расчётное сопротивление теплопередаче R, м ² ·°C/Вт (при норме 2,86)	Тепловая энергия на отопление за отопительный период		Стоимость утепления, тыс. руб.	Годовая экономия тепловой энергии, тыс. руб.	Срок окупаемости, лет
		Гкал	%			
0	1,13	572,85	100	–	–	–
20	1,61	519,79	90,7	3044	77,7	39,2
40	2,09	490,94	85,7	3278	119,9	27,3
60	2,56	472,82	82,5	3395	146,4	23,2
80	3,04	460,38	80,4	3512	164,6	21,3
100	3,51	451,31	78,8	3571	177,9	20,1
120	3,99	444,40	77,6	3629	188,0	19,3
140	4,47	438,96	76,6	3746	195,9	19,1

**Технико-экономические показатели утепления
(индивидуальный жилой дом)**

Толщина слоя утеплителя, мм	Расчётное сопротивление теплопередаче R, м ² ·°C/Вт (при норме 2,86)	Тепловая энергия на отопление за отопительный период		Стоимость утепления, тыс. руб.	Годовая экономия тепловой энергии, тыс. руб.	Срок окупаемости, лет
		Гкал	%			
0	0,65	27,70	100,0	–	–	–
20	1,12	20,52	74,1	167	4,4	37,5
40	1,60	17,62	63,6	179	6,2	28,8
60	2,07	16,05	58,0	186	7,2	25,8
80	2,55	15,07	54,4	192	7,8	24,6
100	3,03	14,40	52,0	195	8,2	23,7
120	3,50	13,91	50,2	199	8,5	23,3
140	3,98	13,53	48,9	205	8,8	23,4

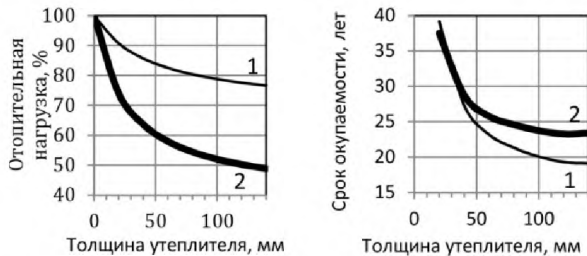


Рис. 3.17. Снижение отопительной нагрузки и изменение срока окупаемости утепления при различной толщине утеплителя:

1 – многоквартирный жилой дом; 2 – индивидуальный жилой дом

Если бы у зданий была одинаковая толщина стен, то разность в снижении относительного потребления теплоты была бы ниже – около 1,5.

При малой толщине изоляции срок окупаемости утепления в обоих случаях крайне высокий. Для обоих зданий наблюдается значение толщины изоляции (100...120 мм), при превышении которой отопительная нагрузка практически не снижается. Утепление выше этого значения приведёт к неоправданным затратам. Таким образом:

- подбор оптимальной величины утеплителя для малоэтажных зданий более важен, чем для высотных, так как выбор неоптимальной толщины может привести к значительно более низкому эффекту от утепления. Для высотных зданий ошибка в определении толщины утеплителя приведёт к небольшому изменению затрат на отопление;

- дефекты при монтаже утеплителя, приводящие к снижению теплозащиты, для высотных зданий вызовут меньшие относительные потери теплоты, чем для малоэтажных.

3.5. ОБСЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ

3.5.1. Жилой дом (г. Белгород)*

Жилое энергосберегающее здание представляет отдельно стоящее здание с тремя надземными этажами с подвалом, в котором установлены узлы учёта электро- и теплоэнергии, а также установлено отопительно-вентиляционное оборудование. Высота подвала 2,4 м.



Рис. 3.18. Энергосберегающее здание (многоквартирный жилой дом)

Согласно планам строителей «... по сравнению с аналогичными домами, где установлена система газового отопления, здесь отопление обойдется владельцам жилья в 2 раза дешевле. Отмечу, что система разработана и спроектирована белгородскими инженерами» (<https://www.belnovosti.ru/obshestvo/zhkh/16542.html#>).

Проектом приняты теплоэффективные наружные стены из газосиликатных блоков с утеплителем с наружной стороны и устройством вентиляционного фасада. Окна – металлопластиковые, тройное изолирующее оконное стекло, аргоновое наполнение в обеих камерах. Расположение окон с ориентацией здания по сторонам света выполнены таким образом, чтобы получить максимально возможную дополнительную инсоляцию. На каждую квартиру предусмотрен отдельный тепловой насос с проектным значением коэффициента преобразования теплоты 3. Расчётные параметры теплоносителя 35/30°C. В качестве низкопотенциального источника тепла применяется грунт, теплообменники приняты вертикальные двойные U-образные, скважины глубиной 50 м. Наружный контур теплонасосной системы заполняется 15% раствором пропиленгликоля, его параметры 0/+5 °С.

В табл. 3.21 представлены основные характеристики энергосберегающего здания. Проектом предусматривается поквартирная система отопления. В качестве энергосберегающей системой тепло и холодоснабжения принята теплонасосная система (рис. 3.19).

* Работа выполнена совместно с О.А. Рязанцевым, П.Н. Тарасюком, Ю.А. Кошlichem, Ю.А. Доценко, Д.Г. Бухановым

Характеристики здания

№ поз.	Наименование	Ед. изм.	Количество
1	Этажность	–	3
2	Количество секций (подъездов)	шт.	2
3	Количество квартир в том числе:	кв.	18
	однокомнатных	кв.	6
	двухкомнатных	кв.	12
4	Общий строительный объем, в т.:	м ³	
	надземной части	м ³	5 603
	подземной части	м ³	1 284
5	Площадь застройки	м ²	461,83
6	Площадь жилого дома	м ²	1 180,3
7	Отапливаемый объем	м ³	3 214



Рис. 3.19. Тепловые насосы в энергоэффективном здании

В качестве резервного источника тепла в каждой квартире применяется двухконтурный газовый настенный котёл *MAIN Four 24* фирмы *BAXI*. Система отопления принята с помощью вертикальных фанкойлов *MFU* в корпусе фирмы *McQuay*. Прокладка трубопроводов по всем этажам предусмотрена в конструкции пола. Отопление лестничной клетки, а также помещений в подвале (опорного пункта милиции, магазина) выполнено электроконвекторами.

Вентиляция жилых помещений запроектирована с приточно-вытяжной установкой *VR250 EH/V* фирмы *Systemair* с рекуператором тепла роторного типа.

Определение фактических теплозащитных свойств ограждающих конструкций

Конструкция основной стены цоколя и их расчетное термическое сопротивление представлены в табл. 3.22.

Таблица 3.22

Сопrotивление теплопередаче ограждающих конструкций

Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Цоколь		Основная стена	
		Толщина, м	Сопrotивление теплопередаче, м ² ·К/Вт	Толщина, м	Сопrotивление теплопередаче, м ² ·К/Вт
Теплоотдача для внутренних стен	–	–	0,11	–	0,11
Раствор цементно-песчаный (внутренняя штукатурка)	0,76	0,02	0,03	0,02	0,03
Газосиликатные блоки	0,12	0,4	3,33	0,4	3,33
Утеплитель Изовол Ф-150	0,06	0,1	1,67	0,1	1,67
Утеплитель Изовол Ст-50	0,056	–	–	0,05	0,89
Утеплитель Пеноплэкс 35	0,031	0,03	0,97	–	–
Раствор цементно-песчаный (наружная штукатурка)	0,76	0,02	0,03	–	–
Воздушная прослойка	–	–	–	0,1	0,36
Полимерные фасадные панели	0,35	–	–	0,01	0,03
Теплоотдача от наружных стен	–	–	0,04	–	0,04
Сумма	–	0,57	6,17	0,68	6,46

Измерения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций производились прибором ИТП-МГ4.03/10 «Поток». Расчет сопротивления теплопередаче R_0 для характерных реперных и дефектных зон выполнялся в соответствии с ГОСТ Р 56623-2015, полученные значения сопротивления приведены в табл. 3.23.

Таблица 3.23

Теплозащитные свойства ограждающих конструкций здания

Ограждающая конструкция	Нормируемое значение (СП 50.13330.2024)	Проектное значение	Фактическое значение	Превышение проектного (фактического) значения над нормируемым
Основная стена	2,864	6,46	4,87	225% (170%)
Цокольная стена	2,864	6,17	4,32	215% (151%)

Как видно из результатов измерений фактическое термическое сопротивление оказалось на 25-30% ниже проектного, что вызвано завышением теплозащитных свойств материалов. Заявляемый производителем коэффициент теплопроводности газосиликатных блоков 0,12 Вт/(м·К). Это значение в 1,8 раза ниже, чем приведенное в СП

50.13330.2012/2024 «Тепловая защита зданий», которое для газо- и пенобетон на известняковом вяжущем плотностью 500 кг/м³ составляет 0,22 Вт/(м·К). Если при расчете термического сопротивления использовать значение коэффициента теплопроводности из свода правил, его значения составят 4,66 для цоколя и 4,94 для основной стены, что уже незначительно отличается от фактических значений (отклонения 7% и 1%, что сопоставимо с погрешностью измерений).

Оценка энергетической эффективности здания

Обследование проводилось в начале первого отопительного сезона после запуска приборов учета электроэнергии, потребляемой ТНУ (теплонасосными установками). При анализе использованы данные о работе тепловых насосов за период с 26.12.2011 по 25.01.2012 г. (рис. 3.20) Энергетическая эффективность теплового насоса μ характеризуется коэффициентом преобразования энергии $COP = Q_T/Q_э$, где Q_T – произведённая теплота; $Q_э$ – мощность в тепловом эквиваленте, затраченная тепловым насосом.

По данным потребления был определён фактический коэффициент преобразования энергии COP (рис. 3.20, табл. 3.24). По данным потребления средний показатель COP теплового насоса, установленного в данном здании, составляет $15\ 671,5 / 7\ 072 = 2,23$, что ниже проектного значения.

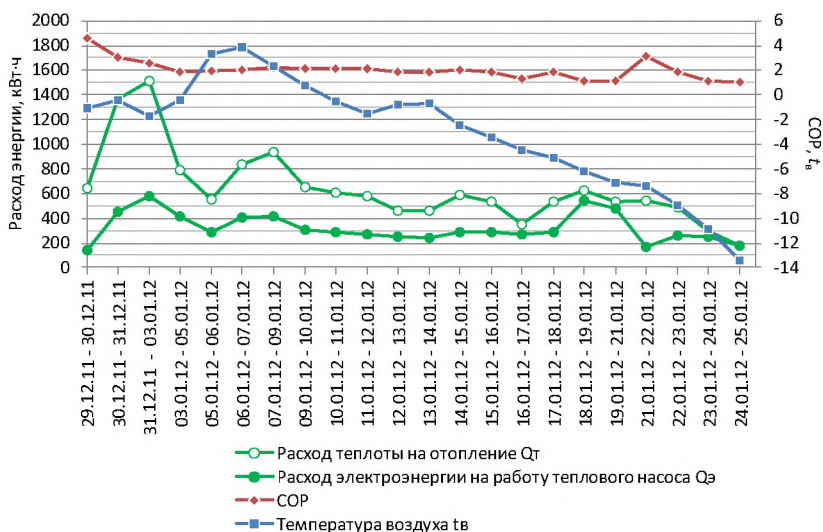


Рис. 3.20. Характеристики потребления энергии на отопление

По данным фактического энергопотребления и среднесуточной температуре наружного воздуха определен расчетный годовой расход энергии на отопление и удельная тепловая характеристика здания (табл. 3.24).

Были определены два значения годового расхода энергии:

- по расходу теплоты на отопление Q_T (определяемого по прибору учёта теплоты, установленного после тепловых насосов) – эта величина характеризует расход тепловой энергии на отопление, по которому определяется класс энергетической эффективности здания;

- по затратам электроэнергии, потребляемой тепловыми насосами $Q_{э}$, она меньше величины Q_T на величину COP.

Таблица 3.24

Расчёт расхода энергии на отопление

Период	Средняя температура за период, °С	Количество суток	ГСОП, °С-сут.	Расход кВт·ч	
				тепловой энергии Q_n	электроэнергии на работу тепловых насосов
26.12.2011-27.12.2011	-0,60	1	20,6	524,5	0
27.12.2011-28.12.2011	3,24	1	16,8	564,5	0
28.12.2011-29.12.2011	1,01	1	19,0	534,5	0
29.12.2011-30.12.2011	-1,06	1	21,1	646	140
30.12.2011-31.12.2011	-0,42	1	20,4	1364	450
31.12.2011-03.01.2012	-1,68	3	65,1	1511,5	580
03.01.2012-05.01.2012	-0,46	2	40,9	787,5	416
05.01.2012-06.01.2012	3,32	1	16,7	553,5	291
06.01.2012-07.01.2012	3,90	1	16,1	834	402
07.01.2012-09.01.2012	2,34	2	35,3	936	419
09.01.2012-10.01.2012	0,76	1	19,2	654,5	306
10.01.2012-11.01.2012	-0,52	1	20,5	610,5	286
11.01.2012-12.01.2012	-1,49	1	21,5	577,5	270
12.01.2012-13.01.2012	-0,81	1	20,8	460,5	254
13.01.2012-14.01.2012	-0,71	1	20,7	458,5	246
14.01.2012-15.01.2012	-2,43	1	22,4	584,5	288
15.01.2012-16.01.2012	-3,49	1	23,5	530	283
16.01.2012-17.01.2012	-4,42	1	24,4	347,5	267
17.01.2012-18.01.2012	-5,08	1	25,1	534,5	289
18.01.2012-19.01.2012	-6,16	1	26,2	628	541
19.01.2012-21.01.2012	-7,07	2	54,1	531,5	481
21.01.2012-22.01.2012	-7,34	1	27,3	542	173
22.01.2012-23.01.2012	-8,91	1	28,9	490	260
23.01.2012-24.01.2012	-10,81	1	30,8	292	254
24.01.2012-25.01.2012	-13,46	1	33,5	174	176
Среднее/всего	-2,36	30	671,0	15671,5	7072
Расчетные показатели					
Удельная тепловая характеристика, Вт/(м³·К)				0,303	-
Расчетный расход энергии за отопительный период за отопительный период (при ГСОП = 4095,3 °С-сут.)				кВт·ч	95 662,2
				кВт·ч/м²	81,1
				Гкал	82,25
				43 169,0	36,6
					-

Определение класса энергетической эффективности здания приведено в табл. 3.25.

Как видно из табл. 3.25, класс энергоэффективности здания значительно ниже проектного. Это связано с несоответствием фактических параметров проектным и высокими потерями теплоты с вентиляцией, которая значительно выше санитарных норм, принимаемых при проектировании. Для сравнения в табл. 3.26 приведено сравнение затрат для разных вариантов отопления для рассматриваемого здания и для домов различных типов обычного и низкого уровня энергоэффективности.

Из данных сравнения можно заключить, что затраты тепловой энергии на отопление в обследованном энергоэффективном доме ниже, чем в домах обычной и пониженной энергетической эффективности. Но, тем не менее, использование в системе отопления вместо тепловых насосов индивидуальных газовых котлов привело бы к очень значительной экономии расходов. Фактически в энергоэффективном доме оплата за отопление ненамного ниже затрат обычного дома, подключенного к централизованному отоплению, и выше чем у самого неэнергоэффективного дома с индивидуальным или местным газовым отоплением.

Таблица 3.25

Расчёт удельной отопительной характеристики

Наименование	Нормируемая удельная характеристика	Удельный годовой расход тепловой энергии на отопление; удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий	Величина отклонения значения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня, %	Класс энергоэффективности здания (пр. 399)
Проектное значение	Приказ Минстроя России 399 от 06.06.2016 г.: 125 кВт·ч/м ² ; СП 50.1330.2024: 0,372 Вт/(м ³ ·С)	23 кВт·ч/м ² ; 0,086 Вт/(м ³ ·К)*	-82%	«А+++» – высочайший
Расчётное значение при фактических характеристиках ограждающих конструкций		40,0 кВт·ч/м ² ; 0,149 Вт/(м ³ ·К)	-68%	«А+++» – высочайший
Фактическое значение (затраты тепловой энергии Q _n)		81,1 кВт·ч/м ² ; 0,303 Вт/(м ³ ·К)	-35%	«В» – высокий

* Пересчитано по проектному значению 11 кДж/(м³·°С·сут)

Таблица 3.26

**Эксплуатационные расходы на теплоснабжение дома
площадью 1180 м² (в ценах 2023 г.)**

Наименование	Вид и единица энергоресурса	Стоимость единицы энергоресурса, руб.	Расход энергоресурса в год	Годовые затраты, тыс. руб.
Энергоэффективный дом (фактическое потребление)	Электроэнергия (тепловой насос, $\mu = 2,216$), кВт·ч	4,50	43 169 кВт·ч	194,3
	Электроэнергия (электрочел или электроконвекторы), кВт·ч	4,50	95 560 кВт·ч	430,0
	Природный газ (индивидуальное отопление), м ³	6,93	11 575 м ³	80,2
	Тепловая энергия (центральное отопление), Гкал	2048,27	82,25 Гкал	168,5
Дом с классом энергетической эффективности D – нормальный	Природный газ (индивидуальное отопление), м ³	6,93	17 873 м ³	123,9
	Тепловая энергия (центральное отопление), Гкал	2048,27	127 Гкал	260,1
Дом с классом энергетической эффективности E – пониженный	Природный газ (индивидуальное отопление), м ³	6,93	21 488 м ³	148,6
	Тепловая энергия (центральное отопление), Гкал	2048,27	152,4 Гкал	312,2
Дом с классом энергетической эффективности G – низкий	Природный газ (индивидуальное отопление), м ³	6,93	26 810 м ³	185,8
	Тепловая энергия (центральное отопление), Гкал	2048,27	190,5 Гкал	390,2

Примечание:

- Расход тепловой энергии для домов классов D, E, G определялся исходя из базового уровня потребления 125 кВт·ч/м²/год и отклонений от него 0%, 20%, 50% соответственно.
- Для расчета расхода природного газа использовалась теплота сгорания 35 МДж/м³ и КПД котла 85%.

Это обусловлено соотношением стоимости природного газа и электрической энергии. Стоимость единицы энергии в 2023 г. в г. Белгороде для населения составляет:

- тепловая энергия 490 руб./ГДж;
- электрическая энергия 1 250 руб./ГДж (тариф для населения, использующих электроэнергию для отопления), или 1 785 руб./ГДж (обычный тариф);
- природный газ 233 руб./Гкал (с учетом КПД газового котла / котельной).

Даже при экономии электроэнергии в тепловом насосе в 3 раза стоимость 1 ГДж теплоты, вырабатываемой тепловым насосом для отопления, составит 420 руб./ГДж, и останется в два раза выше, чем для газового отопления. Поэтому тепловые насосы выгодно применять при отсутствии возможности использования газового отопления для замены электроотопления или централизованного теплоснабжения со стоимостью 1 Гкал от 4000...5000 руб. При этом из-за высокой стоимости тепловых насосов и их неэффективной работе при отоплении в условиях низкой температуры наружного воздуха необходимо проводить технико-экономическое обоснование целесообразности их установки с использованием реального режима работы в условиях изменения температуры наружного воздуха.

Учет реальных условий работ тепловых насосов важен, так как их эффективность зависит от разности температур между горячим и холодным теплоносителями, при увеличении этой разности (получения более горячей воды) коэффициент трансформации энергии COP падает. Обычно производители указывают COP при небольшой разнице, например W10/W35, или, реже, W0/W35 или W10/W45. Символы W показывают, что теплоносителями является вода (так же используются символы A – воздух и B – рассол или незамерзающая смесь, первая цифра – это температура холодного теплоносителя на входе, вторая – температура горячего теплоносителя на выходе). На рис. 3.21 показаны изменение значения COP (отношения выработанной тепловой энергии к затраченной на работу теплового насоса электроэнергии) для двух распространенных фреонов, используемых в ТНУ. Например, если в нормируемых стандартом EN255/EN14511 условиях COP равен 7, то при работе в условиях W0/W45 он будет уже меньше трех.

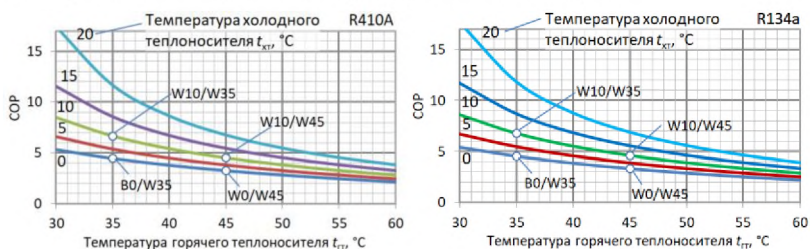


Рис. 3.21. Изменение COP тепловых насосов в зависимости от температур теплоносителей

Еще одним фактором является выбор условий, при котором будет включаться пиковый электронагреватель, когда при низкой температуре воздуха мощности теплового насоса будет не хватать и потребуются прямой электронагрев, что значительно увеличит

потребление электроэнергии. Поэтому задачей расчета теплового насоса является определение режим его работы в реальных климатических условиях и выбрать, какую часть нагрузки будет обеспечивать пиковый электронагреватель (при увеличении этой доли стоимость ТНУ снижается, но увеличиваются затраты на отопление).

Из данных сравнения можно заключить, что затраты на отопление в обследованном энергоэффективном доме ниже, чем в домах обычной и пониженной энергоэффективности, но тем не менее использование в системе отопления ТНУ приводит к крайне завышенным затратам на отопление.

Оценка эффективности конструкции здания

Для обследованного дома было произведено сравнение, как бы изменились капитальные затраты на его возведение и расход на отопление здания при снижении его энергетической эффективности [41, 47].

Приблизительная стоимость жилого здания составляет 30 млн. руб. Оценка стоимости ограждающих конструкций обследованного здания (коробки здания без стоимости фундамента, отделки и инженерных систем) составляет 5051,49 тыс. руб. (табл. 3.27). При уменьшении теплозащитных свойств ограждающих конструкций стоимость здания снизится на 698,53 тыс. руб. (или 0,6 тыс. руб./м²).

Таблица 3.27

Стоимость ограждающих конструкций здания (цены 2012 г.)

Наименование	Фактические значения		Альтернативный вариант, менее энергоэффективный	
	Толщина, м	Стоимость, тыс. руб.	Толщина, м	Стоимость, тыс. руб.
Стены				
Газосиликатные блоки «Аэробел»	0,500	1877,44	0,400	1501,95
Izovol марки Ст 75	0,150	528	0,100	352,02
Штукатурка	0,020	322,69	0,020	322,69
Всего	0,67	2552,15	0,52	2176,70
Пол по грунту				
Керамогранит	0,010	705,86	0,010	705,86
Раствор цементно-песчаный	0,030	18,00	0,030	18,00
Бетон на гравии или щебне из природного камня	0,150	263,22	0,100	175,48
Песок для строительных работ	0,050	13,38	0,050	13,38
Всего	0,24	1000,46	0,19	912,72
Чердачное перекрытие				
Железобетон	0,250	653,58	0,250	653,58
Плиты минераловатные	0,290	758,15	0,200	522,86
Раствор цементно-песчаный	0,050	87,14	0,050	87,14
Всего	0,590	1498,88	0,500	1263,6
Итого	-	5051,49	-	4352,96

Таким образом, при снижении требований к энергоэффективности потребность в электрической энергии на отопление здания за отопительный период повысится с 134,26 тыс. кВт·ч до 146,23 тыс. кВт·ч, то есть на 8,9 %, однако здание все равно будет иметь класс энергетической эффективности «А – очень высокий». При этом годовые затраты на оплату энергоресурсов увеличатся на величину 21,7 тыс. руб. в год при отоплении тепловыми насосами и около 5,4 тыс. руб. при индивидуальном газовом отоплении (в ценах 2012 г.), что составит соответственно 3,1% и 0,8% от величины уменьшения стоимости здания. Таким образом, из приведённого примера видно, что значительное завышение требований к энергоэффективности зданий не является экономически обоснованным, так как при существенном возрастании стоимости здания снижение расходов энергоресурсов небольшое.

Выводы

1. Расчётный удельный расход тепловой энергии на отопление здания, определённый по проектным показателям, составил 23 кВт·ч/м². Расчётный удельный расход тепловой энергии на отопление здания, определённый с использованием данных инструментальных замеров толщины стен, составил 40,0 кВт·ч/м². Фактический удельный расход, определённый по результатам работы системы отопления в течение месяца составил 81,1 кВт·ч/м². Таким образом, класс энергетической эффективности, определённый по проектным показателям величины теплоты, теряемой зданием, и характеризующий конструкцию здания, «А++ – очень высокий», фактически – «В» – высокий.

2. Инструментальные замеры показали, что фактические теплозащитные характеристики стен ниже проектных, возможно.

3. При отоплении с использованием тепловых насосов, несмотря на их высокую энергоэффективность, финансовые затраты в 4 раза выше, чем при отоплении газовым котлом, что вызвано несбалансированностью цен на энергоносители.

4. Значительное завышение требований к энергоэффективности зданий не является экономически обоснованным, так как при существенном возрастании стоимости здания снижение расходов энергоресурсов небольшое.

3.5.2. Административное здание (г. Белгород)

Административное энергосберегающее здание находится на территории промышленного парка «Северный» (рис. 3.22). Это отдельно стоящее здание с двумя надземными этажами без подвала общей площадью 549,33 м². Высота первого и второго этажей 3,9 м и 3,6 м соответственно. Здание «имеет очертание листа и таким образом символизирует береж-

ное отношение к природе, разумное потребление природных ресурсов. Обтекаемая форма планов здания обеспечивает минимизацию площади наружных стен» (согласно проекту здания).

Проектом приняты теплоэффективные наружные стены из блоков с утеплителем от наружной грани и облицовкой панелями «под дерево». Фундамент – железобетонные блоки на песчаной подушке и утеплителем с гидроизоляцией. Кровля здания совмещённая, плоская, с применением в качестве утеплителя экструдированного пенополистирола, с внутренним водостоком. Сопротивление теплопередаче наружных стен по проекту не менее $7 \text{ (м}^2\cdot\text{К)}/\text{Вт}$.

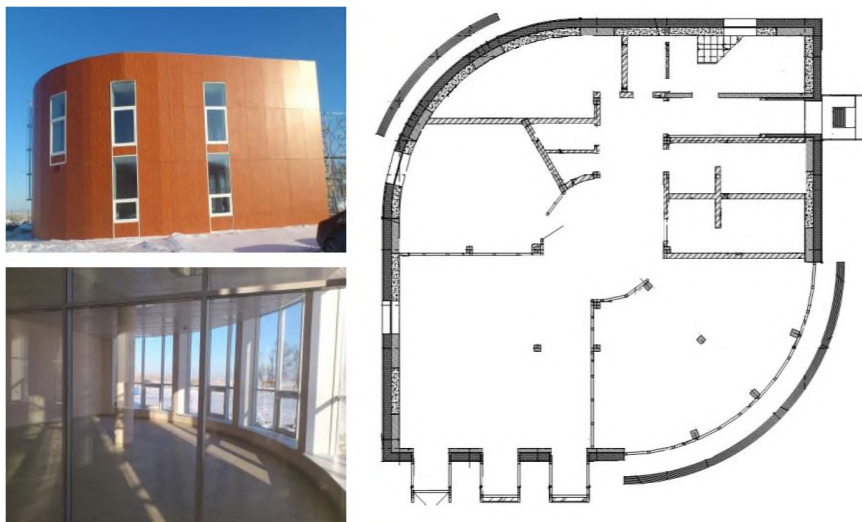


Рис. 3.22. Энергосберегающее административное здание

Фасадная система здания включает витражное остекление оконных проёмов. Наружные витражи и окна – индивидуального исполнения, металлопластиковые, тройное изолирующее оконное стекло с аргоновым наполнением в обеих камерах с сопротивлением теплопередаче не менее $1,2 \text{ (м}^2\cdot\text{К)}/\text{Вт}$. Расположение окон с ориентацией здания по сторонам света выполнены таким образом, чтобы получить максимально возможный дополнительный эффект от инсоляции.

В системе отопления здания установлен воздушно-водяной тепловой насос Viessmann Vitocal 350. Он характеризуется температурой подачи теплоносителя до $60\text{--}65^\circ\text{C}$ и температура горячего водоснабжения до 55°C . Тепловой насос работает при температурах наружного воздуха от -20 до 35°C . Здания отапливается только от системы «Тёплый пол» с трубами диаметром 18 мм (рис. 3.23).

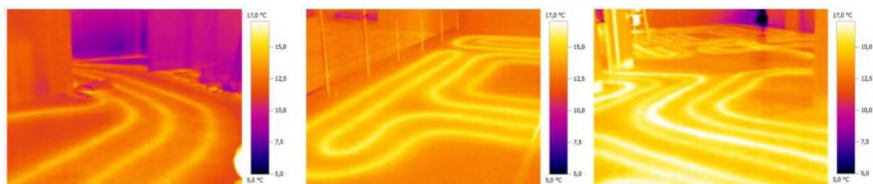


Рис. 3.23. Термограмма тёплого пола

При проектировании здания были приняты значительно завышенные требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций (табл. 3.28). Замеры фактического сопротивления теплопередаче стен (см. разд. 2.1.2) показали, что их реальные теплозащитные свойства значительно ниже проектных. При этом если в расчётах использовать не данные о теплопроводности газосиликатных блоков и минераловатной изоляции, предоставленной производителем, а данные табл. Д.1 свода правил СП 23-101-2004, то расчётное сопротивление теплопередаче стен соответствует экспериментально определённому.

Таблица 3.28

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций

Ограждающая конструкция	Нормативное значение показателя, м ² ·°С/Вт	Расчётное (проектное) значение показателя, м ² ·°С/Вт	Приведённое фактическое значение сопротивления теплопередаче (инструментальные замеры), (м ² ·°С)/Вт	Соотношение	
				расчётного к нормируемому	фактического к нормируемому
Стены	2,45	6,987* (3,81**)	3,45	285%	141%
Окна	0,41	1,2	–	267%	–
Двери	0,41	1,2	–	267%	–
Пол по грунту	2,76	3,63	–	132%	–
Крыша совмещённая	2,76	11,21	–	406%	–

Коэффициент теплопроводности газосиликатных блоков: * – по данным производителя; ** – по СП 23-101-2004.

Анализ потребления и оценка энергоэффективности здания приведены в табл. 3.29, 3.30.

Из табл. 3.30 видно, что даже снижение фактического сопротивления теплопередаче стен почти в два раза по сравнению с проектным значением привело к повышению удельной отопительной характеристики здания на 30%, с 9 до 12 кДж/(м³·°С·сут). Фактическая удельная отопительная характеристика, определённая по приборам учёта составляет ещё большую величину, 15,6 кДж/(м³·°С·сут), что может быть объ-

яснено, что в период обследования здания оно не эксплуатировалось и отсутствовали внутренние тепловыделения, которые для энергоэффективного здания составляют существенную величину по сравнению с общими затратами на отопление.

Таблица 3.29

**Расход электроэнергии и удельная отопительная характеристика
(данные за январь 2012 г.)**

Период		ГСОП, °С·сут	Коэффициент преобразования теплоты	Объем энергии		Удельная тепловая характеристика, кДж/(м ³ ·°С·сут)	
Начало	Конец			Отопительная нагрузка, кВт·ч	Потребление ТН, кВт·ч	По отопительной нагрузке	По потреблению электроэнергии
05.01	08.01	40,0	3,57	512,6	143,6	22,4*	6,3*
09.01	15.01	152,9	3,68	1916,6	520,2	21,9	5,9
23.01	29.01	212,0	3,37	1191,9	353,9	9,8	2,9
30.01	30.01	24,6	2,76	152,9	55,3	10,9	3,9
Всего/среднее		404,8	3,56	3621,1	1017,7	15,6	4,4

*Информация справочная из-за малого времени работы отопления

Таблица 3.30

Расчёт удельной отопительной характеристики здания

Наименование	Нормируемая удельная отопительная характеристика*	Удельная отопительная характеристика, Вт/(м ³ ·°С)	Отклонение удельной характеристики от нормируемой	Классы энергосбережения жилых и общественных зданий**
Проектное значение	0,394 Вт/(м ³ ·°С)	0,104	-74%	«А++»
Расчётное значение при фактических характеристиках		0,139	-65%	«А++»
Фактическое значение (по потреблению энергии тепловым насосом $q_{э.э}$)		0,051	-87%	«А++»
Фактическое значение (расход тепловой энергии на отопление $q_{от}$)		0,181	-54%	«А+»

* СП 50.13330.2012 /СП 50.13330.2024

* Согласно СП 50.13330.2012, из СП 50.13330.2024 термин «Классы энергосбережения» исключен.

Оценка эффективности конструкции здания

Теплозащитные характеристики ограждающих конструкций здания превышают нормируемые значения в 1,3-4 раза (табл. 3.28). Оценка стоимости коробки построенного здания (без стоимости фундамента, отделки, инженерных систем) составляет 4159,8 тыс. руб. (табл. 3.31). При этом потребность в электрической энергии на отопление здания за отопительный период составляет 10,71 тыс. кВт·ч.

Таблица 3.31

Толщина и стоимость каждого элемента ограждающей конструкции построенного здания

Наименование	Фактические значения		Альтернативный вариант с меньшей энергоэффективностью	
	Толщина, м	Стоимость, тыс. руб.	Толщина, м	Стоимость, тыс. руб.
Стены				
Газосиликатные блоки «Аэробел»	0,600	1708,92	0,400	1139,28
Izovol марки Ст 75	0,100	267,02	0,100	267,02
Штукатурка	0,020	244,77	0,020	244,77
Стекломагнийевый лист	0,012	91,40	0,008	56,94
Фиброцементный сайдинг LATONIT 8 мм	0,008	382,73	0,008	382,73
Всего	0,74	2694,83	0,536	2090,73
Пол по грунту				
Плитка	0,020	422,98	0,020	422,98
Раствор цементно-песчаный	0,070	56,57	0,070	56,57
Пенополистирол "Пеноплэкс", 35	0,200	32,27	0,000	0,00
Пенополистирол "Пеноплэкс", 45	0,100	27,64	0,100	27,64
Песок для строительных работ	0,300	36,96	0,300	36,96
Всего	0,69	576,42	0,49	544,15
Кровля				
Железобетон	0,200	355,84	0,200	355,84
Раствор цементно-песчаный	0,100	118,61	0,020	23,72
Пенополистирол "Пеноплэкс", 35	0,300	58,25	0,100	19,42
Рубероид, пергамин, толь в 2 слоя	0,080	355,84	0,080	355,84
Всего	0,68	888,54	0,4	754,81
Итого	-	4159,8	-	3389,71

При уменьшении теплозащитных свойств ограждающих конструкций стоимость здания составит 3389,71 тыс. руб., то есть снизится на 770,09 тыс. руб. (или 1,4 тыс. руб./м²). В этом случае потребность в электрической энергии на отопление здания за отопительный период составит 12,49 тыс. кВт·ч, то есть повысится на 14%, и здание будет иметь класс энергетической эффективности «В – высокий». При этом годовые затраты на оплату энергоресурсов увеличатся на величину около 3,2

тыс. руб. в год (в ценах 2012 г.), что составит 0,5% от величины уменьшения стоимости здания. Таким образом на величину средств, сэкономленную при строительстве, можно оплачивать дополнительные затраты на отопление в течение более 200 лет.

Выводы

1. Расчётный удельный расход тепловой энергии на отопление здания, определённый по проектным показателям, составил 9...12 кДж/(м³·°С·сут), что меньше нормируемого значения на 64...73%. Фактический удельный расход, определённый по результатам работы системы отопления в течение месяца составил 15,6 кДж/(м³·°С·сут). Таким образом, класс энергетической эффективности, определённый по проектным показателям величины теплоты, теряемой зданием, и характеризующий конструкцию здания, «А – очень высокий».

2. Удельный расход потребляемой тепловыми отопительными насосами электроэнергии, определённый по проектным показателям, составил 4,4 Дж/(м³·°С·сут), что меньше нормируемого значения на 53%. Фактический удельный расход, определённый по результатам работы системы отопления в течение месяца составил 4,4 кДж/(м³·°С·сут). Таким образом, класс энергетической эффективности, определённый по затратам электроэнергии на работу системы отопления здания, и характеризующий конструкцию здания и его инженерные системы «А – очень высокий».

3. Сравнительный расчёт показал, что при уменьшении теплозащитных свойств и стоимости здания класс энергоэффективности здания не сохраняется.

3.5.3. Торгово-офисное здание с подземным паркингом (г. Белгород)

Было произведено обследование здания с торговыми и офисными помещениями и подземным паркингом 2012 г. постройки. Характеристики здания приведены в табл. 3.32, характеристики наружных стен и перекрытий – в табл. 3.33.

Таблица 3.32

Характеристики торгово-офисное здание с подземным паркингом

Наименование	Площадь, м ²	Высота, м	Строительный объем
Здание паркинга	3285,2	3,36	11 038
1-й этаж	2832,7	3,31	9 376
2-й этаж	2738,9	3,17	8 882
Всего	8856,8	-	29096

Таблица 3.33

Характеристики ограждающих конструкций

№	Наименование	Толщина, м	λ , Вт/(м·°С), расчётная	R, (м ² ·°С)/Вт
Наружная стена (вентилируемый фасад)				
1	Силикатный кирпич	0,5	1,52	0,329
2	Утеплитель Izovol	0,1	0,042	2,381
3	Керамогранит	0,01	3,49	0,003
–	Сопротивление теплопередаче конструкции	–	–	2,871*
Наружная стена (сэндвич-панель «Белпанель»)				
1	Белпанель	0,12	–	2,63
2	Воздушная прослойка	0,04	–	0,14
3	Гипсокартон	0,01	–	0,15
–	Сопротивление теплопередаче конструкции	–	–	3,078
Покрытие над паркингом				
1	Тротуарная плитка	0,08	0,85	0,094
2	Цементно-песчаная смесь	0,04	0,76	0,053
3	2 слоя линокрема	0,006	0,34	0,018
4	Разуклонка из керамзитобетона	0,1	0,56	0,179
5	Плёнка ЮТАФол	0,001	0,17	0,006
6	Цементно-песчаная выравнивающая стяжка	0,2	0,76	0,263
7	Ж/Б монолитная плита покрытия, профлист	0,15	1,92	0,078
8	Керамзитобетон	0,1	0,41	0,244
		0,2		0,488**
		0,3		0,732***
–	Сопротивление теплопередаче конструкции			1,092 1,336** 1,580***
Покрытие над торгово-офисным помещением				
1	Два слоя ICORAL	0,02	0,68	0,029
2	Два слоя асбестошиферных листов	0,02	0,47	0,043
3	Разуклонка из керамзитового гравия	0,1	0,15	0,667
4	Утеплитель Izovol K 100	0,14	0,042	3,333
5	Пароизоляция	0,001	0,17	0,006
6	Ж/Б монолитная плита, профлист		1,92	0,078
–	Сопротивление теплопередаче конструкции			4,314

* – Проектное значение 3,082. Расчётное значение ниже из-за замены пустотелого силикатного кирпича на обычный

** , *** – Приведены значения при разной толщине засыпки (из-за отсутствия данных о реальной толщине). Проектное значение 1,802. Расчётное значение ниже из-за замены утеплителя IZOVOL 50 мм на керамзитовую засыпку толщиной 0,1-0,3 м.

Для всех ограждающих конструкций приняты $\alpha_{в} = 8,7$; $\alpha_{н} = 23$ Вт/(м²·°С),

При внешнем осмотре здания было выявлено следующее. Фото-съемка наружной части перекрытия над подземной парковкой (рис. 3.24) произведены 25 марта 2013 г., в 10⁰⁰. Температура наружного воздуха при этом была –10°С. Наличие талого снега на перекрытии свидетельствует о плохой теплоизоляции перекрытия.



Рис. 3.24. Наружная часть перекрытия над подземной парковкой

В помещении паркинга присутствует большое количество снега и талой воды (рис. 3.25).



Рис. 3.25. Внутренняя часть подземного паркинга

Это определяет вероятность возникновения повышенной влажности в помещении паркинга.

Анализ потребления энергоресурсов

Объект является потребителем следующих энергоресурсов:

- тепловая энергия;
- электроэнергия.

Система отопления – централизованная от ИТП, с верхней разводкой в здании. Система ГВС отсутствует.

Анализ энергопотребления за отопительный период приведён на рис. 3.26.

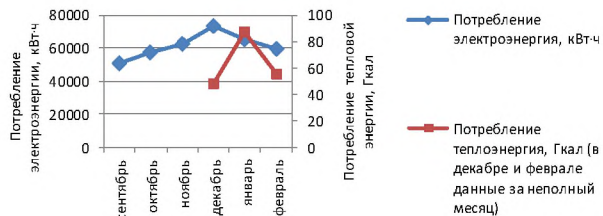


Рис. 3.26. Изменение потребления энергоресурсов

Посуточная отопительная нагрузка торгово-офисного здания представлена на рис. 3.27.

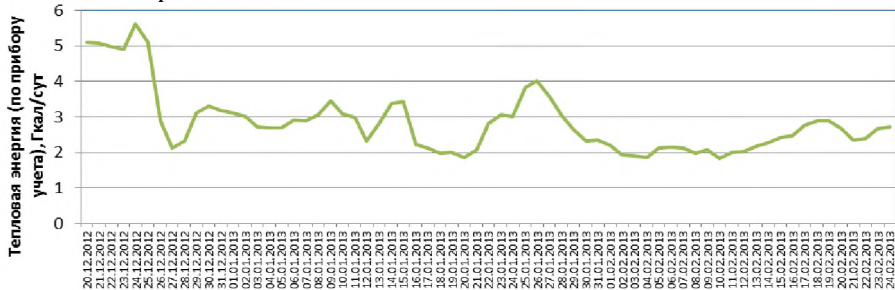


Рис. 3.27. Посуточная отопительная нагрузка здания

Как видно из рис. 3.28, система отопления отрегулирована, избытка и недостачи подачи теплоты для отопления нет.

Проектный расход теплоты на отопление здания составляет 109,07 кДж/(м²·К) или 0,384 Вт/(м³·К) при нормативном значении 0,440 Вт/(м³·К) согласно СП 50.13330.2012, что соответствует классу энергосбережения «С+».

Потребление тепловой энергии на отопление за период с 20.12.2012 по 24.02.2013 г. в здании составило 189,877 Гкал. ГСОП за рассматриваемый период равен 1386,9°С·сут. Таким образом, фактическая отопительная характеристика составляет 0,228 Вт/(м³·К), что соответствует классу «В+». Значительно более низкое значение по сравнению с проектным объясняется тем, что в здании не функционировала система приточно-вытяжной вентиляции подземного паркинга.

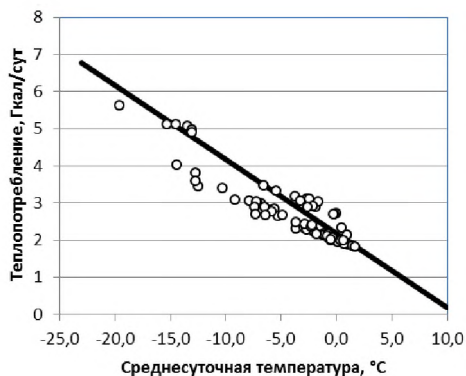


Рис. 3.28. Тепловая характеристика здания:

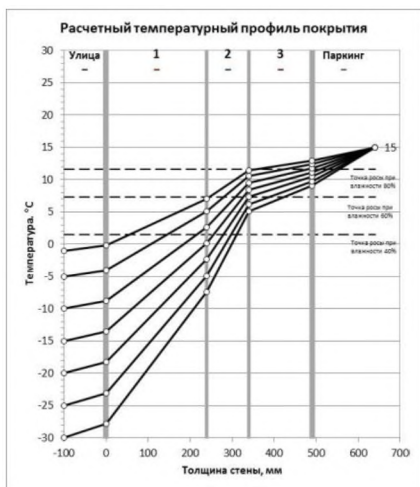
○ – фактическое теплопотребление; ——— – проектное теплопотребление

Оценка возможности образования конденсата

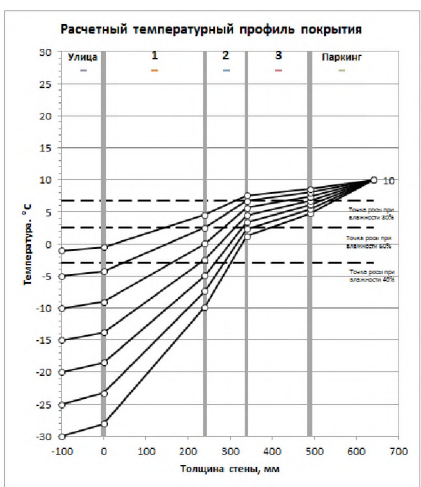
Проблемой в здании является образование конденсата на внутренних стенах паркинга. Для выявления причин была определена точка росы при различных условиях. На графиках (рис. 3.29) приведены температурные профили по высоте перекрытия при его фактических характеристиках при различной температуре внутри и снаружи помещения. Также на рис. показаны температура точки росы при различной относительной влажности воздуха (40, 60, 80%). Точки (температуры) на нижней поверхности (внутренней поверхности перекрытия) должны быть выше точки росы.

Как видно из графиков, риск образования конденсата (когда температура точки росы выше температуры внутренней поверхности перекрытия) появляется при влажности воздуха внутри паркинга 80% и температуре наружного воздуха $-20...-10^{\circ}\text{C}$.

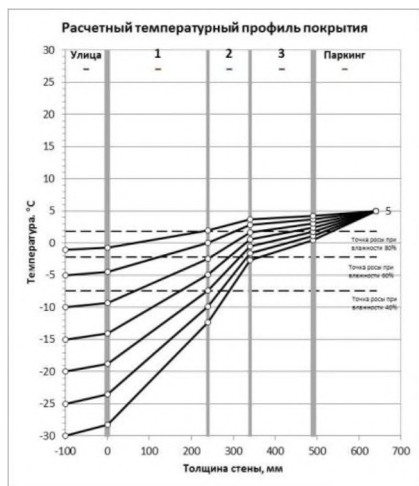
Согласно СНиП, СанПиН и ГОСТ температура и влажность внутри помещения паркинга не нормируется. Таким образом, условием отсутствия появления конденсата на перекрытии паркинга является поддержание относительной влажности воздуха в помещении не выше 60-70%, при этом при любых значениях температур внутри и снаружи помещения температура внутренней поверхности стены выше температуры точки росы. Так как при возведении здания для перекрытия был заменён ряд материалов, что привело к снижению его сопротивления теплопередаче, возможность образования конденсата была оценена так при проектном и нормативном тепловом сопротивлении перекрытия (рис. 3.30).



Температурный профиль перекрытия при температуре внутри паркинга 15°C ($R_{пер}=0,89$)

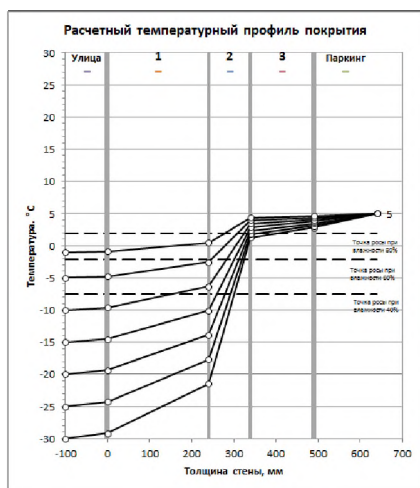


Температурный профиль перекрытия при температуре внутри паркинга 10°C ($R_{пер}=0,89$)

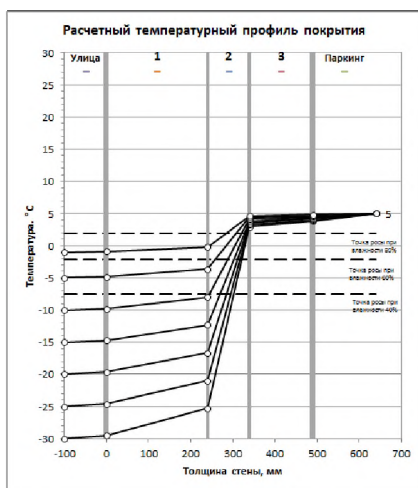


Температурный профиль перекрытия при температуре внутри паркинга 5°C ($R_{пер}=0,89$)

Рис. 3.29. Температурный профиль при фактических характеристиках покрытия



Температурный профиль перекрытия при температуре внутри паркинга 5°C (с проектным значением сопротивления теплопередаче перекрытия $R_{пер}=1,802$)



Температурный профиль перекрытия при температуре внутри паркинга 5°C (с нормативным тепловым сопротивлением перекрытия $R_{пер}=3,31$)

Рис. 3.30. Температурный профиль при проектных и нормативных характеристиках перекрытия

Как видно из рис. 3.30, как проектное тепловое сопротивление обеспечило бы гарантированное отсутствие конденсата при относительной влажности воздуха в паркинге ниже 80%, а нормативное значение теплового сопротивления – при относительной влажности ниже 90%. Таким образом, низкое тепловое сопротивление перекрытия не является основной причиной образования конденсата.

Анализ вентиляции в паркинге

Для определения причин образования конденсата был проведён анализ системы вентиляции паркинга. Вентиляция паркинга включает следующие системы:

а) две отдельные системы вытяжной вентиляции, каждая из которых имеет независимый побудитель тяги (вытяжные вентиляторы, установленные в специальных помещениях на втором этаже торгово-офисного центра). В момент обследования обе установки были включены;

б) приточную систему с водяными воздушонагревателями. В момент обследования система была выключена.

Обследование проводилось 26 марта 2013 г. в период с 9³⁰ до 12⁰⁰. На момент обследования были следующие условия:

- температура и относительная влажность наружного воздуха (10⁰⁰): -10,3°C; 90%.
- температура и влажность воздуха на втором этаже торгово-офисного центра: - 22°C; 33,4%.

Для анализа вентиляции в паркинге были произведены следующие замеры:

- а) скорость воздуха в вентиляционных решётках вытяжной вентиляции;
- б) скорость воздуха в вентиляционных проёмах приточной вентиляции;
- в) скорость и влажность потока воздуха в воздуховоде приточной вентиляции;
- г) влажность воздуха в помещении паркинга.

Результаты замеров представлены в табл. 3.34 и на схеме (рис. 3.31).

Кратность воздухообмена в паркинге на момент измерений составила

$$5\,800 / 11\,038 = 0,53.$$

Нормативная кратность воздухообмена согласно СНиП 21-02-99 «Стоянки автомобилей» с учётом требований СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» составляет 2 (но не менее 150 м³/ч на машину).

Таблица 3.34

Расход воздуха в вентиляционной системе

Наименование	Расход, м ³ /ч		Теплота потока	
	Проектный	по данным измерений	Гкал/час (на момент испытаний)	Гкал за отопительный сезон (пересчёт на проектные условия)
Вытяжной воздух:				
система 1	6 050	3 400	0,024	-
система 2	6 055	2 400	0,017	-
Всего	12 105	5 800	0,041	98,1
Приточный воздух, по скорости*:	9 780	-	-	-
в вентиляционных проёмах	-	880	-	-
в вентиляционном канале	-	700	-	-

* Два способа измерений показали совпадение результатов

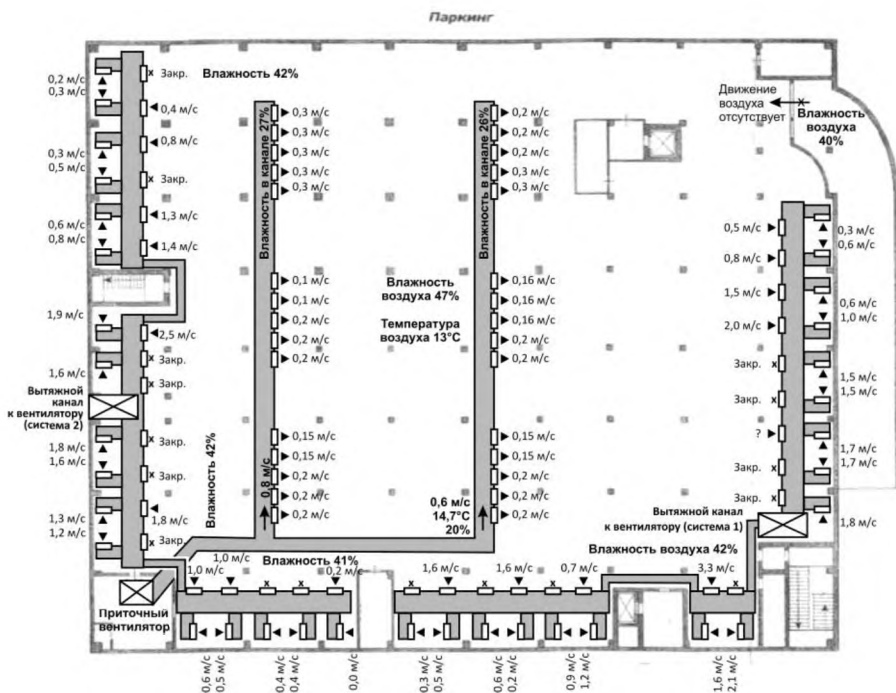


Рис. 3.31. Схема расход воздуха в вентиляционной системе

Таким образом, существующий режим работы системы вентиляции нормам не соответствует. Но так как режим работы паркинга (то есть заезд и выезд автотранспорта и нахождение в нем людей) неравномерный, возможно применение положения СНиП 41-01-2003 (п. 4.1) о том, что «следует предусматривать технические решения, обеспечивающие:...б) нормируемые метеорологические условия и чистоту в рабочей зоне производственных и складских (далее – производственных) помещений в зданиях любого назначения». Таким образом, кратность воздухообмена может быть уменьшена при условии соблюдения санитарно-гигиенических норм, установленных в действующих на момент обследования ГОСТ 12.1.005 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест», то есть обеспечение концентрации CO не более 20 мг/м³.

Анализ баланса вентиляции показывает, что через неплотности неработающей приточной вентиляции поступает около 15% воздуха, удаляемого вытяжной вентиляцией. Замеры воздушных потоков с помо-

щью анемометра в туннеле-выезде из паркинга (проводимом в плоскости ворот, расположенных между помещением паркинга и выходящим из него туннелем и по длине туннеля) показали отсутствие движения воздуха в нем. Таким образом можно заключить, что 85% воздуха в паркинг поступает в виде неорганизованного притока через лестничные и лифтовые проёмы, то есть с улицы и из торгово-офисных помещений. При температуре воздуха в торгово-офисных помещениях 22°C и относительной влажности воздуха 33,4% (данные получены замерами) влагосодержание воздуха составляет 3,2 г/кг. Когда этот воздух охлаждается до 13°C, его относительная влажность становится 60%, а при охлаждении до 10°C – 80%.

При проектной температуре воздуха в паркинге 10°C и относительной влажности воздуха 70% в воздухе содержится около 47 кг влаги, при влажности 100% – около 52 кг.

Скорость испарения с открытых поверхностей при температуре воздуха 10°C и влажности воздуха 60-70% составляет не более 0,03 кг/(м²·час), при этом интенсивность испарения падает при повышении влажности и снижении температуры воды. Таким образом, от влаги, поступающей в паркинг от протечек и с автотранспорта, влажность воздуха увеличивается, но незначительно, и основным источником влаги является поступающий воздух.

Оценочный баланс влаги воздуха паркинга на момент обследования приведён в табл. 3.35.

Таблица 3.35

Баланс влаги воздуха в паркинге

Наименование	Наружный воздух, поступающий через приточную вентиляцию	Наружный воздух, поступающий неорганизованным путём	Воздух, поступающий из торгово-офисного центра	Испарившаяся влага (ориентировочная площадь поверхности воды 100 м ²)	Удаление воздуха через вытяжную вентиляцию
Объём, м ³ /ч	800	2 500*	2 500*	–	5 800
Температура, °С	–10	–10	22	–	13
Относительная влажность, %	90	90	33,4	–	42
Влагосодержание, г/кг	1,0	1,0	3,2	–	2,3
Массовый расход влаги, кг/ч	1,1	3,4	9,6	2,5	16,6

* Соотношение определялось из баланса воздуха и его влагосодержания

Способами уменьшения влажности в паркинге являются:

а) уменьшение площади воды путём регулярной уборки луж после их появления;

б) исключение притоков воздуха из торгово-офисного центра, для чего необходимо эксплуатация приточной вентиляции.

Для экономии энергетических ресурсов рекомендуется установка автоматизации включения вентиляции по датчикам влажности и CO.

Установленная мощность вентиляторов составляет:

– приточный агрегат 3 кВт;

– вытяжные агрегаты 2х2,81 кВт.

Таким образом, потребление электроэнергии при коэффициенте включения вентиляторов 0,5 составляет:

вытяжные вентиляторы – 24,6 тыс. кВт·ч в год;

приточный вентилятор – 13,1 кВт·ч в год.

что составляет около 100 тыс. рублей. Ориентировочная стоимость системы автоматизации составляет около 35 тыс. руб.

Выводы и рекомендации

1. Система отопления здания отрегулирована, избытка и недостачи подачи теплоты для отопления нет.

2. Фактическое сопротивление теплопередаче покрытия над паркингом и кирпичной стены с вентилируемым фасадом не соответствует проектным из-за замены строительных материалов при возведении здания. Но низкое тепловое сопротивление перекрытия не является основной причиной образования конденсата на его внутренней поверхности.

3. Главной причиной образования конденсата на внутренней поверхности перекрытия паркинга является повышенная влажность воздуха внутри него. Условием отсутствия появления конденсата на перекрытии паркинга является поддержание относительной влажности воздуха в помещении не выше 60-70%, при этом при любых значениях температур внутри и снаружи помещения температура внутренней поверхности стены выше температуры точки росы. Также снизить риск появления конденсата возможно путём утепления перекрытия до проектного или нормативного значения теплового сопротивления, но в любом случае конденсат будет появляться при значении относительной влажности, близкой к 100%.

4. Причиной повышенной влажности воздуха в паркинге является приток воздуха в него из здания торгового центра, при охлаждении которого значительно повышается относительная влажность. Поэтому необходимо обязательное использование приточной вентиляции. Для экономии энергетических ресурсов рекомендуется установка автоматизации включения вентиляции по датчикам влажности и CO.

3.6. ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ, ПОСТРОЕННЫХ В СОВЕТСКИЙ ПЕРИОД

3.6.1. Обследование и оценка энергоэффективности комплекса разнотипных зданий на примере МУЗ «Муниципальная городская клиническая больница №1»

Энергосбережения невозможно без систематического учёта потребления энергоносителей [30, 74, 82, 131–134]. На крупных объектах приборы учёта часто установлены на общий ввод энергоносителей, то есть учитывают общий расход всего комплекса, а не конкретных зданий. Для объекта, имеющего здания различного типа, года постройки и назначения, а соответственно разной энергетической нагрузки необходимо определить структуру потребления энергоресурсов.

Рассмотрим методики определения структуры энергопотребления на примере МУЗ «Муниципальная городская клиническая больница № 1 г. Белгорода».

Больница включает 17 зданий и строений (табл. 3.36 и рис. 3.32) общей площадью 32306,2 м², в том числе: стационар на 850 коек, где ежегодно лечатся от 22 до 23 тысяч больных; поликлиника № 1, обслуживающая более 52 тысяч человек территориально закреплённого населения с мощностью 750 посещений в смену; травматологический пункт; родильное отделение. Персонал больницы – 1445 чел.

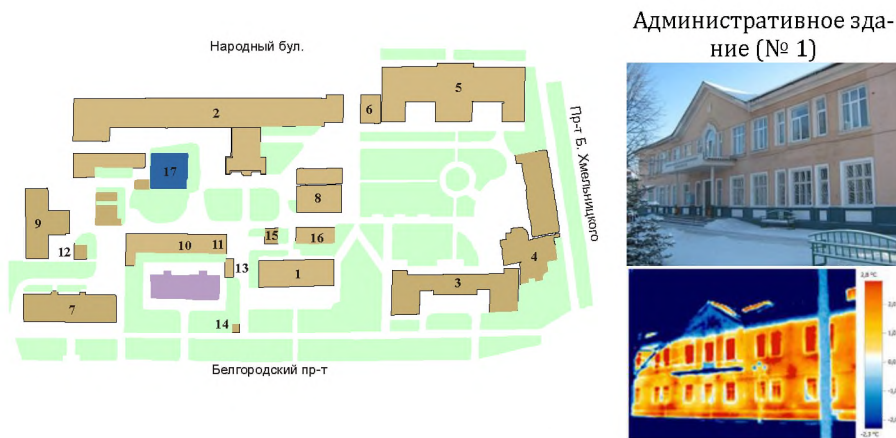


Рис. 3.32. Схема и корпуса больницы
(наименования зданий приведены в табл. 3.36)

Схема корпусов больницы

№	Название здания	Полезная площадь, м ²	Этажность	Строительный объём, м ³
1	Административное здание	1121,5	2	4359
2	Хирургический корпус	9144,2	4/3/1	33612
3	Родильный дом	2447,3	2	9599
4	Лечебный корпус	7381,2	9	25286
5	Терапевтический корпус	2918,5	2/1	19209
6	Пристроенное здание корпуса №6	3091,5	7	11006
7	Поликлиника №1	3292,3	4	10892
8	Пищеблок	1092,1	2/1	2442
9	Прачечная	622	2	2577
10	Гараж	391,9	1	1716
11	Гараж	71,1	1	244
12	Пристроенное здание гаража	53,6	1	211
13	Пристроенное здание гаража	117,5	1	407
14	Проходная	9,6	1	39
15	Здание хранен. р/пл.	31,4	1	165
16	Овощехранилище	112	2	952
17	Склад	408,5	1	2206
	Итого	32306,2	-	124922

В состав больницы входят разнотипные здания, как по этажности и площади, так и по году постройки и характеристик ограждающих конструкций. При этом в больнице стоят два прибора учёта тепловой энергии, один для хирургического корпуса, второй для всех остальных зданий.

При визуальном обследовании конструкций зданий и инженерных систем выявлены следующие причины перерасхода энергоресурсов:

- стены зданий, в том числе и в новом лечебном корпусе, выполнены из кирпича без теплоизоляции;
- отсутствует теплоизоляция чердачных перекрытий и подвалов;
- плохое состояние большинства оконных блоков;
- отсутствуют системы автоматического регулирования систем отопления и системы балансировки и регулировки отопительных систем внутри зданий;
- отсутствует или нарушена теплоизоляции труб системы отопления, отсутствует тепловая изоляция труб горячего водоснабжения в подвалах зданий, что приводит к значительному снижению температуры горячей воды и большим потерям тепловой энергии;
- визуально наблюдаются утечки пара и горячей воды ввиду ненадлежащего состояния трубопроводов;
- не обеспечивается необходимое качество горячей воды, подаваемой потребителям.

Анализ потребления энергоресурсов

Энергетический баланс больницы, составленный на основании журнала учёта энергоресурсов и данных бухгалтерии по фактической оплате энергоресурсов, представлен в табл. 3.37.

Таблица 3.37

Энергетический баланс МГКБ-1

Год		2006	2007	2008	2009	2010	Всего
Холодная вода	м ³	21276	67164	54262	63042	69588	275332
	тыс. руб.	2140,5	2101,2	1780,9	2053,1	2627,5	10703
Электроэнергия	тыс. кВт·ч	2193,9	2210,6	1336,1	1723,2	2042,1	9506
	тыс. руб.	2362	2696,9	3371,8	3319	6473,4	18223
Тепловая энергия, Гкал	Отопление	16698,6	4884	5729	5555,2	3771,1	36638
	ГВС	9466,1	2768,7	2856	2256	1531,5	18878
	Всего	26164,7	7652,7	8585	7811,2	5302,6	55516
Стоимость тепловой энергии, тыс. руб.		16326,8	1463,8	9218,6	9945,3	6304	43258
Стоимость пара, тыс. руб.		-	175,8	986,9	1168	1168	3499
Стоимость энергоносителей, тыс. руб.		20829,3	6437,6	15358,2	16485,4	16572,9	75683

Всего в 2009 г. на энергоресурсы затрачено 16485,4 тыс. руб., что составляет 39% от общего бюджета МГКБ-1. Структура затрат представлена на рис. 3.33 и 3.34. Доля затрат на энергоресурсы МГКБ-1 в затратах на энергоресурсы управления здравоохранения г. Белгорода составляет:

- для электроэнергии 31,6%;
- тепловая энергия 35,6%;
- холодное водоснабжение 34,4%;
- по всем затратам на энергоресурсы 34,2% .

Можно сделать вывод, что так как доля затрат по всем энергоресурсам МГКБ-1 в затратах управления здравоохранения примерно одинакова, то критического превышения потребления энергоресурсов не наблюдается.

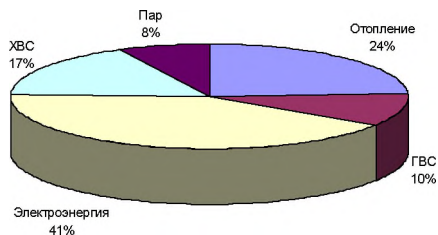


Рис. 3.33. Структура затрат на энергоресурсы МГКБ-1 в 2010 г.

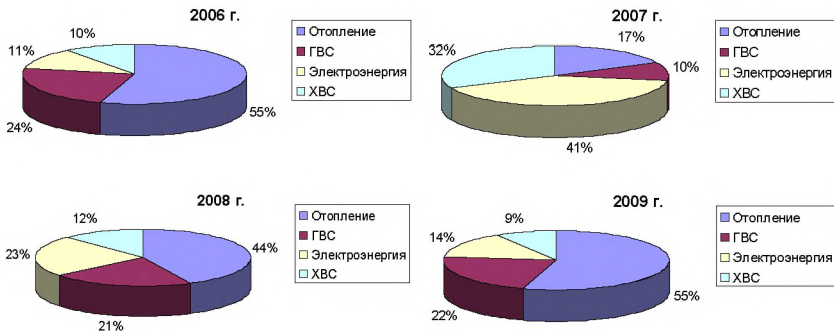


Рис. 3.34. Структура затрат на энергоресурсы МГКБ-1 (без пара)

На объекте имеется три ввода подачи электроэнергии. Приборы учёта электрической энергии установлены в трансформаторных подстанциях, каждый из них учитывает потребление нескольких корпусов и субабонентов. Для определения структуры потребления по корпусам были собраны данные по имеющемуся оборудованию, оргтехнике и освещению, определён режим их работы. Полученные результаты приведены на рис. 3.35.

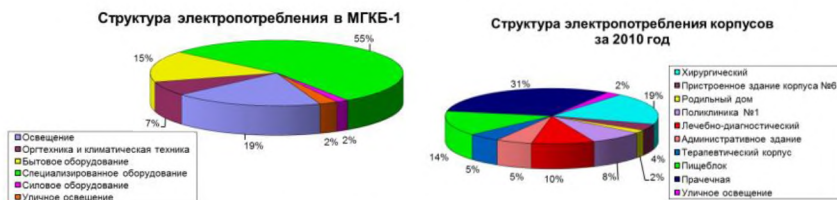


Рис. 3.35. Структура электропотребления

Индикаторы энергоэффективности МГКБ-1

Для определения индикаторов энергоэффективности были использованы следующие данные:

Общая площадь, м ²	32306,2
Отапливаемый объём, м ³	124922,0
Количество сотрудников, чел.	1445
Количество посетителей, чел.	1500
Количество больных стационара, чел.	850
Усреднённое количество человек, чел.	2307,5

В табл. 3.38 приведены значения индикаторов энергоэффективности МГКБ-1. Также приведены индикаторы для управления здравоохранения г. Белгорода, взятые из «Мероприятий по энергосбережению на объектах Управления здравоохранения г. Белгорода на 2010-2015 годы» и для бюджетных учреждений г. Белгорода, приведённые в целевой программе «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности городского округа «Город Белгород» на 2011-2015 гг.», принятой администрацией г. Белгорода постановлением № 107 от 9.07.2010 г.

Таблица 3.38

Индикаторы энергоэффективности МГКБ-1

Индикаторы энергоэффективности	Размерность	Показатели МГКБ № 1					Средние показатели за 2009 г.	
		2006	2007	2008	2009	2010	По бюджетным учреждениям г. Белгорода	По управлению здравоохранения г. Белгорода
Удельный расход теплоты на теплоснабжение	Гкал/м ²	0,810	0,237	0,266	0,242	0,164	0,199	0,224
Удельный расход теплоты на отопление	кДж/(м ² ·°С·сут)	495,2	154,3	188,3	184,6	117,7	116,6	121,8
	кДж/(м ³ ·°С·сут)	128,0	39,9	48,7	47,7	30,4	30,2	31,5
	Гкал/м ²	0,517	0,151	0,177	0,172	0,117	0,128	0,134
Удельный расход теплоты на ГВС	Гкал/чел.	4,02	1,17	1,21	0,96	0,65	0,71	1,494
Удельный расход электроэнергии	кВт·ч/чел	931	938	567	731	866	461	674
Удельный расход холодной воды	м ³ /чел.	9,02	28,49	23,02	26,74	29,52	10,96	25,5

Значения показателей на отопления за последние три года снижаются, что вызвано постепенной заменой окон в здании. Удельные показатели расхода электроэнергии и воды повышаются. Это может быть вызвано увеличением количества посетителей (при расчёте использовались данные 2009 г.).

В табл. 3.39 приведено сравнение удельных показателей энергопотребления больницы с показателями управления здравоохранения и бюджетных учреждений г. Белгорода.

Таблица 3.39

Сравнение показателей МГКБ-1 со среднегородскими

Индикаторы энергоэффективности	Размерность	Показатели МГКБ № 1			Средние показатели г. Белгорода	
		2007	2008	2009	По бюджетным учреждениям	По управлению здравоохранения
Удельный расход теплоты на теплоснабжение	Гкал/м ²	0,239	0,266	0,242	0,199	0,224
Удельный расход теплоты на отопление	кДж/(м ² ·°С×сут.)	138,9	161,4	156,5	116,6	121,8
	кДж/(м ³ ·°С×сут.)	35,919	41,751	40,485	30,2	31,5
	Гкал/м ²	0,153	0,177	0,172	0,128	0,134
Удельный расход теплоты на ГВС	Гкал/чел.	1,21	1,24	0,98	0,71	1,494
Удельный расход электроэнергии	кВт·ч/чел	659	606	555	461	674
Удельный расход холодной воды	м ³ /чел.	30,70	25,13	24,98	10,96	25,5

Как видно из табл. 3.39 в больнице расходы на теплоснабжение и отопление находятся на среднегородском уровне. Повышенный расход тепловой энергии, так как здания построены с учётом старых строительных норм и отсутствует автоматическое регулирование систем отопления.

Удельные расходы электроэнергии и холодной воды в МГКБ-1 выше, чем по управлению здравоохранения, но выше среднегородских, что связано со спецификой работы больницы – большим количеством энергопотребляющего оборудования и круглосуточным режимом работы.

Анализ системы теплоснабжения

Больница включает 17 зданий и строений, 15 из которых отапливаются. Имеется два прибора учёта тепловой энергии: один учитывает теплотребление хирургического корпуса, второй – тепловую энергию на отопление и горячее водоснабжение всех остальных зданий.

Для определения структуры потребления теплоносителя для каждого здания были поставлены следующие задачи:

- 1) двукратные измерения расходов теплоносителя на вводах в тепловые пункты зданий МГКБ-1 через определённые интервалы времени;
- 2) тепловизионные исследования открытой части внутренней теплосети МГКБ-1 и определение участков повышенных теплопотерь.

В рамках решения перечисленных задач были выполнены следующие работы:

- 1) проведены первичные измерения расходов теплоносителя на вводах в тепловые пункты зданий МГКБ-1;
- 2) проведены повторные измерения расходов теплоносителя на вводах в тепловые пункты зданий МГКБ-1;
- 3) выполнены тепловизионные исследования открытой части внутренней теплосети МГКБ-1 и определены участки повышенных теплотерь;
- 4) разработаны рекомендации и технические решения по повышению энергоэффективности системы отопления зданий МГКБ-1.

Вначале рассмотрим общее теплотребление объекта в пересчёте на фактические градусо-сутки отопительного периода и сравним его с нормируемыми параметрами (табл. 3.40, рис. 3.36).

Таблица 3.40

Климатические характеристики отопительных периодов

Окончание отопительного периода	Начало отопительного периода	Средняя температура, °С	Продолжительность отопительного периода, сут.	ГСОП, °С·сут.	Теплотребление на отопление, Гкал в год	
					фактическое	приведённое к нормативному ГСОП
01.05.2006	12.10.2006	-1,6	202	4369	16698,6	17574
18.05.2007	09.10.2007	1,5	222	4101	4884,0	5475,9
06.05.2008	25.09.2008	2,5	225	3943	5729,0	6680,7
28.04.2009	14.10.2009	0,2	197	3899	5555,2	6551,1
29.04.2010	06.10.2010	-0,2	206	4152	3771,1	4176,2
Нормативное значение		-1,9	209	4598	-	4268

График отопительной нагрузки рис. 3.36 показывает разрегулированность системы отопления.

Обследования проводились дважды 07.02.2011г. и 09.02.2011г, в процессе измерений температура атмосферного воздуха не изменялась и составляла соответственно -2°С и -1°С. Места установки измерительных сенсоров определялись в соответствии с руководством по эксплуатации расходомера.

В каждом тепловом пункте выполнялась серия из 3-х измерений с интервалами в 30 с. в одних и тех же контрольных точках. Обобщённые результаты измерений представлены в табл. 3.41 и рис. 3.37.

По результатам обследования можно заключить, что энергетическая эффективность зданий не зависит от объёма потребляемых энергоносителей для отопления.

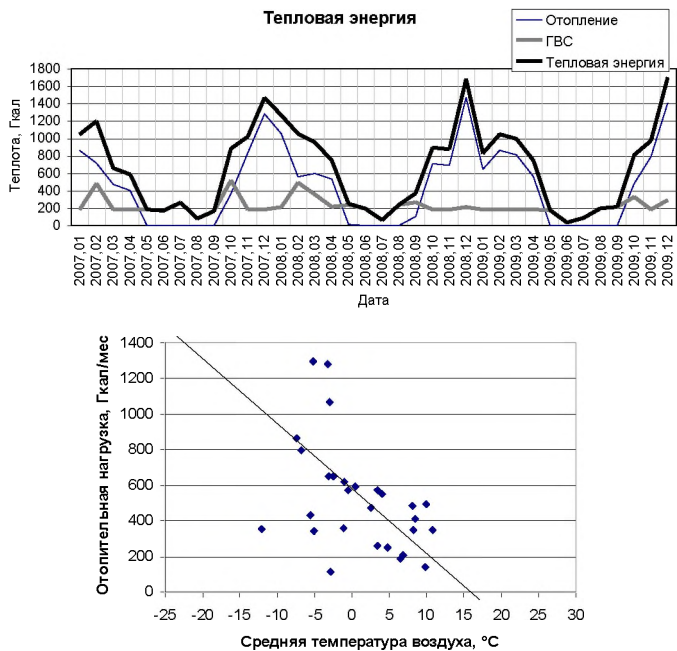


Рис. 3.36. Теплопотребление и график отопительной нагрузки МГКБ-1

Оценка энергосберегающих мероприятий

При разработке энергосберегающих мероприятий необходимо обеспечить нормативные условия микроклимата в зданиях, точно определить потреблённое количество энергоресурсов и их стоимость, произвести анализ потерь и принять решения об их снижении. Разработка мероприятий по энергосбережению, их техническая и экономическая оценка проводилась согласно приказа Минрегионразвития РФ от 17 февраля 2010 г. № 61 «Об утверждении примерного перечня мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, который может быть использован в целях разработки региональных, муниципальных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».

Однако повсеместное применение рекомендованного списка мероприятий может в конечном итоге не дать ожидаемого результата, так как каждое здание имеет различные технические, и как следствие, теплотехнические характеристики. При расчёте необходимо также учитывать назначение здания и конечные планируемые параметры микроклимата.

Таблица 3.41

Теплопотребление объектов

№	Наименование	Площадь, м ²	Теплопотребление, инструментальные замеры				Теплопотребление расчётное (при нормативном ГСОП)				
			7 февраля		9 февраля		Среднее, %	Гкал в год	%	Гкал/м ²	Гкал/(м ³ ·°С·сут)
			Мкал/ч	%	Мкал/ч	%					
1	Административный корпус	1121,5	24,5	3,3	29,87	3,9	3,6	169	4,0	0,1507	39
2	Роддом	2447,3	70,2	9,6	60,75	7,9	8,8	450	10,5	0,1839	33
3	Лечебно-диагностический корпус (9 эт.)	7381,2	122,82	16,8	136,16	17,8	17,3	553	13,0	0,0749	25
4	Пристроенное здание корпуса №6 (7 эт.)	2918,5	113,25	15,5	93,6	12,2	13,9	432	10,1	0,148	32
5	Терапевтический корпус	3091,5	84,24	11,5	79,2	10,3	10,9	591	13,8	0,1912	42
6	Пищеблок	1092,1	40,6	5,5	47,88	6,3	5,9	209	4,9	0,1914	124
7	Поликлиника №1	3292,3	58,89	8,0	83,85	11,0	9,5	440	10,3	0,1336	29
8	Прачечная	622	24,8	3,4	19,18	2,5	2,9	147	3,4	0,2363	75
9	Гараж	643,7	28,21	3,9	29,68	3,9	3,9	98	2,3	0,1522	
10	Хирургический корпус	9144,2	86,79	11,9	83,37	10,9	11,4	1179	27,6	0,1289	34
11	Пристройка к хир. корпусу		77,49	10,6	101,75	13,3	11,9	-	-	-	-
	Всего	31754	731,8	100	765,29	100	100,0	4268	100	0,1344	-

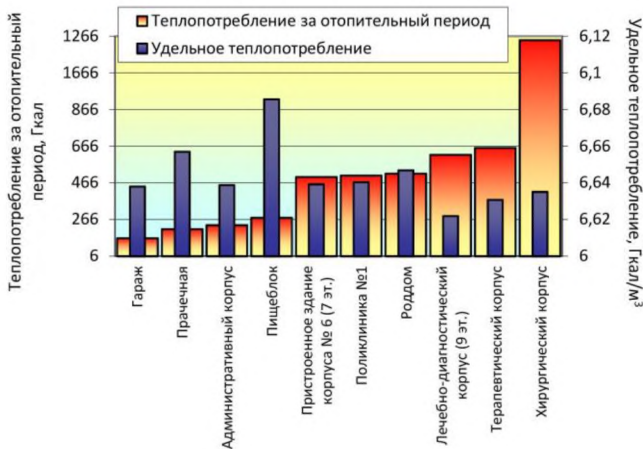


Рис. 3.37. Структура теплопотребления по корпусам

Как показала практика, при внедрении энергосберегающих мероприятий выявляется некое «критическое значение» при котором наблюдается незначительное снижение энергопотребления, но при этом резко возрастает срок окупаемости, что, в свою очередь, приводит к снижению рентабельности данного мероприятия.

Определение «критического значения»

Утепление стен является высокозатратным мероприятием с длительным сроком окупаемости. В табл. 3.42 приведены варианты утепления минераловатными плитами с установкой вентилируемого фасада, и с напылением полиуретаном (мокрый фасад), являющийся в настоящее время одним из самых дешёвых способов утепления. Следует отметить, что существует критическое значение толщины теплоизоляции, после превышения которого уменьшение теплопотерь практически не происходит (рис. 3.38). Таким образом дополнительные затраты на теплоизоляцию не приведут к энергосберегающему эффекту.

Таблица 3.42

Сравнение технико-экономических показателей утепления стен

	Минераловатные плиты IZOVOL с установкой вентилируемого фасада			Минераловатные плиты IZOVOL с армированием сеткой и штукатуркой или напыление пенополиуретаном		
	50	100*	200	50*	100	150
Толщина утеплителя, мм	50	100*	200	50*	100	150
Стоимость утеплителя и его монтажа, тыс. руб.	619	921	1524	2 540	5 080	7 620
Общая стоимость вместе с вентилируемым фасадом, тыс. руб.	5381	5682	6286	-	-	-
Снижение затрат на отопление, Гкал в сезон	158	223	282	237	293	317
Срок окупаемости, лет	39,5	29,5	25	12,4	20	28

* – соответствие требованиям СНиП 23.02-2003

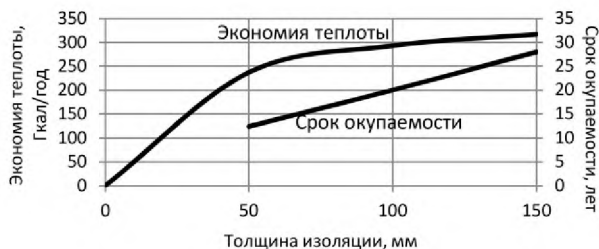


Рис. 3.38. Техничко-экономические показатели утепления стен

Таким образом к выбору энергосберегающих мероприятий необходимо подходить индивидуально, оценивая затраты и получаемый эффект с учётом особенностей конструкции и эксплуатации здания.

Экономический расчёт утепления ограждающих конструкций и замены окон

В табл. 3.43, 3.44 приведён расчёт эффекта однотипных мероприятий для зданий разной конструкции, года постройки и назначения, входящих в единый комплекс энергопотребления.

Таблица 3.43

Пример различного эффекта однотипных мероприятий по утеплению (на примере Белгородской городской больницы № 1)

Здание	Утепление чердака и подвала			Утепление стен (мокрый фасад), чердака и подвала			Утепление стен (вентилируемый фасад), чердака и подвала		
	Стоимость мероприятия, тыс. руб.	Экономический эффект, тыс. руб./год	Срок окупаемости, лет	Стоимость мероприятия, тыс. руб.	Экономический эффект, тыс. руб./год	Срок окупаемости, лет	Стоимость мероприятия, тыс. руб.	Экономический эффект, тыс. руб./год	Срок окупаемости, лет
Пристроенное здание корпуса № 6	1873,5	518,4	3,6	4169,1	277,2	15,2	10996,3	175,2	62,8
Поликлиника №1	4001,7	54,0	74,1	6994,4	282,0	24,8	15479,7	283,2	54,6
Родильный дом	2774,3	237,6	11,7	9698,5	332,4	29,2	11824,4	334,8	35,3
Хирургический корпус	8150,3	364,8	22,3	15039,3	622,8	24,1	23784,8	624,0	38,1
Лечебно-диагностический корпус	3588,9	57,8	62,1	8584,5	135,6	63,3	13304,6	121,6	109,4
Административный корпус	3758,8	138,6	27,1	5537,1	155,5	35,6	8741,8	155,5	56,2
Терапевтический корпус	11296,8	115,7	97,7	15735,7	165,5	95,1	24387,8	129,6	188,2
Пищеблок	475,6	98,7	4,8	2217,6	51,8	42,8	3470,4	48,9	71,0
Прачечная	1082,8	92,7	11,7	3023,9	127,6	24,1	4774,0	127,6	37,4

Таблица 3.44

Пример различного эффекта одготипных мероприятий по реконструкции окон (на примере Белгородской городской больницы № 1)

Здание	Замена старых окон на пластиковые окна с двухкамерным стеклопакетом			Замена старых окон на окна с 3-х камерным стеклопакетом из стекла с твёрдым селективным покрытием			Наклейка энергосберегающей плёнки		
	Стоимость мероприятия, тыс. руб.	Экономический эффект, тыс. руб./год	Срок окупаемости, лет	Стоимость мероприятия, тыс. руб.	Экономический эффект, тыс. руб./год	Срок окупаемости, лет	Стоимость мероприятия, тыс. руб.	Экономический эффект, тыс. руб./год	Срок окупаемости, лет
Пристроенное здание корпуса № 6		12	58,8	921,6	72	12,8	144,9	20,7	20,7
Поликлиника № 1	1499,4	41,4	34	1958,4	54	36,3	-	-	-
Родильный дом	1411,2	14,4	98	1843,20	42	43,9	-	-	-
Хирургический корпус	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Лечебно-диагностический корпус	384	29,91	12,8	-	-	-	380,0	25,9	14,7
Административный корпус	1516,8	9,97	152,1	-	-	-	167,3	5,98	28,0
Терапевтический корпус	2227,2	40,877	54,5	-	-	-	265,65	28,91	9,2
Пищеблок	1286,4	18,943	67,9	-	-	-	27,51	13,96	2,0
Прачечная	710,4	11,964	59,4	-	-	-	41,51	8,97	4,6

Из таблиц видно, что одни и те же мероприятия на разных зданиях имеют разный срок окупаемости, и, следовательно, в ряде случаев применение рекомендуемых законодательством мероприятий не принесёт ожидаемого эффекта. Для грамотного применения энергосберегающих технологий необходимо комплексная оценка внедрения мероприятия.

3.6.2. Определение класса энергоэффективности многоквартирных домов г. Губаха Пермского края

В работе проанализировано энергопотребление десяти жилых домов, расположенных в г. Губахе Пермского края. Для анализа выбраны здания разной этажности и с разным материалом ограждающих конструкций (рис. 2.4, табл. 3.45).



Рис. 2.4. Расположение зданий

Таблица 3.45

Характеристики домов

Наименование	Количество этажей	Год постройки	Площадь здания отапливаемая, м ²	Материал стен	Количество жителей
ул. Дзержинского, 8	2	1952	657	шлакоблок	30
ул. Циолковского, 1	2	1967	700,9	шлакоблок	24
ул. Орджоникидзе, 19	3	1959	1594,7	кирпич	70
пр. Ленина, 30	3	1960	2518,6	кирпич	72
ул. Мичурина, 2	5	1961	1586,23	крупный блок	78
ул. Никонова, 12	5	2003	2898,6	кирпич	108
пр. Ленина, 57	5	1976	6536,4	панели	282
ул. Космонавтов, 4	9	1985	4092,6	крупный блок	138
ул. Суворова, 9а	9	1985	4123,8	панели	169
пр. Свердлова, 10	9	1991	8629,7	легкобетонные панели	368

На основании данных метеонаблюдений за последние пять лет был проанализирован климат г. Губахи и определена среднесуточная температура воздуха (рис. 3.39). По данным теплоснабжающей организации были определены характеристики отопительных сезонов (табл. 3.46).

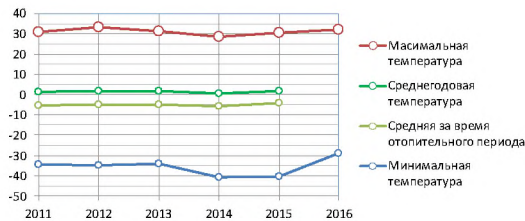


Рис. 3.39. Изменение температуры воздуха в г. Губахе

Таблица 3.46

Характеристики отопительных сезонов

Отопительный сезон	Дата начала	Дата окончания	Количество дней	Среднесуточная температура за отопительный сезон, °C	Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП)
2011/2012	15.09.2011	15.05.2012	244	-4,9	6569*
2012/2013	15.09.2012	15.05.2013	243	-5,7	6728
2013/2014	15.09.2013	15.05.2014	243	-4,4	6412
2014/2015	15.09.2014	15.05.2015	243	-4,8	6512
2015/2016	15.09.2015	15.05.2016	244	-3,4	6209
Нормативные значения (СП 131.13330.2012)	-	-	250	-6,7	7175 ¹⁾ 6675 ²⁾

При температуре воздуха в помещениях: ¹⁾ 22°C; ²⁾ 20°C

Для каждого дома были получены данные посуточного потребления тепловой энергии на отопление и ГВС за пять отопительных периодов и выполнен анализ динамики теплоснабжения и зависимости расхода тепловой энергии от температуры окружающего воздуха.

Изменение суточного потребления теплоты на отопление и ГВС здания по адресу «ул. Космонавтов, 4» согласно показаниям прибора учета за 2014–2016 г. приведены на рис. 3.40. На рис. 3.41 показана зависимость потребляемой теплоты от температуры наружного воздуха. Все отопительные сезоны демонстрируют достаточную отрегулированность системы отопления. В отопительном сезоне 2014/2015 г. наблюдается заметный разброс точек графика, связанные с отладкой системой учета после ее установки.

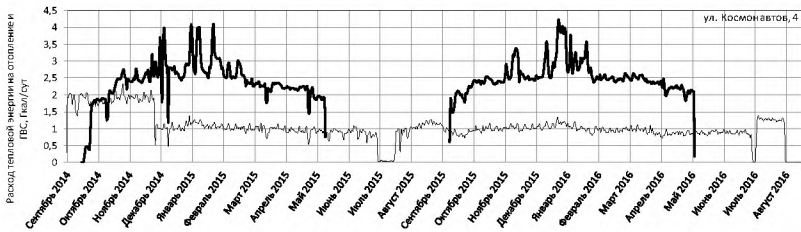


Рис. 3.40. Изменение расхода тепловой энергии на отопление и ГВС

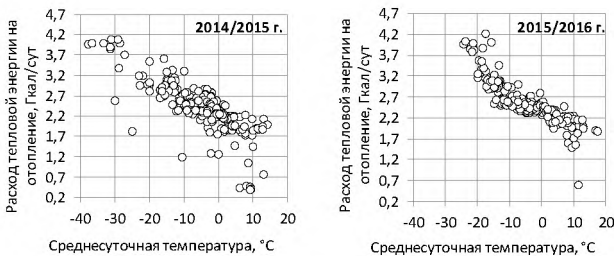


Рис. 3.41. График суточной отопительной нагрузки

На рис. 3.42 приведена зависимость средней месячной отопительной нагрузки от среднемесячной температуры наружного воздуха. Для построения графика был определен расход теплоты в каждом месяце q_i , который затем был пересчитан на сопоставимые условия – месяц продолжительностью 30 дней по выражению

$$q_i' = q_i \cdot 30 / n_i \tag{3.4}$$

где n_i – количество дней в месяце, в которых подавалась тепловая энергия для отопления. Такой пересчет позволил сравнивать месяцы разной продолжительности и месяцы, на которые приходится начало и конец отопительного сезона. Средняя температура также была рассчитана только для дней, когда дом отапливался.

Полученный график показывает плохую отрегулированность и непостоянство тепловой нагрузки.

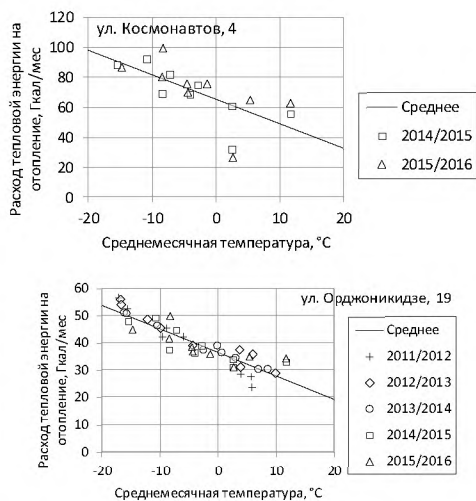


Рис. 3.42. График месячной отопительной нагрузки

Для двух зданий, в котором расход тепловой энергии на отопление и ГВС осуществлялся одним прибором учета, была разработана методика разделения показаний, заключающаяся в определении расхода тепловой энергии на ГВС период отсутствия отопления и распространение полученного среднего значения на отопительный сезон.

Во всех домах фактическое удельное теплосопотребление на отопление выше базового значения на величину от 11 до 66% (табл. 3.47). В течение пяти лет удельное потребление, приведенное к сопоставимым (расчетным) условиям стабильное, что позволяет использовать для расчета класса энергоэффективности данные за один последний год.

Проведено сравнение фактических затрат на отопление с нормативами, установленными для домов, не оснащенных приборами учета. Для всех домов фактическое потребление ниже нормативов, что показывает целесообразность установки приборов учета на небольших зданиях.

Изменение удельного расхода теплоты на отопление

Жилой дом	Удельный расход теплоты за отопительный сезон, кВт·ч/м ²					Базовый	Отношение фактического значения к базовому
	фактический, приведенный к расчетным (нормативным) условиям						
	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16		
ул. Дзержинского, 8	298	296	307	319	306	218	150%
ул. Циолковского, 1	–	–	262	241	239	218	122%
ул. Орджоникидзе, 19	239	250	248	239	243	200	131%
пр. Ленина, 30	290	245	293	286	272	200	149%
ул. Мичурина, 2	244	244	251	257	263	164	165%
ул. Никонова, 12	225	234	243	223	237	164	152%
пр. Ленина, 57	–	–	203	203	201	164	133%
ул. Космонавтов, 4	–	–	–	198	219	134	168%
ул. Суворова, 9а	–	207	230	177	213	134	166%
пр. Свердлова, 10	158	160	153	154	167	134	127%

Величина экономии зависит не столько от количества этажей в здании, сколько от его площади (рис. 3.43). Анализ потребления ГВС показал, что для разных зданий наблюдается как меньшие значения фактического потребления по сравнению с нормативом потребления, установленного для квартир при отсутствии приборов учета, так и фактический расход, превышающий норматив.

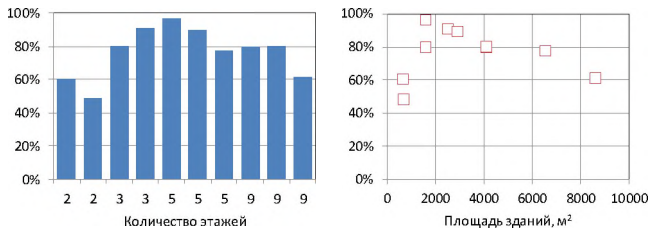


Рис. 3.43. Отношение среднего фактического расхода тепловой энергии на отопление к нормативу потребления

В работе разработана методика определения удельного расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, а также на общедомовые нужды многоквартирных жилых домов, приведенного к расчетным условиям.

Фактический суммарный удельный годовой расхода энергетических ресурсов определяется по выражению:

$$q_{\text{ф}} = q'_{\text{от}} + q'_{\text{гв}} + q_{\text{одн}}. \quad (3.5)$$

Удельный расход теплоты на отопление и вентиляцию, приведенный к расчетным условиям

$$q'_{от} = 1163 \cdot Q_{от} \cdot \text{ГСОП}_н / (\text{ГСОП}_ф \cdot T \cdot S), \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2, \quad (3.6)$$

где $Q_{от}$ – расход тепловой энергии на отопление, Гкал; 1163 – переводной коэффициент из Гкал в кВт·ч; $\text{ГСОП}_н$ – нормативные градусосутки отопительного периода, °С·сут.; $\text{ГСОП}_ф$ – фактические градусосутки отопительного периода при температуре внутреннего воздуха в квартирах 20°С, °С·сут.; T – период расчета энергопотребления, лет; S – отапливаемая площадь, м².

Удельный расход тепловой энергии на ГВС, приведенный к расчетным условиям

$$q'_{гв} = 1163 \cdot Q_{гв} \cdot n_n \cdot t_n / (n_{ф} \cdot t_{ф} \cdot T) = 23260 \cdot Q_{гв} \cdot t_n / (n_{ф} \cdot t_{ф} \cdot T), \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2, \quad (3.7)$$

где $Q_{гв}$ – расход тепловой энергии на ГВС, Гкал; n_n – расчетное число жителей, $n_n = S/20$; t_n – число дней в расчетном периоде; t_n – число дней в расчетном периоде, когда осуществлялась подача горячей воды.

Если вода для ГВС подготавливается самими жителями в газовых или электрических водонагревателях, удельный расход энергии на ГВС может быть определен по потреблению энергии водонагревательными устройствами. Но так как отдельных приборов учета для них нет, часть энергоресурсов, использующихся для приготовления ГВС, из общего потребления электроэнергии или природного газа выделить невозможно. В этом случае возможен расчет удельного расхода тепловой энергии на ГВС по установленным нормативам потребления или базовому уровню, который может быть получен из приказа Минстроя России № 399.

После перевода нормативов для потребителей, не имеющих приборов учета (постановление Правительства Пермского края от 22.08.2012 № 698-п, ред. от 12.05.2015) расход на единицу площади, получено значение расхода тепловой энергии на ГВС в год в пределах 102–117 кВт·ч/м² (табл. 3.48).

Таблица 3.48

Норматив потребления коммунальных услуг по горячему водоснабжению для закрытых/открытых систем

Группы по степени благоустройства	Норматив потребления м ³ /(чел.·мес.)	Удельное потребление в год, кВт·ч/м ²
Ванна сидячая длиной 1200 мм с душем	2,712 / 2,471	111,7 / 101,7
Ванна длиной 1500-1550 мм с душем	2,772 / 2,526	114,1 / 104,0
Ванна длиной 1650-1700 мм с душем	2,832 / 2,581	116,6 / 106,3
Душ без ванны	2,114 / 1,926	87,0 / 79,3

В приказе Минстроя России от 06.06.2016 № 399 приведены базовый суммарный расход на отопление, вентиляцию, ГВС и электроэнергию на общедомовые нужды, и расход тепловой энергии только на отопление и вентиляцию. С учетом того, что базовый уровень удельного годового расхода электрической энергии на общедомовые нужды равен 10,0 кВт·ч/м² для многоквартирных домов, оборудованных лифтом и 7,0 кВт·ч/м² для многоквартирных домов, не оборудованных лифтом, из приведенных данных может быть получена величина базовой энергии на ГВС (табл. 3.49).

Таблица 3.49

Базовый расход тепловой энергии на ГВС, кВт·ч/м²

Количество этажей	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Дома с лифтом	104	108	112	126	139	139	139	139	139	139	139

Сравнивая данные табл. 3.48 и 3.49 можно увидеть, что нормативы потребления ниже, чем установленный базовый уровень, особенно для многоэтажных домов. В дальнейшем при расчетах для домов с индивидуальным приготовлением горячей воды использовались базовые значения из табл. 3.49.

Удельный расход электроэнергии на общедомовые нужды многоквартирных жилых домов

$$q_{\text{одн}} = W_{\text{одн}} / (T \cdot S) \quad (3.8)$$

где $W_{\text{одн}}$ – расход электроэнергии на общедомовые нужды за расчетный период, кВт·ч.

Для выбранных домов был рассчитан удельный расход энергоресурсов и определен их класс энергоэффективности (табл. 3.50).

Таблица 3.50

**Расчет класса энергетической эффективности
(расчетный период 01.09.15-31.08.16)**

Адрес дома	Фактический ГСОП	Удельный расход энергетических ресурсов					Класс энергоэффективности
		на отопление и вентиляцию	на ГВС	электроэнергии на ОДН	суммарный	базовый	
ул. Дзержинского, 8	6170	305,1	104,0	1,9	410,9	329	E
ул. Циолковского, 1	6170	215,6	104,0	4,7	324,3	329	D
ул. Орджоникидзе, 19	6198	242,7	78,8	3,4	325,0	315	E
пр. Ленина, 30	6198	272,5	70,9	1,9	345,2	315	E
ул. Мичурина, 2	6156	262,7	126,0	3,7	392,4	296	F
ул. Никонова, 12	6198	236,8	108,2	2,9	347,9	296	E
пр. Ленина, 57	6198	201,3	79,4	3,0	283,7	296	D
ул. Космонавтов, 4	6209	187,7	148,9	2,0	338,6	283	E
ул. Суворова, 9а	6198	212,9	89,6	4,8	307,4	283	E
пр. Свердлова, 10	6209	167,1	110,1	5,4	282,7	283	D

В результате распределение домов по классам энергоэффективности следующее:

- D (Нормальный) 3 дома (2, 5 и 9 эт.)
- E (Пониженный) 6 домов (2 эт., 2×3 эт., 5 эт., 2×9 эт.)
- F (Низкий) 1 дом (5 эт.).

Если сопоставить отклонение расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию от базового (рис. 3.44), можно увидеть, что при оценке по суммарному расходу дома более энергоэффективны, чем при отклонению расхода на отопление и вентиляцию.

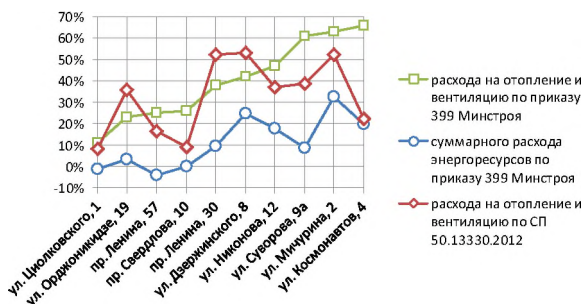


Рис. 3.44. Отклонение удельного расхода энергоресурсов от базового значения

Сравнивая энергоэффективность домов, установленную в приказе Минстроя России от 06.06.2016 г. № 399 и своде правил СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий» можно заключить, что корреляции требований по теплозащите в этих нормативных документах нет, что вызвано различными базовыми уровнями, установленными в документах, и учетом в приказе 399 также потребления ГВС и расхода электроэнергии на ОДН, которые на энергоэффективность здания не влияют.

3.6.3. Инструментальное теплотехническое обследование ограждающих конструкций зданий перед проведением капитального ремонта*

Здания старой постройки не соответствуют современным требованиям по энергосбережению [135]. С учетом того, что на теплоснабжение

* Работа выполнена совместно с Рязанцевым О.А., Кошличем Ю.А., Доценко Д.Ю., Бухановым Д.Г., под научным руководством автора

в РФ тратится по разным оценкам от 33 до 40% всего потребления первичной энергии, энергосбережение в жилищной сфере является наиболее эффективным способом энергосбережения. Как отмечено в работе [136]: «самым простым и распространенным способом повышения энергоэффективности зданий является улучшение теплозащитных характеристик ограждающих конструкций». Капитальный ремонт с выполнением утепления ограждающих конструкций существующего жилого и нежилого фонда позволяет снизить затраты на отопление, повысить комфортность проживания. Это позволяет одновременно решать и экологические задачи, так как снижение расхода ископаемого топлива приводит к снижению выбросов парниковых газов.

В Белгородской области, согласно данным АИС «Город», 5708 многоквартирных жилых домов (МКД) общей площадью 25,92 млн. м², из которых около 2/3 построены до 1992 г. (рис. 3.45). В 2012 г. в Белгородской области создан «Фонд содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства Белгородской области», задачей которого являлось обеспечение проведения капитального ремонта МКД. За последние 10 лет в области проведен капитальный ремонт 1592 МКД (40% зданий советской постройки), для большей части зданий капремонт включал утепление фасадов.

Эффективному утеплению ограждающих конструкций должно предшествовать профессиональное инженерное обследование конструкций и предоставление научно-обоснованных рекомендаций. Целями обследования зданий является:

- а) оценка фактического сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и расчет необходимой толщины утепления;
- б) обнаружение дефектов ограждающих конструкций;
- в) технико-экономическое обоснование утепления.

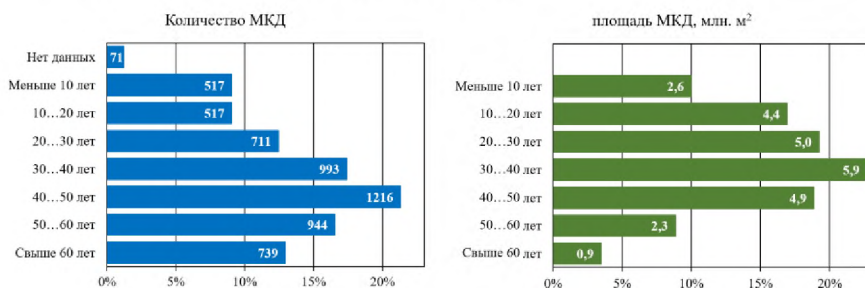


Рис. 3.45. Возраст МКД Белгородской области

В работе [137] на основании теплоэкономической модели теплозащитной оболочки зданий совместно с системой отопления (с учетом состава ограждающих конструкций и особенностей протекания термодинамических

процессов в ограждающих конструкциях и инженерном оборудовании) выявлено, что приведенное суммарное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций оказывает наибольшее влияние на величину приведенных затрат.

Причинами повышенных тепловых потерь в старых зданиях являются изношенные окна и межпанельные швы. Однако на практике встречаются и дефектные панели, у которых фактическое сопротивление теплопередаче наружных стен значительно ниже нормативного (требуемого) [138]. Дополнительными преимуществами утепления являются защита стеновых поверхностей от внешних воздействий: осадков, биологических образований, низких температур (что, в свою очередь, защищает внутренние поверхности от образования конденсата). Кроме того, наружное утепление выполняет функцию дополнительной звукоизоляции и продлевает срок эксплуатации сооружения.

Сопротивление теплопередаче характеризует теплозащиту отдельных ограждающих конструкций зданий и является нормируемым показателем. На основании нормируемых значений этой величины часто делаются выводы об уровне энергосбережения зданий. С нормируемыми значениями сопротивлений теплопередаче сравниваются расчетные значения [139].

Стоимость утепления наружных стен существующих зданий зависит от принятого конструктивного варианта. Вариант утепления с оштукатуриванием фасадных поверхностей является наиболее дешевым. Экономическая целесообразность теплозащиты определяется соотношением затрат на утепление и на получаемую в его результате экономию. Но относительно дешевые энергоносители в России не позволяют окупить дорогое утепление, и в большинстве случаев здания следует утеплять только до нормативных значений [140].

Проведение тепловизионной съемки перед капитальным ремонтом позволит уточнить дефектные области, получить исходные данные для расчета фактического значения сопротивления теплопередаче конструкции и определить толщину дополнительного слоя теплоизоляции. Необходимо отметить, что после производства работ по устранению дефектов тепловой защиты наружных ограждающих конструкций, выявленных в процессе термографирования, необходимо повторное термографическое обследование с целью определения качества выполнения ремонтно-строительных работ [138].

По утверждению авторов [141], в процессе эксплуатации ограждающие конструкции зданий имеют несколько повышенную влажность, что приводит к увеличению коэффициента теплопроводности материалов и снижению их теплоизолирующей способности. Из-за этого проектные и фактические значения сопротивлений теплопередаче в большинстве случаев отличаются. Основное влияние на снижение фактического сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций по отношению к проектным значениям оказывает их конструктивное исполнение, а не применяемые материалы [105].

Целью работы являлось исследование влияния точности определения теплозащитных характеристик стен утепляемого здания на требуемую толщину утеплителя и оценка необходимости проведения инструментальных измерений до капитального ремонта.

Характеристика обследуемых зданий и оценка экономии тепловой энергии при утеплении. В период 2020-2021 гг. были выполнены работы по теплотехническому обследованию зданий, участвующих в программах капитального ремонта на территории Белгородской области. Было обследовано 22 многоквартирных жилых домов (табл. 3.51), построенных из силикатного и керамического кирпича или железобетонных панелей, срок эксплуатации зданий – более 40-50 лет.

В состав работ входило:

- визуальное и тепловизионное обследование зданий;
- инструментальное измерение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций;
- тепловой расчет для определения толщины утеплителя и величины экономии энергоресурсов после утепления.

Для всех зданий было выбрано утепление стен минераловатной изоляцией.

Таблица 3.51

Характеристики обследованных жилых домов

№	Местоположение	Этажность	Материал стен и толщина	Площадь, м ²		Количество жителей, чел.
				отапливаемая	утепляемых стен	
1	г. Белгород	9	силикатный кирпич 0,5 м	2790,0	2252,5	108
2	г. Белгород	5	ж/б панель 0,35 м	4365,0	2183	191
3	г. Грайворон	3	силикатный кирпич 0,5 м	8382,2	2850,9	209
4	г. Грайворон	4	силикатный кирпич 0,5 м	3513,5	2087,9	120
5	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	4363,1	2265,8	223
6	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	2696,9	1331,5	138
7	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	5684,8	2802,1	269
8	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	5659,3	2825,6	264
9	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	5676,8	2802,1	264
10	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	2698,4	1511,1	124
11	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	2696,0	1517,5	134

№	Местоположение	Этажность	Материал стен и толщина	Площадь, м ²		Количество жителей, чел.
				отопливаемая	утепляемых стен	
12	г. Старый Оскол	5	силикатный кирпич 0,5 м	2695,1	1476,5	132
13	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	5727,7	2881,9	248
14	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	4356,2	2267,2	212
15	г. Старый Оскол	5	силикатный кирпич 0,5 м	3560,4	2214,2	151
16	г. Шебекино	5	ж/б панель 0,35 м	2693,6	1511,5	127
17	г. Шебекино	5	силикатный кирпич 0,5 м	2269,9	1713,4	331
18	г. Шебекино	5	ж/б панель 0,35 м	5520,3	2939,7	243
19	п. Разумное	5	ж/б панель 0,35 м	2601,0	1606,9	148
20	с. Купино	3	ж/б панель 0,35 м	1431,6	1294,1	71
21	с. Купино	2	глиняный кирпич 0,5 м	891,2	609,2	53
22	с. Купино	2	глиняный кирпич 0,5 м	894,6	605,1	57

В натуральном выражении экономия тепловой энергии от повышения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий составила от 30 Гкал до 330 Гкал в зависимости от площади зданий (рис. 3.46, 3.47), что составило от 17 % до 42 % от потребления, среднее значение – 28 %.

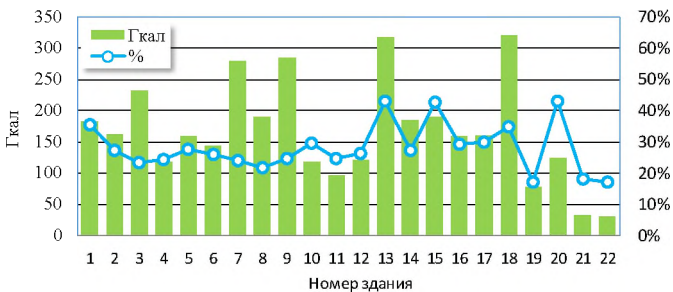


Рис. 3.46. Расчетная величина снижения расхода тепловой энергии на отопление после утепления

До капремонта жилья большинства домов оплачивали отопление по нормативу, утвержденному органами местных самоуправлений муниципальных образований, равному 0,015...017 Гкал/м² в месяц (при оплате 12 месяцев в году), или 209...237 кВт·ч/м² в год, что примерно на треть выше фактических затрат на отопление, о величине которого можно судить на основании данных зданий с установленными приборами учета тепловой энергии и по расчетным данным (рис. 3.47).



Рис. 3.47. Расчетный удельный годовой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию до и после утепления

Базовый уровень удельного годового расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию согласно приказу Минстроя России от 06.06.2016 г. № 399 для условий Белгородской области составляет:

2-х этажный дом	136 кВт·ч/м ² ;
3-х этажный дом	125 кВт·ч/м ² ;
4-х этажный дом	114 кВт·ч/м ² ;
5-и этажный дом	102 кВт·ч/м ² ;
9-и этажный дом	84 кВт·ч/м ² .

Приведенные расчеты показывают, что здания после капремонта будут соответствовать нормальному и повышенному классу энергетической эффективности. Но для подтверждения этого, необходимо выборочное инструментальное обследование после выполнения всех работ, так как на практике зачастую значительная часть зданий после капремонта не соответствует требованиям энергоэффективности. Это вызвано как недостаточной толщиной утеплителя, так и качеством выполняемых работ [142].

Тепловизионный осмотр зданий. Ограждающие конструкции зданий влияют на энергоэффективность в большей степени, чем электрические системы, системы отопления и отопления, вентиляции и кондиционирования. Распространенным методом выявления дефектов ограждающих конструкций является инфракрасная термография или тепловизионное исследование. Это надежный инструмент, объединяющий измерительные методы, различные схемы и типы анализа [143, 144]. В данной работе использовалась качественная и количественная оценка тепловых потерь при пассивной схеме анализа.

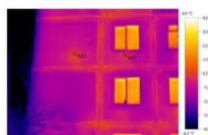
По сравнению с другими методами неразрушающего контроля инфракрасная термография является наиболее распространенным, хорошо изученным и широко применяемым методом [145].

Хорошее соответствие между экспериментальными данными и результатами моделирования подтверждают возможность дальнейшего развития этого метода. Его преимуществами являются: малое время измерений; низкие затраты; широкие возможности измерений. К недостаткам относятся: влияние качества тепловизионного оборудования на конечный результат; влияние

внешних условий (конвективный теплоперенос, отраженное излучение, состояние поверхностей в зависимости от погоды); значительное влияние на точность нестационарности процессов. Также применение тепловизионной техники должно выполняться квалифицированным персоналом, как во время измерений, так и при обработке данных [146].

Инфракрасная термография широко используется для качественной оценки тепловых свойств зданий и обнаружения разнообразных дефектов: утечек воздуха, тепловых мостов, нарушений целостности изоляции, трещин и т. д. Кроме того, она способна обеспечивать двухмерное тепловое изображение в реальном времени. Температура, полученная с помощью тепловизионного исследования, менее точна, чем с помощью контактных датчиков, поскольку измерение в значительной степени зависит от окружающих условий и свойств обследуемой поверхности [147].

При обследовании проводился визуальный осмотр для оценки состояния ограждающих конструкций, выявления общестроительных дефектов, осмотр теплового узла и системы трубопроводов системы отопления. Затем выполнялось тепловизионное обследование для выявления дефектов в тепловой защите ограждающих конструкций и выбора наиболее типичного участка стеновой конструкции для измерения сопротивления теплопередаче, а также для выявления особо проблемных мест для устранения дефектов в изоляции. Результаты обследования передавались заказчику, а далее подрядчику, выполняющему утепление. На рис. 3.48 приведены наиболее типичные неоднократно встречающиеся дефекты.



Параметры изображения:
Коэффициент излучения: 0,95
Отраж. темп. (°С): -1,0

Дефект 1: тепловые потери через стены в местах установки радиаторов, тепловые потери через межпанельные швы ($\Delta t = 1,1 \dots 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$)



Параметры изображения:
Коэффициент излучения: 0,95
Отраж. темп. (°С): -1,0

Дефект 2: тепловые потери через цоколь здания ($\Delta t = 1,8 \text{ } ^\circ\text{C}$)



Параметры изображения:
Коэффициент излучения: 0,95
Отраж. темп. (°С): -1,0

Дефект 3: тепловые потери через входные двери и отверстия в цоколе ($\Delta t = 7,6 \text{ } ^\circ\text{C}$)



Параметры изображения:
Коэффициент излучения: 0,95
Отраж. темп. (°С): -1,0

Дефект 4: тепловые потери через окна подъездов ($\Delta t = 11,3 \text{ } ^\circ\text{C}$)



Рис. 3.48. Типовые дефекты, выявленные при тепловизионной съемке

Обнаруженные дефекты тепловой защиты оценивались количественно и качественно. Среднее отклонение температуры поверхности по данным тепловизионного контроля в местах дефектов от средней температуры характерной ограждающей конструкции составляло:

$\Delta t \leq 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ – до 60 точек;

$\Delta t = 2 \div 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ – до 20 точек;

$\Delta t \geq 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ – до 15 точек.

Количество выявленных дефектов (в среднем на здание): от одного до нескольких десятков, в зависимости от критериев значительности дефекта. Типы дефектов: устаревшие и не соответствующие современным требованиям конструкции подъездных окон и дверей; местные нарушения строительных конструкций стен. Во всех случаях выявленные дефекты не являются существенными и не влияют на параметры утепления.

Оценка влияния сопротивления теплопередаче стен на необходимую толщину утеплителя. При капремонте зданий для расчета необходимой толщины утеплителя необходимо знать величину сопротивления теплопередаче стен. Инструментальное измерение сопротивления теплопередаче стен используется для получения полной информации не только о материале, но и его износе, ухудшении характеристик. Для утеплителя измерения не проводились, поскольку применяется новый материал и его характеристики подтверждены сертификатами соответствия.

Была проведена серия замеров измерителем плотности теплового потока и температур. Расчеты выполнены согласно ГОСТ Р 56623-2015 «Контроль неразрушающий. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций». Измерения приводились с использованием десятиканальных измерителей плотности тепловых потоков и температуры ИТП-МГ4.03/Х(1) «ПОТОК», фрагмент полученных данных представлен на рис. 3.49. Каждым прибором измерения сопротивления теплопередаче проводились в двух точках, кроме того измерялась внутренняя и наружная температура.

В примере среднее сопротивление теплопередаче (табл. 3.52) составило $(0,86 + 0,97) / 2 = 0,92 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$, при нормативном значении для г. Белгорода при соответствующих параметрах $2,86 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$.

Фактические значения сопротивления теплопередаче сплошных ограждающих конструкций отличаются от расчётных незначительно (табл. 3.53). Отклонения результатов измерений на однотипных зданиях в большинстве незначительные. Для домов были рассчитана необходимая толщина утеплителя (до нормируемого значения сопротивления теплопередаче). Несмотря на разную конструкцию ограждающих стен, толщина утеплителя для всех домов составила от 9 до 11 см, при этом использование измеренного или рассчитанного значения сопротивления теплопередаче утепляемой стены на результаты практически не повлияло.

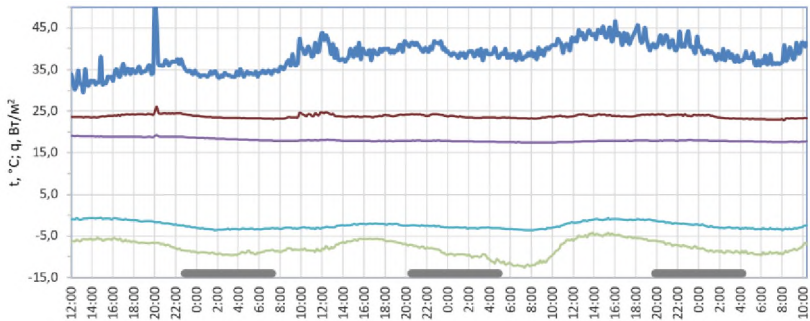


Рис. 3.49. Результаты замеров температур и теплового потока

Таблица 3.52

Результаты измерений сопротивления теплопередаче

	Температуры, °C				Тепловой поток q , Вт/м ²	Сопротивление теплопередаче R , (м ² ·К)/Вт
	поверхности стены		воздуха			
	внутри помещения $t_{ст.вн}$	снаружи помещения $t_{ст.нар.}$	внутри помещения $t_{вн}$	снаружи помещения $t_{нар.}$		
Точка 1 (дефектная)						
Интервал № 1	18,3	-3,2	23,5	-9,0	34,0	0,96
Интервал № 2	17,8	-2,8	23,8	-9,1	39,5	0,83
Интервал № 3	17,9	-2,4	23,8	-7,9	39,9	0,79
Среднее значение	18,0	-2,8	23,7	-8,7	37,8	0,86
Точка 2 (реперная)						
Интервал № 1	18,4	-4,27	23,5	-9,0	30,0	1,09
Интервал № 2	18,0	-3,91	23,8	-9,1	34,1	0,96
Интервал № 3	18,5	-2,98	23,8	-7,9	37,3	0,85
Среднее значение	18,3	-3,7	23,7	-8,7	33,8	0,97
Отклонение значений в точках 1 и 2						-12%

Из результатов анализа можно заключить, что даже заметное отличие расчетного и фактического сопротивления теплопередаче утепляемых стен приводит к небольшому отклонению в проектной величине толщины утеплителя. Можно рекомендовать типовую толщину утепления от 10 до 12 см минераловатного утеплителя.

Таблица 3.53

Сравнение данных замеров и расчетных значений

№	Сопротивление теплопередаче, (м ² ·°С)/Вт			Расчет толщины утеплителя		
	Фактическое значение (по данным измерений)	Расчётное значение	Отклонение	По измеренному значению	По расчетному значению	Отклонение
1	0,77	0,869	-13%	10,1	9,6	-5%
2	0,83	0,785	5%	9,9	9,9	1%
3	0,77	0,870	-13%	10,1	9,6	-5%
4	1,03	0,861	16%	9,0	9,6	6%
5	0,87	0,774	11%	9,7	9,9	2%
6	0,62	0,775	-25%	10,7	9,9	-7%
7	0,66	0,780	-18%	10,6	9,9	-6%
8	0,90	0,756	16%	9,6	9,9	4%
9	0,65	0,792	-22%	10,6	9,9	-6%
10	0,80	0,769	4%	10,0	9,9	-1%
11	0,92	0,782	17%	9,4	9,9	5%
12	0,77	0,856	-11%	10,1	9,6	-5%
13	0,61	0,769	-26%	10,8	9,9	-8%
14	0,77	0,794	-3%	10,1	9,9	-2%
15	0,74	0,850	-15%	10,2	9,6	-6%
16	0,63	0,787	-25%	10,7	9,9	-7%
17	0,69	0,835	-21%	10,4	9,6	-8%
18	0,61	0,782	-28%	10,8	9,9	-8%
19	1,15	0,772	33%	8,6	9,9	16%
20	0,67	0,759	-13%	10,5	9,9	-6%
21	1,01	0,977	3%	9,1	9,1	-1%
22	1,04	0,996	4%	9,0	9,1	1%

Выводы. В работе приводится анализ результатов инструментального теплотехнического обследования 22 многоквартирных жилых домов, проводимых перед капитальным ремонтом. Тепловизионное обследование позволяет качественно и количественно определять дефекты тепловой изоляции ограждающих конструкций. Но, в конечном счете, оно не влияет на параметры утеплителя при проведении капитального ремонта зданий и представляется излишним.

Отклонения фактического измеренного сопротивления теплопередаче от расчетного составило в среднем 16 % и достигало 33 %. В то же время само сопротивление теплопередаче стены до утепления много меньше значения сопротивления теплопередаче утеплителя и итогового сопротивления много-

слойной стеновой конструкции. Отклонения толщины утеплителя, определенного по расчетным характеристикам стены до утепления, и по данным инструментального измерения сопротивления теплопередачи составило в среднем 5 мм (6 %), и только в одном случае – более 1 см. Таким образом, ошибка в определении сопротивления теплопередаче утепляемой стены не влияет на необходимую толщину утеплителя. Поэтому инструментальное обследование ограждающих конструкций зданий перед капитальным ремонтом представляется избыточным. Можно рекомендовать использовать при капитальном ремонте жилых зданий советской постройки типовую толщину утепления, которая для климатических условий Белгородской области составит 12 см минераловатного утеплителя.

3.6.4. Анализ энергоэффективности зданий после капитального ремонта

Одним из методов повышения энергоэффективности зданий является их утепление, производимое во время капитального ремонта.

В 2015 г. в г. Белгороде и Белгородском районе был произведён капитальный ремонт ряда многоквартирных жилых домов. В составе выполняемых работ было предусмотрено утепление наружных стен с использованием материала Izovol плотностью 150 кг/м^3 и толщиной 80 мм. Так как большинство отремонтированных зданий были небольшой площади, приборы учета теплоты были установлены только на зданиях площадью более 3000 м^2 . Целью работы было инструментальные измерения теплозащитных свойств ограждающих конструкций после утепления, определение удельного расхода теплоты на отопление и класса энергосбережения зданий на основании показаний приборов учета.

С целью контроля качества работ в январе-феврале 2016 г. было проведено измерение теплозащитных свойств стен для 15 домов (табл. 3.54). Работы проводились согласно требованиям ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций» (в наст. время ГОСТ Р 56623-2015) с использованием 10-канального измерителя плотности тепловых потоков и температуры ИТП-МГ4.03/Х(1) «ПОТОК». Результаты измерений представлены в табл. 3.55.

Как видно из данных таблицы, требуемого сопротивления теплопередаче стен, которое согласно требованиям СП 50.13330-2024 «Тепловая защита зданий» для условий Белгородской области должно составлять не менее $2,86 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$, в большинстве случаев достичь не удалось. Это можно объяснить низким качеством работ и наличием термических неоднородностей из-за крепёжных элементов (рис. 3.50).

Таблица 3.54

Список обследованных домов (г. Белгород)

№	Адрес	Этаж-ность	Тип стен	Площадь, м ²
1	ул. Попова, 68А	9	Силикатный кирпич – 0,54 м	2478,9
2	пр. Б. Хмельницкого, 71	5	Силикатный кирпич – 0,5 м.	3456
3	пр. Б. Хмельницкого, 120	5	Панельное здание – 0,4 м.	4685,21
4	ул. Костюкова, 22	5	Панельное здание – 0,4 м.	6256
5	ул. Костюкова, 53	5	Панельное здание, штукатурка	4817,7
6	ул. Мичурина, 52	5	Силикатный кирпич – 0,55 м., штукатурка	3861,8
7	ул. Мокроусова, 3	5	Панельное здание – 0,4 м., штукатурка	4805,52
8	ул. Некрасова, 30	5	Панельное здание – 0,4 м., штукатурка	4852,9
9	ул. Садовая, 13а	5	Силикатный кирпич – 0,55 м.	3611,5
10	ул. Садовая, 67	5	Панельное здание – 0,4 м.	3766,5
11	пр. Славы, 76/9	5	Силикатный кирпич – 0,51 м., штукатурка	8786
12	ул. Чехова, 30	5	Панельное здание – 0,4 м., штукатурка	3005,8
13	ул. Чумичова, 59	5	Панельное здание – 0,4 м., штукатурка	3651
14	ул. Шершнева, 5	4	Силикатный кирпич – 0,55 м	2699,4
15	ул. Шорса, 5	5	Панельное здание – 0,4 м.	2974,6

Таблица 3.55

Результаты замеров сопротивления теплопередаче утеплённых стен

№	Температуры, °С				Тепловой поток q, Вт/м ²	Сопротивление теплопередачи R, (м ² ·К)/Вт
	поверхности стены		воздуха			
	внутри помещения t _{ст.вн}	снаружи помещения t _{ст.нар.}	внутри помещения t _{вн}	снаружи помещения t _{нар}		
1	20,0	-15,2	24,8	-15,0	16,71	(1) 2,40
	18,5	-15,2			21,78	(2) 1,84
Отклонение значений в однородной (1) и дефектной (2) зонах 23%						
2	22,5	-15,9	26,5	-16,5	19,15	2,25
3	24,7	2,7	23,0	2,7	9,54	2,13
4	25,6	1,7	23,4	1,5	9,43	2,31
5	20,6	-16,1	23,4	-15,0	22,22	(1) 1,73
	20,1	-16,6			34,86	(2) 1,10
Отклонение значений в однородной (1) и дефектной (2) зонах 36%						

№	Температуры, °С				Тепловой поток q, Вт/м ²	Сопротивление теплопередачи R, (м ² ·К)/Вт
	поверхности стены		воздуха			
	внутри помещения t _{ст.вн}	снаружи помещения t _{ст.нар.}	внутри помещения t _{вн}	снаружи помещения t _{нар.}		
6	25,4	0,4	27,2	1,2	6,57	3,97
7	21,3	-2,2	21,9	-1,8	8,0	2,95
8	22,1	-1,1	23,7	-3,3	9,51	2,84
9	21,7	0,9	24,6	1,1	12,88	1,82
10	22,7	2,7	23,8	2,1	11,92	1,89
11	24,8	-1,7	26,2	-2,1	13,3	2,12
12	20,1	-15,1	21,7	-13,8	18,56	1,92
13	19,6	-1,1	22,3	-0,6	10,01	(1) 2,29
	19,4	-0,8			11,51	(2) 2,01
Отклонение значений в однородной (1) и дефектной (2) зонах 12%						
14	23,6	-1,2	23,3	-1,0	10,14	2,40
15	14,0	-14,0	25,6	-15,5	15,52	2,67

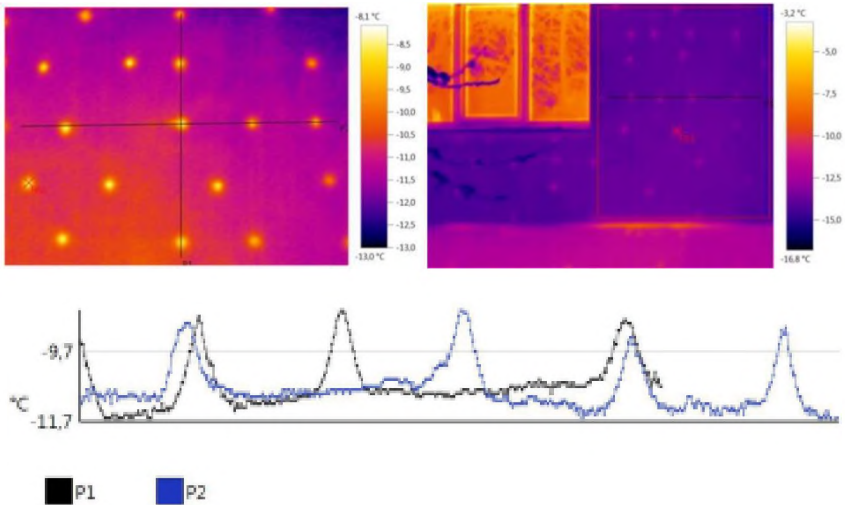


Рис. 3.50. Тепловизионная съемка утепленных стен

Для определения класса энергоэффективности был рассчитан удельный расход тепловой энергии на отопление по показаниям приборов учета. Так как имелись данные не за весь отопительный сезон, при определении удельного расхода теплоты на отопление использовался расчётный период, указанный в табл. 3.56.

Таблица 3.56

Климатические параметры

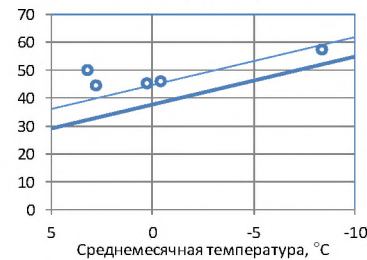
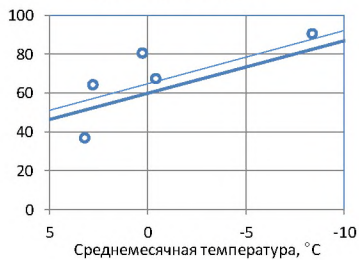
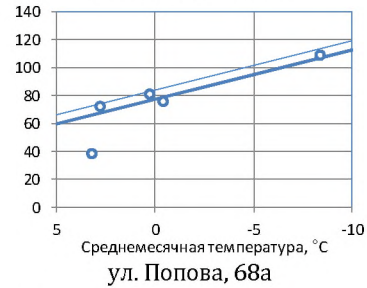
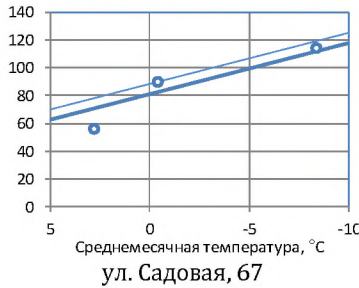
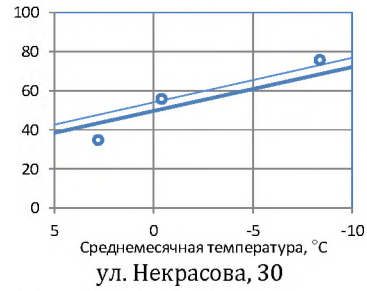
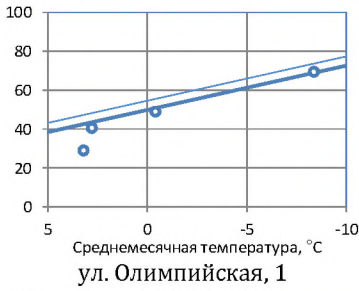
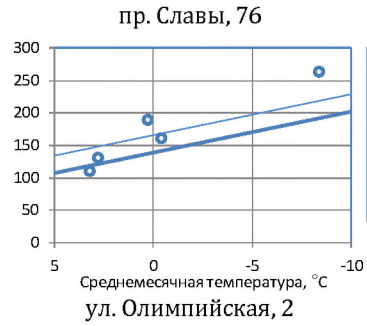
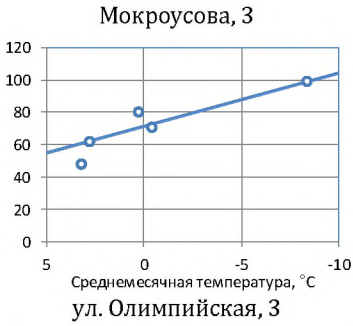
№	Адрес	Отопительный сезон (расчетный период)				Температура в помещении, °С	ГСОП расчетного периода
		начало (2015 г.)	конец (2016 г.)	Продолжительность, сутки	Средняя температура, °С		
1	г. Белгород ул. Щорса, д. 5	08.10	26.02	142	-0,7	25,6	3735
2	г. Белгород ул. Костюкова д. 22	09.10	26.02	141	-0,7	23,4	3403
3	г. Белгород ул. Мокроусова, д. 3	09.10	26.02	141	-0,7	21,9	3187
4	г. Белгород пр. Славы, д. 76/9	08.10	26.02	142	-0,7	26,2	3820
5	п. Северный, ул. Олимпийская, д. 3	09.10	20.01	104	-0,1	24	2506
6	п. Северный, ул. Олимпийская, д. 2	01.11	20.01	81	-1,1	24	2033
7	п. Северный, ул. Олимпийская, д. 1	01.11	20.01	81	-1,1	24	2033
8	г. Белгород ул. Попова, д. 68а	08.10	26.02	142	-0,7	26	3791
9	г. Белгород ул. Некрасова, д. 30	01.10	26.02	149	-0,2	23,8	3576
10	г. Белгород ул. Садовая, д. 67	01.10	26.02	149	-0,2	23,8	3576

Градусо-сутки расчётного периода определялись по его продолжительности, температуре внутри здания, определённой при проведении замеров, и средней фактической температуре наружного воздуха в рассматриваемый период.

На рис. 3.51 представлены значения расхода теплоты на отопления за месяц по приборам учета и расчетная отопительная нагрузка здания.

В большинстве зданий график отопительной нагрузки показывает хорошую степень отрегулированной отопления. Неотрегулированная система отопления в зданиях по адресу Попова 68а и Садовая. 67, что вызывает повышенный расход теплоты.

Определённый по представленным данным класс энергосбережения приведен в табл. 3.57.



○ По прибору учета — Расчетный при фактической температуре в здании 22°C

Рис. 3.51. Месячный (приведенный к 30 сут.) расход теплоты на отопление, Гкал

Таблица 3.57

Удельный расход тепловой энергии на отопление и класс энергетической эффективности

Номер дома (табл. 3.56)	Характеристики здания			Расход тепловой энергии на отопление, q^{top} , Вт/($M^3 \cdot C$)			Отклонение, %	Класс энергосбережения*
	Площадь, m^2	Отапливаемый объем, m^3	Число этажей	Расчетный	Фактический	Нормируемый		
1	2 974,60	8626,3	5	0,371	0,360	0,359	0%	C
2	6 256,51	18143,9	5	0,370	0,361	0,359	1%	C
3	4805,52	13936,0	5	0,371	0,364	0,359	1%	C
4	8268,7	23979,2	5	0,419	0,422	0,359	17%	D
5	2965	8598,5	5	0,420	0,404	0,359	12%	C-
6	2948,3	8550,1	5	0,420	0,459	0,359	28%	D
7	4798,3	13915,1	5	0,420	0,443	0,359	23%	D
8	2 478,90	7188,8	9	0,380	0,398	0,319	25%	D
9	4 852,90	14073,4	5	0,399	0,348	0,359	-3%	C
10	3 766,50	10922,9	5	0,396	0,402	0,359	12%	C-

* По СП 50.13330.2012: «С», «С-» – нормальный; «D» – пониженный (на момент выполнения работ приказ Минстроя от 06.06.2016 г. № 399 «Об утверждении Правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов» еще не был принят).

Можно сделать вывод, что значительная часть зданий после капремонта не соответствует требованиям энергоэффективности. Это вызвано как недостаточной толщиной утеплителя, так и качеством выполняемых работ.

3.7. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ИНДИВИДУАЛЬНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В УСЛОВИЯХ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ*

3.7.1. Методика определения суммарных затрат на отопление и выбора оптимальной конструкции энергосберегающего дома

Задачей раздела является оценка наиболее эффективной конструкции и системы отопления индивидуального жилого дома. При строительстве домов можно снизить стоимость дома, но потом из-за низкого сопротивления теплопередаче стен иметь большие затраты на отопление. С другой стороны, увеличения толщины стен приводит к удорожанию дома. В работе предлагается в качестве критерия оптимальности

* Работа выполнена студентами Д.А. Поправкой и Д.В. Краснощековым под научным руководством автора

использовать «стоимость владения», включающую затраты на сооружение дома и на его отопление в течение определённого промежутка времени (30-50 лет).

Для определения потерь теплоты в жилом доме был разработан автоматизированный теплотехнический расчёт согласно СНиП и работам [16, 40, 43, 44, 48–50, 62–64, 148–154, 154, 155]. По полученной максимальной отопительной нагрузке определялся график отопительной мощности и годовые затраты на отопление (рис. 3.52). При расчёте затрат на отопления в соответствии с рекомендациями СНиП приход теплоты с солнечной радиацией не учитывался, поэтому на рис. 3.52 отопительная нагрузка равна нулю при температуре 17°C. Отопление осуществлялось при наружной температуре ниже 8°C, среднемесячная температура воздуха принята согласно [156].

Годовые затраты
на отопление
 $Q_{\text{год}}^{\text{от}} = \sum q_i \cdot 3600 \cdot 24 \cdot n_i$, кДж

Месяц	I	II	III	IV	X	XI	XII
Средняя температура $t_{\text{ср}}$	-8,5	-6,4	-2,5	7,5	6,4	0,3	-4,5
Отопительная нагрузка q_b , кВт	5,04	4,61	3,82	1,80	2,02	3,26	4,23

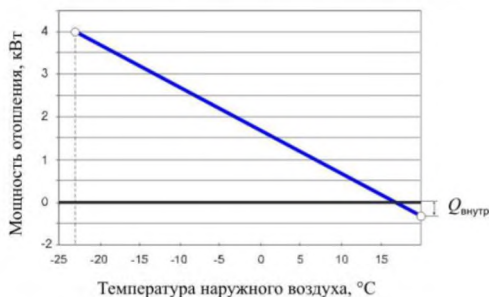


Рис. 3.52. Пример расчёта отопительной нагрузки для проекта жилого дома О-003–3



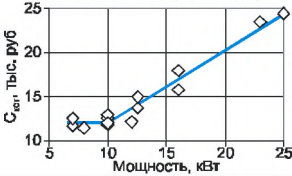


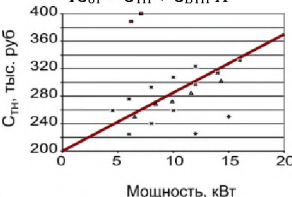
Для отопления рассмотрены четыре системы (табл. 3.58):

- 1) газовое с газовым котлом и конвективными радиаторами;
- 2) централизованное с конвективными радиаторами;
- 3) электрическое – система тёплый пол;
- 4) отопление с помощью теплового насоса и водяного тёплого пола.

В табл. 3.58 приведены примерные затраты на монтаж этих систем и их эксплуатацию, которые определены по средним ценам в Белгородской области. Количество устанавливаемых секций конвективных нагревателей определялось по соотношению: 1 секция на 2 м² отапливаемой площади. Стоимость газовых котлов и тепловых насосов оценивалась по их мощности, для этого определена регрессионная зависимость цены оборудования от его мощности.

Таблица 3.58

Характеристики систем отопления

Тип	Затраты	
	Капитальные	Текущие
Централизованное 	Водяная система отопления с конвективными радиаторами $IC_{от} = 1,2(A/2 C_{рад})$	Стоимость теплоты $P_{год, от} = \frac{Q_{год}^{от}}{4,186 \cdot 10^6} C_{Гкал}$
Газовое 	Газовый отопительный котёл и водяная система отопления с конвективными радиаторами $IC_{от} = C_{кот} + 1,2(A/2 \cdot C_{рад})$ 	$P_{год, от} = \frac{Q_{год}^{от}}{Q_H \eta_{кот}} C_{пр.г}$
Электрическое 	Система электрический тёплый пол $IC_{от} = C_{ЭТП} \cdot A$	$P_{год, от} = \frac{Q_{год}^{от}}{3600} C_{э.э}$
Тепловой насос 	Теплонасосная установка и система «водяной тёплый пол» $IC_{от} = C_{ТН} + C_{ВТП} \cdot A$ 	$P_{год, от} = \frac{Q_{год}^{от}}{\mu 3600} C_{э.э}$

Обозначения: A – площадь дома, m^2 ; $C_{рад}$ – стоимость секции конвективного радиатора, руб.; $C_{кот}$ – стоимость котла, руб.; $Q_{год}^{от}$ – годовые затраты теплоты на отопление, kJ ; $C_{Гкал}$ – стоимость $Gкал$, руб.; Q_H^p – теплота сгорания природного газа, kJ/m^3 ; $C_{пр.г}$ – стоимость природного газа, руб./ m^3 ; $\eta_{кот}$ – КПД котла; $C_{ЭТП}$ – стоимость системы электрический тёплый пол с монтажом, руб./ m^2 ; $C_{э.э}$ – стоимость электроэнергии, руб./ kWh ; $C_{ТН}$ – стоимость теплонасосной установки, руб.; $C_{ВТП}$ – стоимость системы водяной тёплый пол с монтажом, руб./ m^2 ; μ – коэффициент преобразования энергии теплового насоса

Для материалов стен рассматривались строительные и теплоизоляционные материалы, которые можно приобрести в Белгородской области. Затраты на сооружение складывались из стоимости материалов и стоимости работ по возведению ограждающих конструкций. Из табл.

1.11 (гл. 1) видно, что одинаковые потери через стены могут быть обеспечены при довольно различающейся стоимости материалов.

В качестве суммарных затрат рассматривалась сумма на сооружение жилого дома без отделки (фундамент, стены, перекрытия, крыша, окна, двери) и затраты на систему отопления (рис. 3.53).

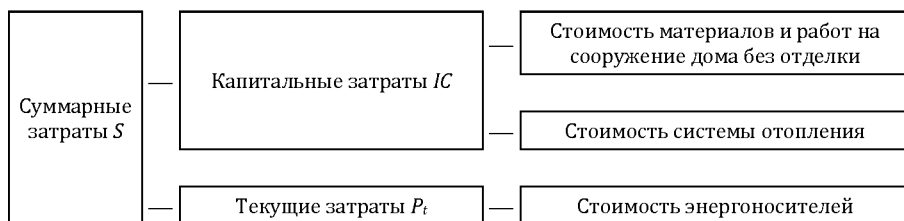


Рис. 3.53. Составляющие стоимости дома

Стоимость энергоносителей в t -м году C_t определялась с учётом увеличения их стоимости k .

$$C_t = C_0 (1 + k/100)^t, \quad (3.9)$$

Коэффициент k определялся по среднему изменению цен на энергоносителя за последние 8 лет и был принят 1,12 для электроэнергии, 1,17 для природного газа и 1,15 для централизованного теплоснабжения.

Годовые дисконтированные затраты на отопление в t -м году определялись с учётом ставки дисконтирования (индекса инфляции) r , %:

$$P_t = \frac{C_t Q_{\text{год}}}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^t}. \quad (3.10)$$

Значение r задавалось равным 12%.

Суммарные затраты на строительство и отопление через N лет имели вид

$$S = IC + \sum_{t=1}^N P_t. \quad (3.11)$$

Теплотехнический расчёт был реализован в электронных таблицах Excel. В разработанном расчёте указывается номер типового проекта дома, по которому автоматически устанавливаются характеристики здания, также для этих характеристики могут задаваться произвольные значения. Может быть задано 4 вида отопления. Толщина и материал

стен и перекрытий могут быть взяты из типовых проектов, задаваться произвольно или подбираться с учётом заданного критерия оптимизации (в качестве которого в дальнейшем использовалось минимальные суммарные затраты S на строительство и отопление через N лет).

Выбор оптимального варианта заключался в подборе материалов и толщины изоляции для обеспечения минимальных суммарных затрат через заданное количество лет. Алгоритм выбора оптимального варианта, реализован на языке Visual Basic (рис. 3.54).

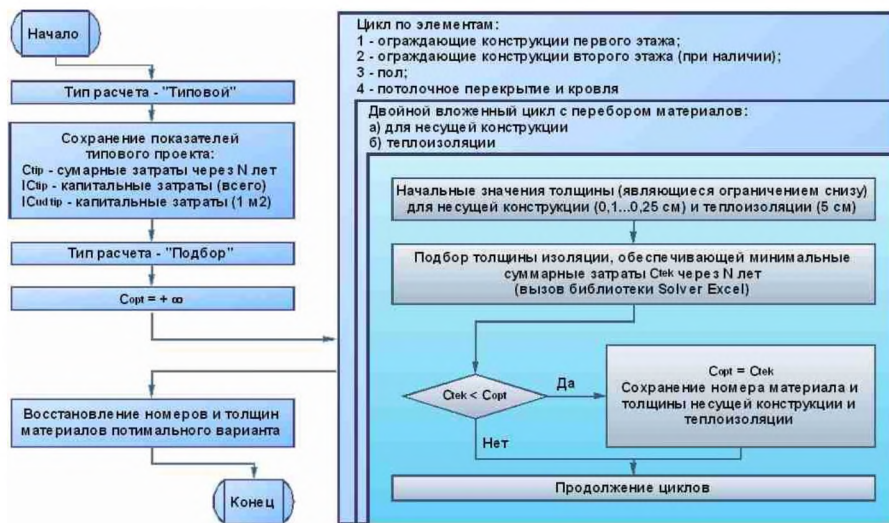


Рис. 3.54. Блок-схема расчёта

Алгоритм обеспечивает перебор всех возможных материалов для стен, пола, потолка и выбор варианта с наименьшими суммарными затратами.

3.7.2. Сравнение теплотерь домов различной конструкции для трёх климатических зон

С помощью разработанного расчёта были рассмотрены шесть конструкций одно и двухэтажных жилых домов площадью 70 м² с соотношением длин стен 1:1; 1:1,33; 1:2 (табл. 3.59). Стены домов были выполнены из пенобетонных блоков, для теплоизоляции применялся пенополистирол. Перекрытия и пол выполнены из железобетонных плит, заполнителя Izovol и дерева для отделки. Все конструкции удовлетворяли требованиям СНиП 23-02-2003 (действующего на момент выполнения

работ). Сравнение затрат на отопление домов для условий Белгородской области приведены в табл. 3.60.

Таблица 3.59

Характеристики домов для сравнения

Показатель	Один этаж			Два этажа		
	1:1	4:3	2:1	1:1	4:3	2:1
Площадь общая	70	70	70	70	70	70
Площадь ограждающих конструкций	100,5	102	106,5	142,2	143,4	150,6
Количество стен	4	4	4	4	4	4
Периметр	33,5	34	35,5	23,7	23,9	25,1
Высота стен	3	3	3	6	6	6

Таблица 3.60

Энергопотребление домов разной конструкции

Отношение сторон	Потери тепла, кВт	
	Одноэтажное здание	Двухэтажное здание
1:1	6,85 (100%)	7,44 (109%)
4:3	6,88 (100%)	7,47 (109%)
2:1	6,98 (102%)	7,63 (111%)

Как видно из табл. 3.60 одноэтажные дома характеризуются меньшими теплотерями, чем многоэтажные, что связано с разной площадью наружных стен. При этом уменьшенная площадь пола и крыши не компенсирует возросшие потери через наружные стены. Вид планов домов на потери почти не влияет.

Далее были рассмотрены три климатические зоны и энергосберегающие решения для индивидуального жилищного строительства в Белгородской области сравниваются с регионами с более холодным климатом (г. Москва и г. Пермь). Средние температуры в отопительный период в этих города представлены в табл. 3.61.

Таблица 3.61

Средние температуры (СНИП 23-01-99)

Город	Номер месяца								Средняя температура самой холодной пятидневки
	I	II	III	IV	IX	X	XI	XII	
Белгород	-8,5	-6,4	-2,5	7,5	12,9	6,4	0,3	-4,5	-23
Москва	-10,2	-9,2	-4,3	4,4	4,3	-1,9	-7,3	4,1	-28
Пермь	-15,3	-13,4	-6,9	2,6	1,4	-6,3	-12,7	1,5	-35

Результаты расчётов отопительной мощности для одноэтажных и двухэтажных индивидуальных домов в условиях трёх регионов (г. Белгород, г. Москва и г. Пермь) при одинаковой стоимости энергоносителей представлены в табл. 3.62.

Таблица 3.62

**Характеристики домов для сравнения
(при централизованном отоплении)**

Показатель	Один этаж			Два этажа		
	1:1	4:3	2:1	1:1	4:3	2:1
Стоимость дома, тыс. руб.	1889,8	1904,4	1948,2	1441	1449,3	1499,3
тыс. руб./м ²	26,98	27,26	27,83	41,17	41,41	42,84
Затраты на отопление (г. Белгород), тыс. руб.						
за 10 лет	137,8	138,7	141,3	151,9	152,6	156,7
за 20 лет	303,1	305,0	310,7	334,1	335,6	344,7
за 30 лет	518,5	521,7	531,4	571,4	574	589,5
Затраты на отопление (г. Москва), тыс. руб.						
за 10 лет	171,3	172,4	175,5	186,4	187,2	192,2
за 20 лет	376,8	379,1	386,0	409,9	411,7	422,8
за 30 лет	644,4	648,4	660,2	701,0	704,1	723,1
Затраты на отопление (г. Пермь), тыс. руб.						
за 10 лет	206,7	208,0	211,6	219,1	220,1	225,9
за 20 лет	454,6	457,3	465,4	481,9	484,0	496,9
за 30 лет	777,6	782,1	795,9	824,2	827,8	849,8

Соотношение отопительной мощности (в %) для г. Белгорода, г. Москвы и г. Перми для одноэтажных и двухэтажных жилых домов приведено на рис. 3.55. Можно сделать вывод, что в средней полосе России (г. Москва, широта 55°) затраты на отопление будут в среднем на 25% больше, чем в г. Белгороде, а в континентальной части России (г. Пермь, широта 58°) – на 50% больше.

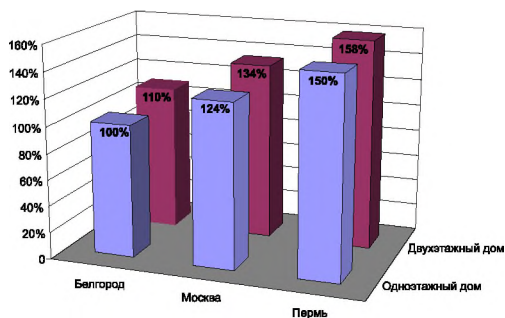


Рис. 3.55. Отопительная мощность индивидуальных домов для разных регионов

Снижение энергопотребления типового проекта в разных климатических зонах

Для расчёта оптимальной строительной конструкции выбран проект D-149-1P (рис. 3.56) строительной компании «РУССТРОЙ» (г. Белгород) площадью 148,7 м², так как в настоящее время один из домов, имеющих в качестве несущей стены кирпичную кладку, характеризуется минимальной стоимостью 1 м² (21,6 тыс. руб.).

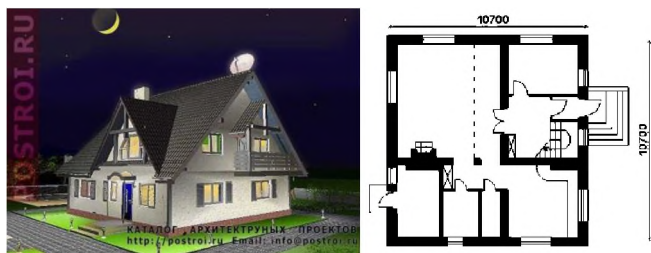


Рис. 3.56. Проект D 149-1P

В качестве энергосберегающего дома рассматривался такой, который обеспечивает минимальные суммарные затраты на сооружение и отопление через определённое количество эксплуатации.

Выбранный типовой проект рассматривался для условий трёх регионов России (Белгород, г. Москва, г. Пермь) и для разных типов отопления дома (газовое, централизованное и с помощью теплового насоса). Электрическое не брали в расчёт ввиду его дороговизны. Оптимизация проекта жилого дома проводилась с целью уменьшения затрат на строительство индивидуального дома и суммарных затрат на отопление (расчётный период 30 лет). Оптимизация производилась за счёт внесенных изменений в конструкцию типового проекта. Затем заново просчитывались затраты на постройку дома и затраты на его отопление. Результаты для трёх регионов показаны в табл. 3.63 и на рис. 3.57.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что оптимизация достигается за счёт снижения толщины строительных материалов, обладающих плохой теплоизоляцией, и, следовательно, увеличивающих теплопотери и нагрузку на отопление, заменой их на теплоизоляционные материалы на минераловатной или синтетической основе, чем достигаются высокие показатели по теплозащите жилого дома в сравнении с типовым проектом. Так как теплоизоляционные материалы сравнительно дешёвые, то снижаются не только суммарные затраты на отопление индивидуального дома, но и стоимость строительства рассматриваемого проекта.

Таблица 3.63

Оптимизация типового проекта

Показатели	Типовой			Оптимизация		
	Белгород	Москва	Пермь	Белгород	Москва	Пермь
Газовое отопление						
Стены						
Пенобетон, м	0,4			0,2	0,2	0,2
Кирпич, м	0,12			0,12	0,12	0,12
Утеплитель (Ursa), м	-			0,076	0,088	0,098
Отопительная мощность						
Максимальная, кВт	9,02	10,18	11,82	8,09	8,64	9,65
За год, ГДж	70,9	87,8	105,4	62,6	72,9	84,1
Стоимость дома						
Общая, тыс. руб.	2844			2756	2778	2795
За 1 м ² , тыс. руб.	21,8			21,1	21,3	21,4
Затраты через 30 лет						
На отопление, тыс. руб.	334,8	415	497,8	295,9	344,3	397,1
Суммарные, тыс. руб.	3178,4	3258,6	3341,4	3052,3	3122	3192,4
Централизованное отопление						
Стены						
Пенобетон, м	0,4			0,2	0,2	0,2
Кирпич, м	0,12			0,12	0,12	0,12
Утеплитель (Ursa), м	-			0,14	0,16	0,176
Отопительная мощность						
Максимальная, кВт	9,02	10,18	11,82	5,97	6,31	7
За год, ГДж	70,9	87,8	105,4	43,7	50,2	57,9
Стоимость дома						
Максимальная, кВт	2827			2887	2935	2975
За год, ГДж	21,6			22,1	22,5	22,8
Затраты через 30 лет						
На отопление, тыс. руб.	815	1010,1	1211,8	503	577,3	665,8
Суммарные, тыс. руб.	3642,1	3837,2	4038,9	3390	3511,8	3641,1
Отоплением тепловым насосом						
Стены						
Пенобетон, м	0,4			0,2	0,2	0,2
Кирпич, м	0,12			0,12	0,12	0,12
Утеплитель (Ursa), м	-			0,076	0,077	0,085
Отопительная мощность						
Максимальная, кВт	9,02	10,18	11,82	8,33	9,09	10,2
За год, ГДж	70,9	87,8	105,4	64,8	77,2	89,5
Стоимость дома						
Общая, тыс. руб.	3256			3154	3163	3174
За 1 м ² , тыс. руб.	24,9			24,1	24,2	24,3
Затраты через 30 лет						
На отопление, тыс. руб.	228,8	283,6	340,3	209,2	249,2	288,9
Суммарные, тыс. руб.	3484,5	3539,2	3595,9	3362,7	3412,2	3462,6

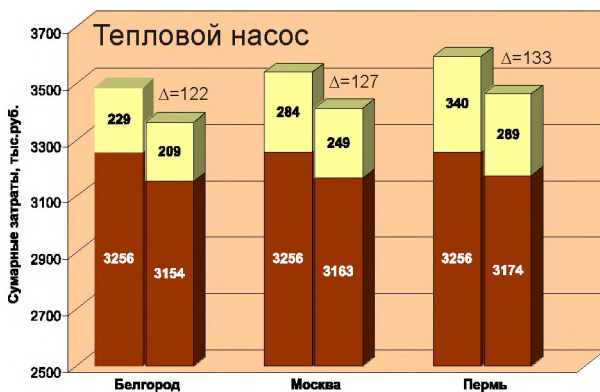
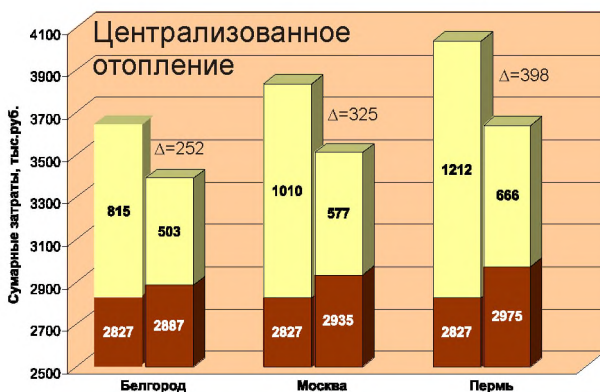
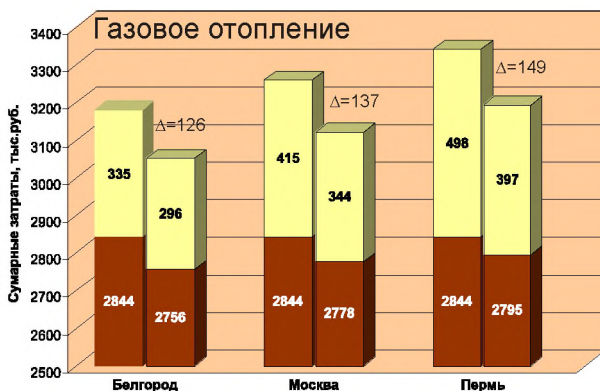


Рис. 3.57. Оптимизация типовых проектов:

■ – стоимость дома; ■ – затраты на отопление за 30 лет; левый столбец – типовой проект; правый – проект после оптимизации

Согласно результатам, эффективность оптимизации теплоизоляционных конструкций дома тем выше, чем выше стоимость отопления. Возможная экономия суммарных затрат, получаемая для централизованной системы отопления, в 3 раза выше, чем для газового отопления.

При дешёвом отоплении снижение суммарных затрат достигается в основном за счёт уменьшения стоимости здания за счёт применения более эффективных теплоизоляционных материалов, при дорогом отоплении экономия достигается за счёт увеличения стоимости здания для обеспечения меньших теплопотерь. Можно сделать вывод, что оптимизация теплопотерь в заданиях наиболее эффективна в условиях высокой стоимости энергоресурсов.

3.7.3. Экономическое обоснование снижения энергопотребления для типовых проектов домов

Снижение энергопотребления в типовых проектах ЖБК-1 в условиях Белгородской области

Были рассмотрены типовые конструкции домов Белгородского ЖБК-1 площадью от 50 до 110 м². Для расчёта характеристики домов были описаны стандартным образом (табл. 3.64).

Таблица 3.64

Типовые проекты жилых домов Белгородского ЖБК-1 площадью до 110 м²












№	Тип проекта	Первый этаж Второй этаж (мансарда)						
		Площадь, м ²	Площадь ограждающих конструкций, м ²	Количество стен	Периметр, м	Высота стен, м	Площадь остекления, м ²	Площадь дверей, м ²
1	О-002-3	68,5	90,58	10	38,9	2,6	8,82	1,74
2	О-003-3	68,07	81,98	4	35,2	2,6	7,8	1,74
3	О-006-4	109,6	103,16	9	44	2,6	9,5	1,74
4	О-031-4	89,85	99,98	10	42,8	2,6	7,8	3,5
5	О-046-3	66,33	77,86	4	33	2,6	6,2	1,74
6	О-050-3	68,75	81,96	6	36	2,6	9,9	1,74
7	М-009-3	36	56,36	4	24	2,6	4,3	1,74
		23,32	44,59	4	19,7	2,6	6,63	-
8	М-013-2	40,65	72,62	7	31	2,6	6,24	1,74
		26,76	55,9	4	23	2,6	3,9	-
9	М-015-4	76,89	108,46	7	45	2,6	6,8	1,74
		42,29	77,87	4	31	2,6	2,73	-
10	Д-017-4	52,4	106,62	8	45,6	2,6	10,2	1,74
		42,58	68,48	4	28,8	2,6	6,4	-
11	Д-024-4	59,34	72,83	4	33,8	2,6	8,19	6,86
		58,11	78,32	4	33,8	2,6	9,56	-

Первоначально была рассчитана стоимость этих домов, в которых использовались предлагаемые изготовителем материалы для стен, но толщина ограждающих конструкций была приведена в соответствии со СНиП II-3-79*. Полученные результаты представлены в табл. 3.65.

Как видно из табл. 3.65, дома, соответствующие требованиям СНиП 23-02-2003 (СП 50.13330.2012/2024), могут иметь различную стоимость, которая для домов ЖБК-1 изменяется от 17 до 27 тыс. за 1 м². Таким образом, выбор оптимальной теплоизоляции и несущих конструкций может заметно сказаться на общей стоимости дома.

Таблица 3.65

Стоимость типовых проектов (при соответствии СНиП 23.02-2003)

№	Тип	Материал наружных стен*	Стоимость, руб. без отделки и системы отопления	
			Дома	1 м ²
1	0-002-3 	стеновой камень цементный (СКЦ)	1 870 923	27 313
2	0-003-3 	деревянный брус	1 628 348	23 922
3	0-006-4 	керамический кирпич	2 423 698	22 114
4	0-031-4 	стеновой камень цементный (СКЦ)	2 414 621	26 874
5	0-046-3 	газосиликат	1 580 540	23 828
6	0-050-3 	силикатный кирпич	1 794 071	26 096
7	М-009-3 	деревянный брус	1 251 276	21 094
8	М-013-2 	сборные трёхслойные панели (теплостен)	1 450 372	21 516
9	М-015-4 	блокхауз (дерево)	2 416 173	20 273
10	Д-017-4 	пенобетон	2 348 347	24 725
11	Д-024-4 	керамзитобетонные блоки	1 989 997	16 943

* Утеплитель - пенополистирол (пеноплекс, Styrofoam, URSA XPS), при необходимости

Снижение энергопотребления в типовых проектах

Для типовых проектов были подобраны материалы стен, перекрытий и пола с целью обеспечения минимальных суммарных затрат на сооружение дома и отопление через 30 лет эксплуатации. В табл. 3.66 приведены средние значения показателей для разных систем отопления.

Таблица 3.66

Сравнение энергосберегающих домов с разными системами отопления

Вид отопления	Средние значения для 11 проектов (числитель – типовые проекты; знаменатель – оптимальные)							
	Суммарные затраты за 30 лет		Стоимость дома		Сопротивление теплопередаче R_f , ($m^2 \cdot K$)/Вт			
	всего	на 1 m^2	всего	на 1 m^2	стены 1-ого этажа ($R_n=2,9$)	мансарда ($R_n=2,9$)	перекрытия ($R_n=4,4$)	пол ($R_n=2,1$)
Централизованное	2 499	30,3	2 031	24,5	8,1	6,7	6,3	6,3
	1 718	20,9	1 742	18,0				
Газовое	2 036	25,3	1 904	22,5	6,1	5,1	4,7	4,8
	1 795	20,7	1 725	18,5				
Электрическое	2 768	33,5	2 108	25,4	9,6	8,0	7,5	7,5
	1 886	23,0	1 882	19,2				
Тепловой насос	2 562	31,1	2 397	29,0	5,6	4,7	4,3	4,4
	1 889	23,0	2 029	21,7				
Требования СНиП 23-02-2003	-	-	-	-	2,9	2,9	4,4	2,1

На следующей стадии для типовых проектов были подобраны материалы стен, перекрытий и пола с целью обеспечения минимальных суммарных затрат на сооружение дома и отопление через 30 лет эксплуатации. В табл. 3.66 приведены средние значения показателей для разных систем отопления.

Снижения суммарных затрат происходит за счёт увеличения коэффициента сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций до значений, в 1,5-2,5 раза превосходящих СНиП II-3-79*. При этом сопротивление увеличивается за счёт применения современных теплоизоляционных материалов.

Снижение суммарных затрат через 30 лет по сравнению с типовым проектом составило 800-900 тыс. руб. для домов с дорогими системами отопления и 250 тыс. руб. для домов с газовым отоплением. Стоимость квадратного метра дома (с учётом стоимости системы отопления) снизилась на 4-6 тыс. руб. за 1 m^2 .

Можно сделать вывод, что выбор оптимальной конструкции домов наиболее эффективен для домов при применении электрического, централизованного отопления и отопления с помощью теплового насоса.

Снижение энергопотребления типового проекта О-050-3

В качестве энергосберегающего дома рассматривался такой, который обеспечивает минимальные суммарные затраты на сооружение и отопление через 30 лет эксплуатации. При выборе срока были сравнены суммарные затраты через 10, 20, 30, 40, 50 лет. Во всех случаях были получены близкие результаты. При увеличении срока немного увеличивалась стоимость дома и снижались затраты на отопление (табл. 3.67). Для дальнейших расчётов был выбран срок 30 лет как средний срок по ипотечным кредитам.

В табл. 3.67 приведён подбор оптимальных строительных материалов для типового проекта ЖБК-1 О-050-3.

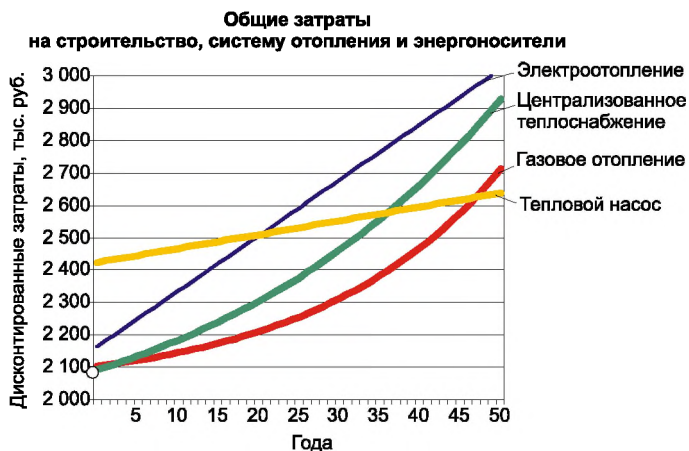
Как видно из табл. выбор оптимальных материалов позволяет снизить суммарные затраты на величину 200 тыс. руб. при одновременном снижении стоимости дома на 2,5-3 тыс. руб. за 1 м².

Таблица 3.67

Снижение энергопотребления типового проекта О-050-3

Конструкция (показатель)	Материал (срок)	Толщина, м			
		Типовой проект	Оптимизация по суммарным затратам		
			через 10 лет	через 20 лет	через 30 лет
Стены	Керамзитобетон	0,38	0,20	0,20	0,20
	Кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе	0,12	0,12	0,12	0,12
	Пенополистирол (Пеноплекс, Styrofoam, URSA XPS)	0,08	0,05	0,10	0,14
Потолочное перекрытие	Железобетон	0,2	0,10	0,10	0,10
	Маты и полосы из стеклянного волокна прошивные (URSA)	0,15	0,07	0,14	0,22
	Сосна	0,15	0,05	0,05	0,05
Пол	Железобетон	0,12	0,10	0,10	0,10
	Маты и полосы из стеклянного волокна прошивные (URSA)	0,08	0,08	0,15	0,22
	Сосна	0,05	0,05	0,05	0,05
Суммарные затраты S	за 10 лет	2 145	1 938	1 948	1 969
	за 20 лет	2 211	2 024	2 009	2 018
	за 30 лет	2 312	2 157	2 104	2 094
Стоимость, тыс. руб.	дома	2 100	1 878	1 905	1 934
	1 м ²	30,5	27,3	27,7	28,1

На рис. 3.58 приведены суммарные затраты на сооружение дома и отопления для четырёх отопительных систем. Как видно из рис. 3.58, электроотопление является самым затратным, а газовое – самым экономичным. Централизованное отопление по затратам находится между ними.



**Рис. 3.58. Сравнение отопительных систем
(на примере типового проекта 0-050-3)**

Затраты на установку теплового насоса – самые большие. Но при этом он обеспечивает наименьшие затраты на отопление. Через 45 лет эксплуатации показатели отопления с теплонасосной установкой будут наилучшими из все рассматриваемых систем. Таким образом, в отдалённой перспективе это наиболее эффективная система отопления. При приближении соотношения цен на природный газ и электроэнергию к среднеевропейским срок окупаемости теплового насоса будет значительно меньше 45 лет.

3.8. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

3.8.1. Исследование теплового режима эксплуатируемого многоквартирного дома при его частичном заселении*

Актуальность работы вызвана в том, что в настоящее время все многоквартирные дома оснащаются поквартирным учетом и регулированием потребления тепловой энергии. Это позволяет жильцам регулировать степень отопления в своей квартире и даже полностью его отключать.

* Работа выполнена студентом К.В. Морозовым под руководством автора

Задача работы заключалась в исследовании влияние отключения отопления в отдельных квартирах на теплопотребление соседних квартир и общее теплопотребление в многоквартирном доме.

Для выполнения работы использовались технические данные и месячные данные индивидуальных и общедомового приборов учета тепловой энергии многоквартирного 17-и этажного жилого дома (рис. 3.59), введённого в эксплуатацию в 2015 г., оснащенного поквартирными приборами учета тепловой энергии.

Всего в здании 128 квартир, жилые этажи – со второго по 17. Средний фактический удельный расход тепловой энергии по данным приборов поквартирного учета представлены на рис. 3.60.



Рис. 3.59. Внешний вид здания

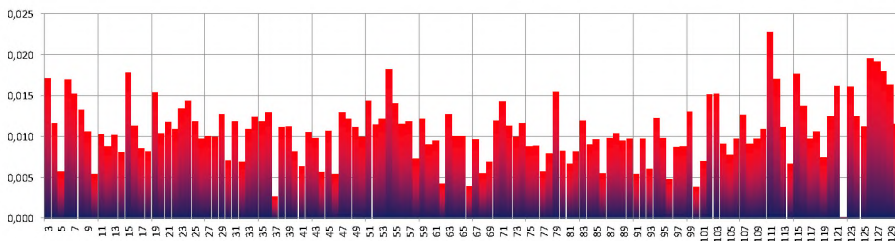


Рис. 3.60. Средние удельные затраты на отопление за 2016–2018 г, Гкал/(м²·мес.)

За период 2016–2021 г. число квартир, отключенных от отопления (рис. 3.61) падало в связи с заселением дома. Начиная с 2022 г. это число стало увеличиваться в связи с отъездом жителей из города. Данные потребления тепловой энергии для возможности сравнения приведены к одинаковым климатическим условиям с ГСОП = 4095,3 °С·сут (при внутренней температуре воздуха в помещении 20°C и расчетным климатическим данным для Белгородской области, определенным в СП 130.13330.2020 «Строительная климатология»).

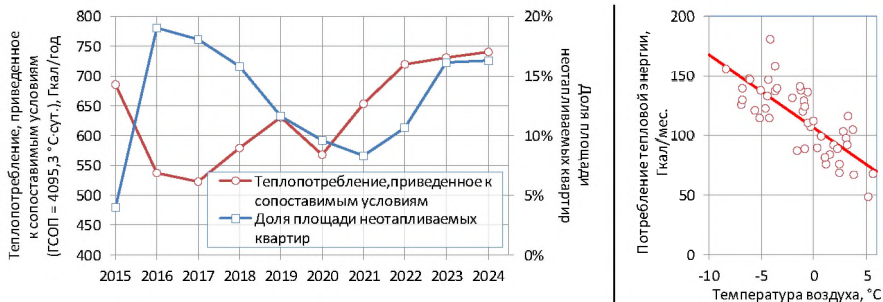


Рис. 3.61. Годовой расход тепловой энергии на отопление (в сопоставимых условиях) и площадь квартир, отключенных от отопления (2015 – вторая половина года; 2024 г. – первая половина года)

Как видно из рис. 61 между фактическими затратами на отопление дома и долей неотапливаемых квартир наблюдается противоречивая связь – как положительная, так и отрицательная. Коэффициент корреляции между этими величинами составляет $-0,33$ (рис. 3.62а), что показывает отсутствие зависимости. Так же отсутствие зависимости показывает удельный расход тепловой энергии (рис. 3.62б).

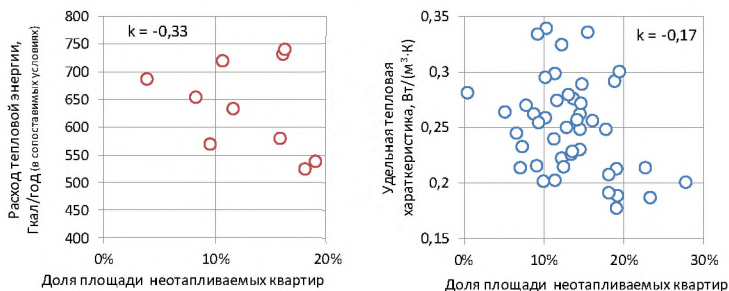


Рис. 3.62. Влияние доли площади квартир, отключенных от отопления, на затраты на отопление, определенных по общедомовому прибору учета, для:

- а) годовых затрат в сопоставимых условиях;
- б) удельного месячного расхода на отопление

Таким образом, данные фактического потребления не показывают снижения расхода при отключении от отопления части помещений. А так как жильцы, отключившие отопление, оплачивают только общедомовую часть расходов на отопление, получается, что за них платят соседи, у которых затраты на отопление должны увеличиваться. Данное предположение было проверено методами моделирования.

Для исследования была разработана модель расчета теплопотребления в многоквартирном доме, включающая уравнения теплового баланса каждой квартиры (рис. 3.63, табл. 3.68), включающие приход теплоты от отопительных приборов, потоки теплоты через ограждающие конструкции, внутренние перегородки и перекрытия, потери с вентиляцией. Для расчета были выделены ограждающие квартиру поверхности (табл. 3.68), через которые квартира могла граничить с другими квартирами, окружающей средой, чердачным или подвальным помещениями, лестничными клетками (коридорами).

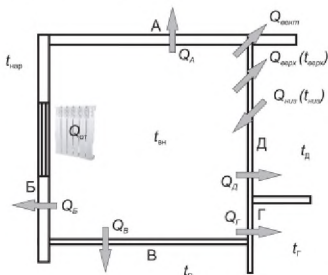


Рис. 3.63. Схема тепловых потоков в квартире

Таблица 3.68

Описание параметров, входящих в уравнение теплопередачи через ограждающую поверхность

Наименование ограждающей поверхности	Обозначение	Площадь	Сопротивление теплопередаче	Вторая температура, входящая в температурный напор
Наружная сплошная стена	А	S_A	$R_{нар}$	$t_{нар}$
Наружная стена с окном	Б	S_B	$R_{нар,ок}$	$t_{нар}$
Межквартирная перегородка с соседней квартирой	В	S_B	R_n	t_b (температура в соседней квартире)
Межквартирная перегородка с коридором	Г	S_r	R_n	t_r (температура в коридоре)
Межквартирная перегородка с соседней квартирой	Д	S_d	R_n	t_d (температура в соседней квартире)
Помещение сверху	Верх	$S_{кв}$	$R_{верх} = (R_n \text{ или } R_{черд})$	$t_{верх} =$ (температура в квартире сверху или $t_{нар}$)
Помещение снизу	Низ	$S_{кв}$	$R_{низ} = (R_n \text{ или } R_{подв})$	$t_{низ} =$ (температура в квартире снизу или $t_{нар}$)

Тепловой баланс квартиры имел вид:

$$Q_A = (t_{вн} - t_{нар}) \cdot S_A / R_{н};$$

$$Q_B = (t_{вн} - t_{нар}) \cdot S_B / R_{н.ок};$$

$$Q_V = (t_{вн} - t_B) \cdot S_V / R_{н.ок};$$

$$Q_G = (t_{вн} - t_G) \cdot S_G / R_{п};$$

$$Q_D = (t_{вн} - t_D) \cdot S_D / R_{п};$$

$$Q_{верх} = (t_{вн} - t_{верх}) \cdot S_{кв} / R_{верх};$$

$$Q_{низ} = (t_{вн} - t_{низ}) \cdot S_{кв} / R_{низ};$$

$$Q_{вент} = 1,29 (t_{вн} - t_{нар}) \cdot V_{кв} k / 3,6;$$

$$Q_{от} = Q_A + Q_B + Q_V + Q_G + Q_D + Q_{верх} + Q_{низ} + Q_{вент}.$$

Всего система уравнений здания содержала 9 уравнений для 128 квартир и 16 лестничных клеток, то есть всего 1296 уравнений.

Для решения системы использовалось три метода расчета, представленные в табл. 3.69.

Таблица 3.69

Методы расчета системы уравнений

Наименование	Описание
Режим 1 (определение режима действующего здания)	Определяются температуры в каждой квартире $t_{вн}$ по заданным значениям расхода тепловой энергии на отопление в каждой квартире $Q_{от}$
Режим 2 (расчет расхода тепловой энергии на отопление при отоплении всех квартир по заданным температурам в них)	Определяется расход тепловой энергии на отопление в каждой квартире $Q_{от}$ по заданной температуре $t_{вн}$
Режим 3 (расчет расхода тепловой энергии на отопление при отключении отопления в заданных квартирах)	Для отапливаемых квартир определяется расход тепловой энергии на отопление в каждой квартире $Q_{от}$ по заданной температуре $t_{вн}$. Для неотапливаемых квартир определяются температуры $t_{вн}$ при условии $Q_{от} = 0$ Гкал

На рис. 64 представлена схема секции дома, где согласно данным учета неотапливаемой является квартира № 49. Всего дом состоит из двух одинаковых секций.

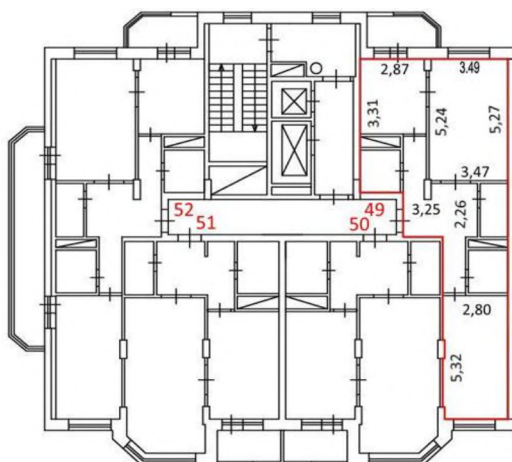


Рис. 3.64. План секции 7-го этажа с квартирами 49–52

Для проведения расчета использовались следующие конструктивные и режимные исходные данные:

- 1) температуру наружного воздуха;
- 2) длительность расчетного периода;
- 3) сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций (табл. 3.70);
- 4) площадь квартир;
- 5) наличие отопления;
- 6) температура в квартирах или заданный расход тепловой энергии на отопление;
- 7) площадь ограждающих конструкций.

Таблица 3.70

Сопротивление теплопередаче:		
Наружная стена без окон $R_{нар.г}$	3,0	м ² ·К/Вт
Наружная стена с окнами окон $R_{нар.ок}$	2,2	м ² ·К/Вт
Перекрытия подвала $R_{под}$	3,5	м ² ·К/Вт
Перекрытия чердака $R_{чер}$	1,0	м ² ·К/Вт
Межквартирные перегородки $R_{пер}$	0,7	м ² ·К/Вт

С использованием фактических данных поквартирного учета был определен коэффициент кратности воздухообмена. Для этого произведен подбор температур по фактическому теплотреблению в каждой из квартир за январь, февраль и март 2018 года (табл. 3.71).

Таблица 3.71

Кратность воздухообмена	Режим 1			Для режима 2 и 3	Среднее значение кратности воздухообмена
	янв.18	фев.18	мар.18		
В жилых квартирах	0,5	0,51	0,4	0,5	0,48
В нежилых квартирах	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
В коридорах	2,9	6,2	3,85	2,9	4,0

Произведен расчет теплотребления при режиме, когда отопление включено во всех квартирах, что необходимо для определения теплотребления МКД в целом для сравнения, как повлияет отключение отопления в некоторых из квартир на данное теплотребление.

Определено, что теплотребление при включении отопления во всем доме за год составляет

$$Q_{\max} = Q_{\text{кв.}} + Q_{\text{одн}} = 495,30 + 102,45 = 597,75 \text{ Гкал,}$$

где $Q_{\text{кв}}$ – затраты тепловой энергии на отопление квартир; $Q_{\text{одн}}$ – затраты тепловой энергии на общедомовые нужды (отопление мест общего пользования).

В зимний период 2018 г. в доме от отопления были отключены 11 квартир (теплотребление в них было равным 0 Гкал). Схема расположения этих квартир и фактические затраты на отопление показаны на рис. 3.65.

Этаж	Номера квартир (выделены неотапливаемые)								
17	123	124	125	126	127	128	129	130	
16	115	116	117	118	119	120	121	122	
15	107	108	109	110	111	112	113	114	
14	99	100	101	102	103	104	105	106	
13	91	92	93	94	95	96	97	98	
12	83	84	85	86	87	88	89	90	
11	75	76	77	78	79	80	81	82	
10	67	68	69	70	71	72	73	74	
9	59	60	61	62	63	64	65	66	
8	51	52	53	54	55	56	57	58	
7	43	44	45	46	47	48	49	50	
6	35	36	37	38	39	40	41	42	
5	27	28	29	30	31	32	33	34	
4	19	20	21	22	23	24	25	26	
3	11	12	13	14	15	16	17	18	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	

Рис. 3.65. поэтажная схема расположения квартир

При расчете квартир, в которых отключено отопление, величина поступления от отопительных приборов задавалась равным 0 и расчи-

ывалась температура в них. Сумма тепловых потоков в этих квартирах равна 0 Гкал, то есть сколько тепла пришло в квартиру, столько и ушло. В остальных квартирах задавалась температура 22°C и рассчитывались необходимые затраты на отопление.

Этаж	Температура, °С							
	17	22	22	22	22	22	22	22
16	22	22	22	20	19	22	22	20
15	22	22	22	22	22	22	22	22
14	22	22	22	22	22	22	22	22
13	22	22	22	22	22	22	22	22
12	22	22	22	22	22	22	20	22
11	20	22	21	22	22	22	22	22
10	22	22	22	22	22	22	20	22
9	22	22	22	22	22	22	22	22
8	22	22	22	22	22	22	22	22
7	22	22	22	22	22	22	22	22
6	22	22	21	22	22	22	22	22
5	22	22	22	22	22	22	22	22
4	20	22	22	22	22	22	22	22
3	22	22	22	22	20	22	22	22
2	22	22	22	22	22	22	22	17

Рис. 3.66. Температуры в отдельных квартирах:

в отапливаемых задано 22 °С; в неотапливаемых (выделены) – рассчитано

В результате было получено, что в квартирах с отключенным отоплением температура снижалась незначительно, всего на 3-5 °С.

Сравнивая теплопотребления при режимах с отоплением всех квартир и с отключением отопления в 11 квартирах, были получено, что снижение затрат на отопление по всему дому составит всего 0,4% (табл. 3.72).

Таблица 3.72

Затраты тепловой энергии при отоплении всех квартир и отключении части из них

Наименование	Площадь отапливаемых квартир, м ²	Расход на отопление			
		Гкал в год	в том числе		Гкал/м ² (для отапливаемых квартир)
			отопление квартир	ОДН	
При полностью отапливаемых квартирах	6897,6	597,75	495,30	102,45	0,071
При отключении отопления в части квартирах (9% от всей площади квартир)	6303,6	595,44 (-0,4%)	491,32	104,12	0,080

Влияние одной из нежилых квартир на соседние квартиры показано на примере квартиры № 75 (табл. 3.73).

Таблица 3.73

Влияние режима отопления на соседние квартиры

Номер квартиры	Площадь, м ²	Затраты на отопление			
		при наличии отопления в кв. 75		при отключении отопления в кв. 75	
		Гкал	Гкал/м ²	Гкал	Гкал/м ²
Неотапливаемая квартира					
75	51,8	2,08	0,04	-	-
Соседняя квартира					
67	51,8	4,24	0,08	4,92 (+16,0%)	0,09
76	42,1	2,92	0,07	3,36 (+14,9%)	0,08
83	51,8	4,24	0,08	4,92 (+16,0%)	0,09
Всего по соседним квартирам	145,7	11,39	0,08	13,19 (+15,8%)	0,09

Можно заметить, что после отключения отопления в нежилой квартире теплотребление в соседних возросло на 15...16%.

Таким образом, теплотребление отапливаемых квартир, и мест общего пребывания возросло, несмотря на то, что общее теплотребление по дому снизилось (табл. 3.74). Это говорит о том, что жильцы, экономящие тепловую энергию на отоплении в период своего отсутствия, вынуждают соседей переплачивать за отопление собственных квартир.

Таблица 3.74

Сводная таблица влияния неотапливаемых квартир на теплотребление в соседних квартирах и на общее теплотребление по дому

Вид квартир	При отапливаемых нежилых квартирах	При отключении отопления в нежилых квартирах
Нежилые квартиры (11)	21,47	-
Квартиры, соседние с нежилыми (35)	158,64	173,36 (+8,5%)
Остальные квартиры (84)	315,19	317,96 (+0,9%)
Места общего пользования	102,45	104,12 (+1,6%)
Всего по дому:	597,75	595,44 (-0,4%)

Выводы

В разделе был получен метод расчета, позволяющий определить температурный режим и затраты на отопление в квартирах жилого дома, если в отдельных квартирах уменьшен расход теплоносителя или отопление отключено полностью.

Установлено, что для одноподъездного утепленного дома отключение отопления в 11 квартирах, площадь которых составляет 9% от общей, приводит к снижению затрат на отопление всего дома всего на 0,4% и к повышению на 5-20% расходов на отопление в квартирах, соседних с неотопливаемыми.

Затраты теплоты на отопление помещений определяются потерями теплоты через ограждающие конструкции и с вентиляцией. Эти потери для квартиры из-за внутренних перетоков теплоты не равны количеству теплоты, поступившей в квартиру. Поэтому затраты теплоты, определенные по показаниям квартирного индивидуального прибора учета, не являются эквивалентом объема полученной жителями услуги – поддержании в квартире необходимой температуры. Поквартирный учет нарушает право потребителей за одинаковую услугу оплатить одинаково. А в зданиях в угловых помещениях, а так же на первых и последних этажах площадь ограждающих конструкций намного больше, чем во «внутренних» квартирах. Поэтому больше в таких квартирах затраты на отопление будут больше, чем в остальных квартирах дома. Но это не значит, что потребитель в таких квартирах получил больший объем услуг, повышенное потребление является следствием конструктивных особенностей оболочки ограждающей конструкции.

Можно заключить, что поквартирный учет не может являться характеристикой потребления теплоты в квартире и поэтому в целях учета и использоваться не может. Для многоквартирных домов наиболее точное определение индивидуального потребления позволяет установить общедомовой прибор учета тепловой энергии с разделением затрат теплоты пропорционально площади (объема) помещений.

3.8.2. Оценка энергосберегающего эффекта при установке автоматизированных тепловых пунктов в образовательных учреждениях*

Одним из способов энергосбережения является установка в зданиях автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (АИТП), которые регулируют подачу тепловой энергии для отопления в зависимости от температуры наружного или внутреннего воздуха.

* Работа выполнена совместно с М.В. Свириным, С.А. Бычихиным

Оценка величины экономии тепловой энергии зависит от степени эффективности реконструируемой системы отопления и требует детальной информации по величине потребления тепловой энергии в зависимости от климатических параметров. Поэтому на практике величину экономии оценивают методом аналогий с использованием фактических результатов установки АИТП. В литературе и нормативных источниках величина экономии оценивается в весьма широких пределах – от 3 до 30%:

Источник	Величина экономии	Источник	Величина экономии
[82].....	8%	[160].....	15%
[157].....	3-5%	[161].....	5-10%
[158].....	15%	[162].....	25%
[159].....	20...30%		

Целью работы являлось оценка фактического энергосберегающего эффекта после установки АИТП в образовательных учреждениях Белгородского района.

Используемые данные и методы

Реконструкция систем отопления проводилась в летом и осенью 2016 г. рамках энергосервисных контрактов. Для анализа были отобраны 18 объектов (12 школ и 6 детских садииков), на которых до мероприятий учетом потребления тепловой энергии осуществлялся приборным способом (табл. 3.75).

Таблица 3.75

Характеристики объектов

№	Наименование	Число этажей	Площадь, м ²	Объём, м ³	Материал стен*	Дата начала ЭСК
1	Детский сад № 20 п. Разумное	2	999	3702	ДП	01.12.2016
2	Детский сад № 7 с. Беловское	2	1334	3787	ДП	20.12.2016
3	Детский сад № 14 с. Головино	2	1658	5706	СК	14.10.2016
4	Детский сад № 13 п. Политотдельский	2	1984	3806	ДП	01.10.2016
5	Д/с № 29 с. Красный Октябрь	3	2700	12231	СК	20.12.2016
6	Стрелецкая СОШ	2	1755	5266	СК	01.10.2016
7	Пушкарная СОШ	2	2150	6542	СК	16.10.2016
8	Беловская СОШ	2	2615	8783	ДП	11.11.2016
9	Журавлевская СОШ	2	2676	6560	СК	01.10.2016
10	Хохловская СОШ	2	3036	7275	СК	01.12.2016
11	Мясоедовская ООШ	2	3121	9524	СК	26.11.2016
12	Краснооктябрьская СОШ	3	4163	15654	ДП	01.10.2016
13	Разуменская СОШ № 1	3	5420	16285	ДП	15.10.2016
14	Бессоновская СОШ	3	4780	15175	СК	20.12.2016
15	Отраденская СОШ	2	4854	14564	СК	20.12.2016
16	Разуменская СОШ № 2	3	4389	18489	ДП	20.12.2016
17	Щетиновская СОШ	3	5614	22370	СК	20.12.2016

* ДП – Домостроительные панели; СК – Кладка из силикатного кирпича

Здания имели следующие характеристики:

количество этажей 2, 3;
площадь от 999 до 5614 м²;
отапливаемый объем от 3702 до 2370 м³;
материал стен силикатный кирпич, панельные стены

В качестве базового периода принят отопительный сезон 2015/2016 г., оцениваемые периоды – отопительные сезоны 2016/2017 и 2017/2018 г.

Для расчета ГСОП использовались фактические климатические данные метеостанции г. Белгорода, полученные с сайта gr5.ru. Рассматриваемые периоды характеризовались значительным отличием в климатических условиях (рис. 3.67).

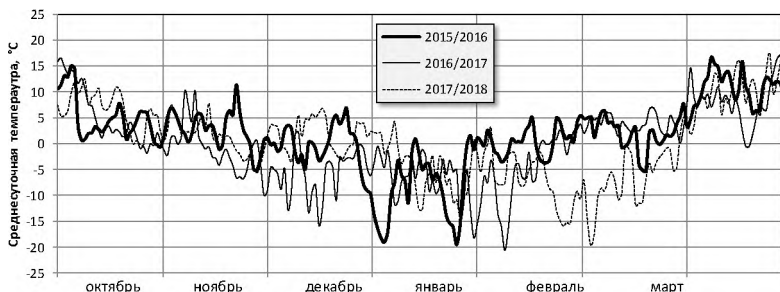


Рис. 3.67. Изменение температуры t_{out} в отопительные периоды

Поэтому расчет экономии приводился с приведением данных к сопоставимым условиям с использованием величины параметра градусо-сутки отопительного периода ГСОП, °C·сут., (англоязычное обозначение Dd):

$$\text{ГСОП} = D(t_{in} - t_{out}), \quad (3.12)$$

где D – количество дней (суток) в периоде; t_{in} – средняя температура внутри здания, °C; t_{out} – средняя температура окружающего воздуха в рассматриваемый период, °C (K).

Если период состоит из нескольких частей (например, из нескольких отопительных сезонов, или с перерывами в отоплении или сохранении данных), то общий ГСОП может быть найден как сумма ГСОП каждой части периода:

$$\text{ГСОП} = \sum \text{ГСОП}_j$$

Если проводить перерасчет на нормативные условия, то относительная экономия тепловой энергии Δq , %, будет иметь вид

$$\Delta q = \frac{\frac{Q_6}{\text{ГСОП}_6} \text{ГСОП}_n - \frac{Q_i}{\text{ГСОП}_i} \text{ГСОП}_n}{\frac{Q_6}{\text{ГСОП}_6} \text{ГСОП}_n} 100\%, \quad (3.13)$$

где Q_6 и Q_i – потребление тепловой энергии в базовый и оцениваемый период; ГСОП_6 , ГСОП_i и ГСОП_n – градусо-сутки базового периода, оцениваемого периода и нормативное значение, составляющее для г. Белгорода 4807 °С·сут. для дошкольных учреждений и 4183 °С·сут. для школьных.

После преобразования выражение (3.13) примет вид:

$$\Delta q = \left(1 - \frac{Q_i}{Q_6} \frac{\text{ГСОП}_6}{\text{ГСОП}_i} \right) 100\%. \quad (3.14)$$

Выражение (3) не изменится, если вместо нормативных условий пересчет будет производиться на условия базового или оцениваемого периода, или иные условия.

Информация и потребление тепловой энергии в зданиях за каждый месяц базового периода и продолжительность отопительного периода, общая для всех учреждений, были получены в районной теплоснабжающей организации (начало отопительного сезона 07.10.2015 г., окончание 11.04.2016 г., фактический $\text{ГСОП}_6 = 3676$ °С·сут).

Посуточное потребление тепловой энергии за оцениваемые периоды получены с использованием Системы управления энергоресурсами Белгородской области, осуществляющей накопление и обработку дистанционно получаемых данных с приборов учета тепловой энергии. По ежедневному потреблению индивидуально для каждого здания определялись начало и конец отопительных периодов. Так как запуск АИТП в разных учреждениях проводился в различное время в период с 1 октября 2016 года по 20 декабря 2016 г., и для отдельных приборов учета имелись перерывы в работе, длительностью до месяца, оцениваемые периоды включали только те дни, в которые приборы учета работали, поэтому потребление тепловой энергии и ГСОП , используемые для расчета экономии, могли быть меньше этих показателей в отопительный сезон. В расчетах температура воздуха в зданиях t_m принималась постоянной и равной 20°С.

Полученные результаты и их анализ

Расчетное (учитываемое при расчете экономии) потребление тепловой энергии за три отопительных сезона и полученная удельная фактическая экономия в год после установки АИТП по сравнению с базовым

отопительным сезоном приведена в табл. 3.76. Среднее значение экономии составило 14%, максимальное – 31%. Для отдельных учреждений экономия отсутствовала.

Таблица 3.76

Потребление тепловой энергии и величина экономии

№	Объём, м ³	Расчётное потребление за отопительный сезон, Гкал			Удельная экономия Δq
		2015/2016	2016/2017	2017/2018	
1	3702	164,8	143,5	163,0	6%
2	3787	242,0	139,3	200,0	20%
3	5706	277,7	288,2	255,2	11%
4	3806	214,8	227,0	195,5	10%
5	12231	350,7	243,9	404,0	0%
6	5266	299,9	215,0	259,3	25%
7	6542	253,1	267,5	268,6	4%
8	8783	352,7	276,5	307,7	18%
9	6560	280,8	300,9	275,1	9%
10	7275	576,8	372,1	320,7	32%
11	9524	348,7	296,3	352,4	7%
12	15654	675,4	483,3	573,7	21%
13	18489	616,3	381,9	599,9	14%
14	15175	522,9	360,5	437,7	15%
15	14564	357,6	185,8	321,0	24%
16	16285	617,3	695,9	690,1	-2%
17	22370	707,9	405,6	617,4	20%

Примечание. Номера учреждений – по табл. 3.75.

Зависимости величины экономии Δq от площади, объёма или потребления теплоты нет (коэффициенты корреляции соответственно 0,04; 0,08; 0,25), но экономия зависит от удельной отопительной характеристики $q_{уд}$, Вт/(м³·К), которая для здания должна быть постоянной величиной (рис. 3.68):

$$q_{уд} = \frac{4,186 \cdot 10^9}{24 \cdot 60 \cdot 60} \frac{Q}{V \text{ ГСОП}} = 48449 \frac{Q}{V \text{ ГСОП}}, \quad (3.15)$$

где Q – расход теплоты на отопление, Гкал; V – объём, м³.



Рис. 3.68. Изменение удельных тепловых характеристик зданий (при принимаемой постоянной температуре внутреннего воздуха 20°С)

Коэффициент корреляции между экономией и удельной тепловой характеристикой составил для детских садов 0,93, для школ 0,45 (рис. 3.69).

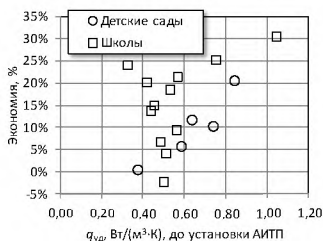
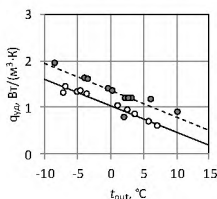


Рис. 3.69. Зависимость между экономией и удельной тепловой характеристикой

Анализируя изменения характеристик до и после установки АИТП можно выделить три случая.

1. Отопительная нагрузка здания (зависимость расхода на отопление от температуры наружного воздуха) отрегулирована как в базовом периоде, так и в оцениваемом, но расход тепловой энергии на отопление уменьшается (рис. 3.70, 3.71), что характерно для объектов 1 (экономия 20%); 2 (18%); 9 (24%); 14 (25%); 15 (31%).

Детский сад № 7 с. Беловское



Беловская СОШ

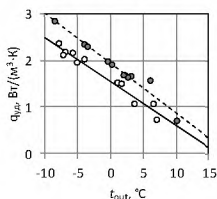


Рис. 3.70. Отопительная характеристика:

•, --- до установки АИТП; ◦, — после установки АИТП

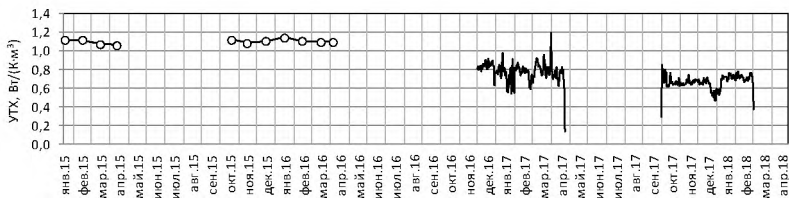
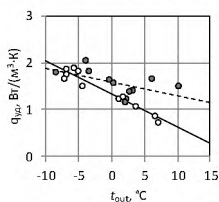


Рис. 3.71. Изменение удельной отопительной характеристики для Хохловской СОШ

В этом случае экономия достигается за счет ликвидации постоянных «перетопов» и снижения температуры в здании с повышенной до оптимальной. Для условий г. Белгорода средняя температура наружного воздуха за отопительный сезон близка к 0°C, поэтому изменение температуры внутри здания на 1°C приводит к изменению расхода на отопление на величину около 5%. Поэтому можно предположить, что до установки АИТП температура в зданиях составляла около 24°C.

2. Отопительная нагрузка здания до проведения мероприятий отрегулирована не была (рис. 3.72, 3.73), что характерно для объектов 4 (экономия 11%); 5 (9%); 6 (0%); 7 (21%); 8 (7%); 10 (10%); 11 (4%); 12 (14%); 16 (20%).

Детский сад № 14 с. Головино



Журавлевская СОШ

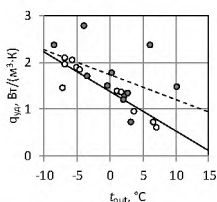


Рис. 3.72. Отопительная характеристика:

•, --- до установки АИТП; ◻, — после установки АИТП

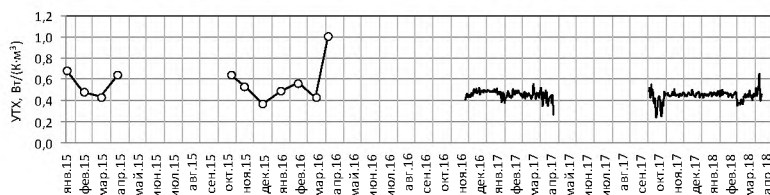


Рис. 3.73. Изменение удельной отопительной характеристики для Мясоведовской СОШ

В этом случае экономия достигается за счет ликвидации периодических «перетопов» в начале и конце отопительного сезона. На части объектов дополнительная экономия определяется так же снижением постоянно повышенной температуры в здании до оптимальной.

3. На объектах 6 и 13 экономия отсутствовала (рис. 3.74). В этом случае можно предположить, что до проведения мероприятий в зданиях была температура ниже нормативной.



Рис. 3.74. Отопительная характеристика:

•, --- до установки АИТП; ◦, — после установки АИТП

Настройка АИТП предусматривала снижение температуры в праздничные и выходные дни. Для каждого объекта за период в два года был произведен расчет среднего значения удельной отопительной характеристики отдельно для нерабочих и рабочих дней, а также удельная отопительная характеристика в первый нерабочий день после рабочих и в первый рабочий день, следующий за нерабочими (табл. 3.77).

Таблица 3.77

Средние удельные отопительные характеристики (отопительные сезоны 2016/2017 и 2017/2018 г.)

№ объекта	Удельная отопительная характеристика $q_{уд}$ Вт/(м³·К)					Отношение к средней удельной отопительной характеристике			
	средняя	в рабочие дни	в нерабочие дни	в первый нерабочий день	в первый рабочий день	рабочие дни	нерабочие дни	первый нерабочий день	первый рабочий день
1	0,668	0,662	0,679	0,670	0,667	99%	102%	100%	100%
2	0,423	0,430	0,411	0,407	0,428	101%	97%	96%	101%
3	0,375	0,390	0,362	0,358	0,400	104%	97%	95%	107%
4	0,568	0,575	0,553	0,554	0,589	101%	97%	98%	104%
5	0,499	0,508	0,498	0,490	0,531	102%	100%	98%	106%
6	0,384	0,388	0,376	0,383	0,386	101%	98%	100%	101%
7	0,448	0,446	0,453	0,446	0,451	99%	101%	100%	101%
8	0,449	0,450	0,448	0,442	0,460	100%	100%	98%	102%
9	0,248	0,251	0,243	0,243	0,250	101%	98%	98%	101%
10	0,672	0,669	0,679	0,664	0,701	100%	101%	99%	104%
11	0,484	0,486	0,479	0,472	0,499	100%	99%	98%	103%
12	0,374	0,382	0,360	0,355	0,387	102%	96%	95%	103%
13	0,497	0,501	0,489	0,478	0,507	101%	98%	96%	102%
14	0,557	0,558	0,555	0,548	0,564	100%	100%	98%	101%
15	0,719	0,726	0,706	0,711	0,731	101%	98%	99%	102%
16	0,332	0,344	0,319	0,308	0,333	103%	96%	93%	100%
17	0,554	0,556	0,551	0,547	0,560	100%	99%	101%	99%
Среднее	0,485	0,489	0,480	0,475	0,497	101%	99%	98%	102%

Соотношение средней удельной отопительной характеристики в нерабочие $q_{уд}^H$ и в рабочие дни $q_{уд}^P$ составило от 0,93 (то есть в среднем затраты на отопление в нерабочие дни были на 7% ниже, чем в рабочие) до 1 (затраты на отопление в нерабочие дни не изменялись). Для объектов 1, 7, 10 это соотношение было больше 1 (соответственно 1,03; 1,02; 1,01).

Для оценки экономии, приведенной к нормативным условиям использовалось выражение, определяющее разность затрат на отопление, если бы весь отопительный период был бы такой же режим, как в рабочие дни, к фактическим затратам на отопление с разным режимом в рабочие и выходные дни:

$$\Delta q = \frac{q_{уд}^P(n_p + n_n) - (q_{уд}^P n_p + q_{уд}^H n_n)}{q_{уд}^P(n_p + n_n)} 100\% = \left(1 - \frac{q_{уд}^P n_p + q_{уд}^H n_n}{q_{уд}^P(n_p + n_n)} \right) 100\%,$$

где n_p – число рабочих дней; n_n – число нерабочих дней.

Результаты определения экономии представлены на рис. 3.75. В среднем снижение расхода на отопление в нерабочие дни составило 0,9%.

На рис. 3.76 представлена зависимость увеличения отопительной нагрузки в первый рабочий день после нерабочих к величине экономии (разности отношений удельной тепловой характеристики в рабочие дни и нерабочие дни к средней). Как видно величина перерасхода тепловой энергии на отопление после выходных дней от величины экономии не зависит, но для большей части объекта она составляет значительную величину, до 6...7%.

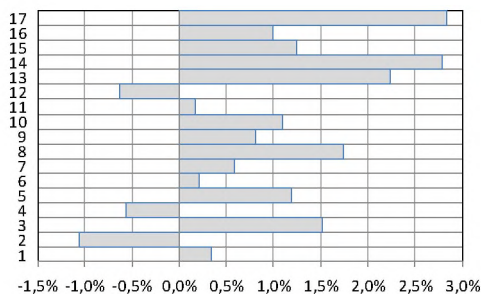


Рис. 3.75. Экономия при снижении отопительной нагрузки в нерабочие дни

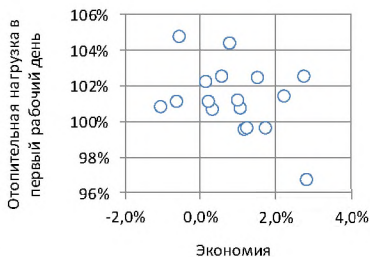


Рис. 3.76. Отношение относительной экономии отопительной нагрузки в нерабочие дни к величине повышения отопительной нагрузки в первый рабочий день после нерабочих

Можно сделать вывод, что снижение расхода теплоты на отопление в первый нерабочий день сопровождается повышением расхода на отопление в первый рабочий день после нерабочих. То есть полученная экономия впоследствии нивелируется повышенным расходом на отопление для прогрева здания после нерабочих дней.

Выводы

В работе для 18 образовательных учреждений Белгородского района на основании фактических данных приборов учета произведен анализ экономии тепловой энергии после установки в учреждениях автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов, осуществляющих погодное регулирование отопительной нагрузки. Установлено, что наибольшую величину экономии, 20-30%, обеспечивает снижение температуры в зданиях до оптимального уровня. Ликвидация «перетоков» в начальный и конечный периоды отопительного сезона позволяет экономить 5-10% тепловой энергии. Снижение температуры в нерабочие дни характеризуется малой величиной экономии, менее 1%, или ее отсутствием. Усредненная удельная величина экономии по всем учреждениям составила 14%.

3.9. ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. На основании анализа энергопотребления управления образования г. Белгорода и муниципальных бюджетных учреждений г. Белгорода и Белгородского района установлено, что основная часть затрат на энергоносители (от 65 до 75% без учёта моторного топлива) приходится на отопление, горячее водоснабжение и природный газ, используемый для выработки тепловой энергии. Это обусловлено тем, что большая часть зданий в г. Белгороде построена в советский период и имеет класс энергоэффективности «D» и «E». При этом энергоэффективность (удельный расход энергоресурсов) различных учреждений может отличаться в три раза. Таким образом, наиболее эффективное направление повышения энергоэффективности муниципального образования – повышение энергоэффективности зданий.

2. В результате обследования ряда энергоэффективных зданий установлено, что их класс энергоэффективности, как проектный, так и фактический, соответствует уровню «А». Но при этом плата за отопление в здании, в котором установлены тепловые насосы, превышает плату за отопление для обычного здания с индивидуальным отоплением на основе газовых котлов. Анализ проектов показал, что уменьшение теплозащитных свойств ограждающих конструкций приведёт к снижению стоимости здания и увеличению потребления энергоресурсов. Но для

одного здания уменьшение его стоимости на величину около 700 тыс. руб. не снизит класс энергоэффективности и годовые затраты на оплату энергоресурсы увеличатся на величину около 0,6 тыс. руб./м², таким образом в проекте предусмотрены избыточные вложения в энергоэффективность. Для другого здания уменьшение его стоимости на величину 1,4 тыс. руб. /м² приведёт к снижению класса энергоэффективности до уровня «В» и возрастанию годовых затрат на оплату энергоресурсы на величину 0,5% от стоимости здания. Таким образом, на экономическую эффективность энергоэффективных зданий большое влияние оказывает выбор материалов и проектных решений. Но в одном из зданий высокая энергоэффективность достигалась за счёт отключения системы приточно-вытяжной вентиляции, что привело к ухудшению показателей микроклимата и образованию конденсата.

Можно сделать вывод, что значительное завышение требований к энергоэффективности зданий не является экономически обоснованным, так как при существенном возрастании стоимости здания снижение расхода энергоресурсов небольшое.

6. На основе результатов энергетического обследования МУЗ «Муниципальная городская клиническая больница №1» показано, что одинаковые энергосберегающие мероприятия для зданий разного конструктивного исполнения и назначения имеют разный срок окупаемости. Например, окупаемость установки трёхкамерного стеклопакета с селективным покрытием для разных зданий составляет от 12 до 44 лет, а утепление стен утеплителем одинаковой толщины – от 15 до более чем 50 лет. Установлено, что при внедрении энергосберегающих мероприятий выявляется некое «критическое значение» параметра, характеризующего затраты на мероприятия, при превышении которого наблюдается незначительное снижение энергопотребления, но при этом резко возрастает срок окупаемости, что, в свою очередь, приводит к снижению рентабельности. Таким образом, для определения оптимальной структуры инвестиций в энергосберегающие мероприятия для достижения наибольшей экономии энергоресурсов необходим дифференцированный подход с учётом индивидуальных показателей каждого отдельного объекта.

7. В работе рассмотрено повышение энергоэффективности при проектировании и эксплуатации индивидуальных жилых домов. Для этого разработан автоматизированный расчёт отопительной мощности жилого дома. В качестве критерия оптимизации выбраны суммарные дисконтированные затраты на сооружение жилого дома и отопление (с учётом инфляции и роста цен на энергоносители) через 20 и 30 лет эксплуатации. Алгоритм обеспечивает перебор всех возможных сочетаний однослойных и многослойных ограждающих конструкций для стен,

пола, потолка, различных типов окон и систем отопления и выбор варианта с наименьшими суммарными затратами.

Проанализированы типовые проекты индивидуальных жилых домов Белгородского ЖБК-1 и СК «РУССТРОЙ» и получены рекомендации по снижению их энергопотребления. Произведено сравнение эффектов от энергосберегающих мероприятий домов одинаковой конструкции для трёх климатических зон России. Показано, что выбор оптимальной конструкции существенно влияет на стоимость возведения и эксплуатации дома, наибольшей относительной и абсолютной экономии можно добиться при высоких затратах на отопление, то есть для северных регионов и дорогого централизованного и электрического отопления (от 250 до 400 тыс. руб. для различных регионов). В условиях Белгородской области, где мягкий климат и в основном используется газовое отопление, эффект от энергосберегающих мероприятий самый низкий.

В результате анализа конструкций домов можно сделать вывод, что энергосберегающий дом представляет собой конструкцию с минимально возможной толщиной несущих стен, слоем современной теплоизоляции с низкой теплопроводностью и коэффициентом сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в 1,5-2,5 раза выше, чем определённый в нормативных документах.

8. Установлено, что для одноподъездного утепленного дома отключение отопления в 11 квартирах, площадь которых составляет 9% от общей, приводит к снижению затрат на отопление всего дома всего на 0,4% и к повышению на 5-20% расходов на отопление в квартирах, соседних с неотапливаемыми.

9. Для 18 образовательных учреждений Белгородского района на основании фактических данных приборов учета произведен анализ экономии тепловой энергии после установки в учреждениях автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов, осуществляющих погодное регулирование отопительной нагрузки. Установлено, что наибольшую величину экономии, 20-30%, обеспечивает снижение температуры в зданиях до оптимального уровня. Ликвидация «перетопов» в начальный и конечный периоды отопительного сезона позволяет экономить 5-10% тепловой энергии. Снижение температуры в нерабочие дни характеризуется малой величиной экономии, менее 1%, или ее отсутствием. Усредненная удельная величина экономии по всем учреждениям составила 14%.

4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

4.1. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ

4.1.1. Индивидуальное отопление учреждений образования г. Белгорода

В управлении образования г. Белгорода действует 152 учреждения, в том числе 46 школ и 64 дошкольных образовательных учреждений. Общие затраты на коммунальные платежи в 2009 г. в управлении составили 142,820 млн. руб. Основная часть затрат на энергоносители приходится на отопление и ГВС, (в сумме около 75%) рис. 4.1. Большие затраты на тепловую энергию объясняется тем, что большая часть объектов образования возводилась в советский период, который характеризовался крайне дешёвыми энергоресурсами. Поэтому в то время повышать теплозащиту зданий было просто экономически не выгодно. Согласно результатам оценки энергоэффективности образовательных учреждений г. Белгорода больше половины зданий относятся к самому низкому классу энергоэффективности – группы Е, а оставшиеся – к классу низкой энергоэффективности группы D.

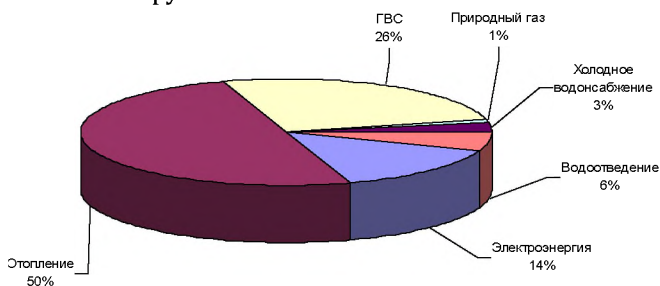


Рис. 4.1. Структура затрат на энергоресурсы управления образования г. Белгорода [127]

Поэтому снижение затрат на отопление в связи с резким повышением стоимости энергоносителей является актуальной задачей.

В разделе рассмотрен перевод трёх образовательных учреждений на индивидуальное отопление. Подобный проект по индивидуальному отоплению реализован в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова (рис. 4.2), который полностью отапливается за счёт установленных на территории вуза четырёх автоном-






Рис. 4.2. Автономная котельная БГТУ им. В.Г. Шухова

ных транспортабельных (блочных) котельных установках ТКУ с суммарной установленной мощностью 10,93 Гкал/час.

В табл. 4.1 приведены характеристики трёх детских садики площадью около 2000 кв. метров каждый, в которых в совокупности на энергоносители затрачивается около 3,7 млн. руб. в год. Выбраны здания разной конструкции. Отопление в здания централизованное от городских тепловых сетей. Доля коммунальных платежей в общей бюджете учреждений составляет чуть меньше 10%. Детские садики 35 и 48 оснащены приборами учёта тепловой энергии, садик номер 40 прибора учёта не имеет.

Таблица 4.1

Характеристики образовательных учреждений

Название	МДОУ "Детский сад комбинированного типа № 40"	МДОУ "Детский сад общеразвивающего типа № 35"	МДОУ "Детский сад общеразвивающего типа № 48"
Адрес	г. Белгород, ул. Победы, 14-а 	г. Белгород, ул. Губкина, 23 	г. Белгород, ул. Костюкова, 4а 
Площадь, м ²	1 380	2 263	1 651
Потребление энергетических ресурсов в 2010 г., тыс. руб.	1 196	1 382	1 201
Доля платы за энергоресурсы в общем бюджете	8,3%	9,4%	9,0%
Численность:			
работников	74	68	64
воспитанников	296	338	269

В табл. 4.2 представлен результат перевода на автономное отопление – установка транспортабельной (блочной) котельной установки (ТКУ), обслуживающей один объект. В денежном выражении экономия, для одного садика составит от 310 до 460 тысяч рублей или более миллиона рублей в год для трёх учреждений (что приведёт к сокращению расходов бюджета в связи с уменьшением оплаты коммунальных услуг на 3%).

Таблица 4.2

Сравнение затрат на отопление

Наименование	ДОУ № 40	ДОУ № 35	ДОУ № 48
Затраты на отопление в 2012 г., тыс. руб.	825,9	1090,2	953,6
Затраты на автономное отопление, тыс. руб.	516,3	632,1	569,4
Экономия, тыс. руб. в год	309,5	458,1	384,2
Доля экономии от общего бюджета ДОУ	2,10%	3,10%	2,90%

Экономия оплаты за энергоресурсы, по сравнению с получением тепловой энергии в централизованной котельной, определяется следующими факторами:

- более высокой эффективностью работы современных котлов;
- отсутствием потерь теплоты при передаче в тепловых сетях;
- отсутствием затрат на содержание тепловых сетей;
- снижением затрат электроэнергии из-за отсутствия дымососов после котлов и сетевых насосов тепловых сетей.

При установке ТКУ требуются дополнительные затраты на работу выездных бригад по обслуживанию ТКУ и центральной диспетчерской. Данные затраты зависят от количества автономных котельных.

Общие капитальные затраты на установку ТКУ, дымовой трубы, подсоединению к газовым сетям и водоснабжению по предварительной оценке составят от 3 до 3,5 млн. руб. (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Технико-экономические показатели

Наименование	ДОУ № 40	ДОУ № 35	ДОУ № 48
Мощность средняя, Гкал/ч	0,13	0,18	0,16
Мощность максимальная, Гкал/ч	0,26	0,35	0,3
Тип котельной	ТКУ-300	ТКУ-400	ТКУ-300
Стоимость, млн. руб.	3	3,5	3
Без дисконтный (простой) срок окупаемости, лет	9,7	7,6	7,8

Срок окупаемости проектов очень высокий, при этом использование механизмов финансирования в виде заёмных средств или энерго-сервисных контрактов приведёт к отсутствию окупаемости проектов.

4.1.2. Перевод отопления МБОУ «Горьковская основная общеобразовательная школа» Грайворонского района на альтернативный вид топлива

Существующее положение

Тип здания – двухэтажное кирпичное здание (рис. 4.3) общей площадью 4886 м² (по данным администрации школы), по данным натурного обследования площадь школы составляет 2800 м².

Количество этажей – 2.

Год постройки – 1997 год.

Расчётная отопительная нагрузка – 0,291 Гкал/час или 340 кВт (по данным теплоснабжающей организации МУП «Грайворон теплоэнерго»).



Рис. 4.3. Горьковская средняя школа

Фактические затраты на отопление представлены в табл. 4.4. Теплоснабжение школы осуществляется от котельной МУП «Грайворон теплоэнерго» (рис. 4.4), школа является единственным потребителем котельной. Характеристика оборудования котельной приведена в табл. 4.5.

Таблица 4.4

Затраты на отопление Горьковской ООШ

Год	Годовая отопительная нагрузка, Гкал	Средняя стоимость 1 Гкал, руб.	Затраты на отопление, руб.
2009	536,9	1098,00	589 703
2010	543,1	1 675,00	910 235
2011	544,5	1474,3	802 756
2012	544,5	1893,82	1 031 187
2013	544,5	2074,42	1 129 521

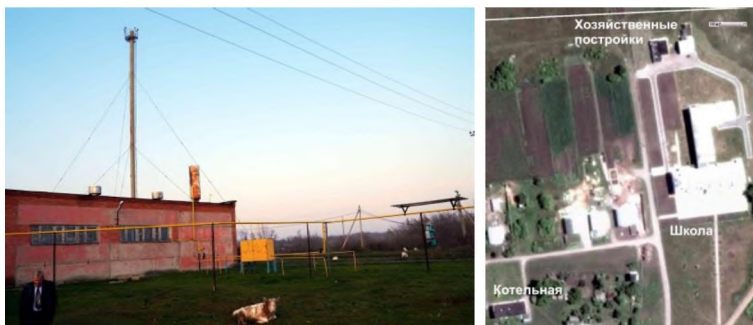


Рис. 4.4. Внешний вид котельной МУП «Грайворон теплоэнерго» и расположение относительно школы

Таблица 4.5

Оборудование котельной пос. Горьковский

Показатель		Значение	
Сведения по котлам	Марка котлов	КВа-1Гн	
	Количество, шт.	2	
	Установленная мощность, Гкал/ч (общая)	1,9	
	Год ввода в эксплуатацию	1996	
Характеристики теплотрассы	Протяжённость (п. м. в двухтрубном исполнении)	520	
	Тип (подземная, надземная)	подземная	
Характеристики сетевых насосов	Марка	К-100-65-200	К-80-50-200
	Напор, м	40	50
	Кол-во	1	2
	Мощность э/дв., кВт (общая)	11	7,5
	Год ввода в эксплуатацию	1999	1996
Основной производственный персонал, чел.		6	

Таким образом среднегодовой коэффициент использования мощности в котельной (при работе одного котла) составляет 6,5 % (при норме более 30%) и основными проблемы источника теплоснабжения является избыточная установленная тепловая мощность, что приводит к росту эксплуатационных расходов (амортизационные отчисления, электроэнергия, ремонт оборудования, штат, заработная плата персонала), а следовательно, к увеличению затрат на выработку тепловой энергии.

Расчёт отопительной нагрузки

Расчёт по методике МДС 41-4-2000

Расчётную часовую тепловую нагрузку отопления отдельного здания можно определить по укрупнённым показателям:

$$Q_{op} = \alpha V q_0 (t_v - t_{np}) \cdot (1 + K_{np}) \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал/ч} \quad (4.1)$$

где α - поправочный коэффициент, учитывающий отличие расчётной температуры наружного воздуха для проектирования отопления t_{np} в местности, где расположено рассматриваемое здание, от $t_{np} = -30$ °С, при которой определено соответствующее значение q_0 ; принимается по табл. 2 МДС 41-4-2000 (0,33 ккал/м³·°С или 1,38 кДж/м³·°С) для школ объёмом более 10000 м³); V - объём здания по наружному обмеру, м³; q_0 - удельная отопительная характеристика здания при $t_{np} = -30$ °С, ккал/м³·°С (кДж/м³·°С); принимается по табл. 4 МДС 41-4-2000; K_{np} - расчётный коэффициент инфильтрации, обусловленной тепловым и ветровым напором, т.е. соотношение тепловых потерь зданием с инфильтрацией и теплопередачей через наружные ограждения при температуре наружного воздуха, расчётной для проектирования отопления.

При $t_{np} = 0$ °С получаем:

$$Q_{op} = 2,05 \cdot 14500 \cdot 0,33 \cdot (20 - 0) \cdot (1 + 0,06098) \cdot 10^{-6} = 0,02081 \text{ Гкал/ч (242 кВт)}$$

Результаты расчёта при других температурах представлены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Отопительная нагрузка

Расчётная температура наружного воздуха t_{np} , °С	Тепловая нагрузка	
	Гкал/ч	кВт
0	0,2081	242
-5	0,2123	247
-10	0,2215	258
-15	0,2302	268
-20	0,239	278
-25	0,2485	289
-30	0,256	298

Расчёт по СНИП 23-02-2003

Расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода Q_{h}^y , МДж, следует определять по формуле:

$$Q_{h}^y = [Q_h - (Q_{int} + Q_s) \nu \zeta] \cdot \beta_h, \quad (4.2)$$

где Q_h - общие теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции, МДж; Q_{int} - бытовые теплопоступления в течение отопительного периода, МДж; Q_s - теплопоступления через окна и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж; ν - коэффициент снижения теплопоступлений за счёт тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемое значение $\nu = 0,8$; ζ - коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления;

рекомендуемые значения: $\zeta = 0,5$ – в системе без термостатов и без авто-регулирования на вводе – регулирование центральное в ЦТП или котельной; β_h – коэффициент, учитывающий дополнительное теплотребление системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения для: многосекционных и других протяжённых зданий $\beta_h = 1,13$.

Общие теплотери здания Q_h , МДж, за отопительный период следует определять по формуле:

$$Q_h = 0,0864K_m D_d A_e^{sum}, \quad (4.3)$$

где K_m – общий коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м²·°С), принимаем здания двухэтажные с оштукатуренными стенами из силикатного кирпича, железобетонными перекрытиями, окна с однокамерным стеклопакетом в одинарном переплёте. Получаем для здания школы: $K_m = 1,398$ Вт/(м²·°С). D_d – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут; для Белгородской области принимаем 4183 °С·сут; A_e^{sum} – общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, включая покрытие (перекрытие) верхнего этажа и перекрытие пола нижнего отапливаемого помещения, м²; для здания школы: $A_e^{sum} = 6120$ м².

В результате получаем потребность в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период 748 Гкал и максимальная тепловая нагрузка в 190 кВт (0,163 Гкал/ч).

Расчёт по максимальной потреблению газа в котельной

Максимальный расход газа: февраль 2012 г., 26,2 тыс. м³ в месяц (по данным МУП «Грайворон теплоэнерго»).

Принимая КПД котла 70% и потери в тепловых сетях 5% получаем:

– выработанная теплота:

$$26,2 \cdot 34000 / 4,19 \cdot 0,70 = 149 \text{ Гкал в месяц};$$

– потреблённая теплота:

$$149 \cdot 0,95 = 141,5 \text{ Гкал в месяц} = 0,203 \text{ Гкал/час} = 236 \text{ кВт};$$

– среднемесячная температура в феврале 2012 г.: -11,3°С.

– средняя температура в помещениях: 21°С;

– максимальная тепловая нагрузка при температуре -23°С:

$$236 \cdot (21 + 23) / (21 + 11,3) = 321 \text{ кВт}.$$

Выводы

Принимая наибольшее значение, определяем максимальную отопительную нагрузку 321 кВт (0,275 Гкал/ч). По данным теплоснабжающей организации МУП «Грайворон теплоэнерго» расчётная отопительная нагрузка – 0,291 Гкал/час или 340 кВт.

Технико-экономическая оценка установки ТКУ

В результате выполнения технико-экономического расчёта стоимость установки ТКУ оценена в 4 227 914 руб. (табл. 4.7). Оценка потенциала энергосбережения и срока окупаемости показывает, что с технико-экономической точки зрения проект не является высокоэффективным (табл. 4.8).

Таблица 4.7

Стоимость оборудования

Характеристика		Значение
Параметры для подбора	Мощность общая, МВт	0,582
	Мощность ГВС, МВт	0
	Расход сетевой воды, м ³ /ч	20
	Напор, м	50
Тип		ТКУ-300
Кол-во котлов (в т. один резервный)		2
Стоимость котла и горелок, руб.		2 521 200
Сетевой теплообменник (с резервным)	Тип	ПТР-0,6
	Количество	2
	Стоимость, руб.	160 000
Циркуляционные насосы	Тип	Wilo BM-S 50/150
	Кол-во	2
	Стоимость насоса, руб.	38 000
Стоимость арматуры, руб.		49 500
Стоимость теплосчётчика, руб.		89 214
Разработка проекта модернизации, руб.		250 000
Монтажные работы, руб.		350 000
Режимно-наладочные работы, руб.		250 000
Система диспетчеризации, руб.		400 000
Всего, руб.		4 227 914

Таблица 4.8

Технико-экономические показатели проекта

Показатель		Значение
Выработка теплоты в 2010 г., т. Гкал		0,65
Удельный расход топлива q_T , м ³ /Гкал	до модернизации	145
	после модернизации	138
Удельный расход электроэнергии q_E , кВт/Гкал	до модернизации	50,1
	после модернизации	30,2
Экономический эффект от снижения расхода энергоресурсов	тыс. руб. в год	59,2
	руб./Гкал	61,6
Экономический эффект от диспетчеризации	тыс. руб. в год	117,1
	руб./Гкал	181,1
Затраты, тыс. руб.	на модернизацию	3827,914
	на диспетчеризацию	400
Срок окупаемости, лет	от модернизации	>30
	при диспетчеризации	3,4
	общий	24
Удельные затраты, млн. руб., на 1 Гкал мощности		7,3

Структура себестоимости тепловой энергии, выработанной в ТКУ, в ценах 2013 г. представлена в табл. 4.9 (при условии нахождения ТКУ на балансе МУП «Грайворон теплоэнерго» и её включении в службу диспетчеризации).

Таблица 4.9

Структура себестоимости теплоты

Себестоимость, руб./Гкал	Без системы диспетчеризации	С системой диспетчеризации
Энергоресурсы		
Топливо	715,8	715,8
Электроэнергия на производственные нужды	70,4	70,4
Вода	0,0	0,0
Прямые затраты		
Затраты на оплату труда (основного производственного персонала) с ЕСН	804,1	114,5
Ремонт	28,2	28,2
Общехозяйственные расходы		
Служба диспетчеризации	–	126,5
Прочее	358,1	358,1
Итого	1976,6	1413,5

Таким образом можно сделать вывод, что модернизация системы отопления с установкой ТКУ приведёт к экономии затрат на отопление, в основном связанных с переводом котельную на систему диспетчеризации, но это связано с большими капитальными затратами.

Установка пиролизного котла

Пиролизный (газогенераторный) котёл является одной из разновидностей твёрдотопливных котлов, обычно он применяется как водогрейный. В нем топливо и выходящие из него лёгкие вещества сгорают по отдельности с использованием принципа пиролиза – разложения и частичной газификации твёрдого топлива под действием нагревания. Работа пиролизных котлов особо эффективна на топливе с высоким выходом летучих веществ – дрова, или древесные отходы в виде опилок, а также топливные брикеты, бурый уголь, тоже хорош в использовании, в пиролизном котле. Некоторые модели печей потребляют и каменный уголь небольшого размера, и даже коксующий уголь.

Пиролизные котлы предъявляют достаточно высокие требования к влажности применяемого в горении топлива – для дров влажность должна быть в пределах 20 – 35 процентов. Это связано, прежде всего, с тем, что влага в виде водяного пара разбавляет пиролизные газы, что мешает горению в топке котла. При работе котла на влажном топливе, его мощность резко падает, или он вообще может потухнуть.

Преимущества пиролизных котлов:

1. Процесс горения в пиролизных котлах – регулируемый, с подачей первичного воздуха, что позволяет работать с одной закладки твёрдого топлива достаточно длительное время, до 10 – 12 часов, у обычных же котлов около 3 – 4 часов. У котлов верхнего горения данный показатель больше – от 30 часов при загрузке дров и до 6 – 7 дней при использовании угля.

2. В пиролизных котлах происходит полное сгорание твёрдого топлива, как следствие, обеспеченна экономичность горения, как и реже необходимо чистить зольник и газоходы.

3. Двухступенчатое сжигание топлива позволяет снизить избыток воздуха в уходящих газах и повысить экономичность котла.

4. Процесс горения легко поддаётся управлению и регулированию, что позволяет автоматизировать его работу, по той же схеме, что и работа газовых и котлов на жидком топливе.

Недостатки пиролизных котлов:

1. Высокая стоимость, превышающая традиционные котлы на твёрдом топливе в 1,5 – 2 раза;

2. Пиролизные котлы без дымохода работать не могут, поэтому необходима постоянная подача электроэнергии;

3. Повышенная требовательность к уровню влажности топлива;

4. При небольших нагрузках горение в котле не стабильно, в связи с чем – образуются отложения в газоходах;

5. Температура обратной воды в пиролизных котлах должна быть не менее 60 °С, иногда – 40 градусов по Цельсию.

Для установки в Горьковскую СОШ предлагаются два котельных агрегата мощность 200 кВт (табл. 4.10).

Таблица 4.10

Паспортные данные котла

Технические параметры	Ед. изм.	Торговая марка котла «Ф.Б.Р.Ж.» КО 200
Тепловая мощность	кВт	200
Площадь отапливаемого помещения (при высоте потолка 3м)	м ²	1800
Рабочая температура	°С	90
Объем воды в котле	литр	200
Диаметр вход/выход		Фланцы 65
Рабочее давление	МПа	не более 0,15
Диаметр дымохода	мм	280
Минимальная высота дымохода	метр	12
КПД	%	80-90
Размеры (ВхШхГ)	мм	2000x1440x2000
Масса	кг	3600

Стоимость оборудования котельной, включая затраты на проект и ввод в эксплуатацию, и расчёт необходимых выплат при проведении модернизации за счёт кредитных средств представлены в табл. 4.11 и 4.12. Как видно из расчёта кредита, удельные выплаты составляют не менее 956 руб./Гкал.

Таблица 4.11

Расчёт стоимости оборудования (цены 2013 г.)

Показатель	Ед. изм.	кол-во	Цена, руб.	Сумма, руб.
Котёл 200 кВт	шт.	2	320 000	640 000
Арматура и автоматика	-	-	-	193 300
Индивидуальный тепловой пункт	шт.	1	511 100	511 100
Разработка проекта	шт.	1	200 000	200 000
Монтаж и ввод в эксплуатацию	-	-	-	672 200
Стоимость контейнера котельной	шт.	1		200 000
Итого стоимость оборудования				2 416 600

Таблица 4.12

Расчёт обслуживания заёмных средств

Срок кредита, лет	Ежемесячные выплаты, руб.	Ежегодные выплаты, руб.	Удельные выплаты на 1 Гкал	Общая сумма, выплачиваемая по кредиту, руб.
2	117 173	1 406 074	2 582	2 812 148
3	83 772	1 005 267	1 846	3 015 800
4	67 256	807 069	1 482	3 228 278
5	57 491	689 889	1 267	3 449 445
6	51 099	613 188	1 126	3 679 131
7	46 633	559 590	1 028	3 917 133
8	43 367	520 402	956	4 163 219

Для определения экономии средств произведён расчёт стоимости топлива (табл. 4.13), калькуляция себестоимости теплоты представлены в табл. 4.14.

Таблица 4.13

Расчёт стоимости древесного топлива

Наименование	Ед. изм.	В год	На 1 Гкал
Отопительная нагрузка	Гкал	544,5	-
Теплота сгорания дров,	ккал/кг	2200	-
Объём дров	кг	247500	454,55
	м³	354	0,65
Стоимость 1 м³ щепы (по данным ООО "Экотранс")	руб.	700	
Стоимость щепы	руб.	247500	454,55
Стоимость доставки 27 м³ (автомобиль) щепы в Грайворон (по данным ООО "Экотранс")	руб.	4424,48	-
Стоимость доставки щепы в Грайворон	руб.	57939,6	106,4
Стоимость щепы в Грайвороне с доставкой	руб.	305439,6	561,0

Таблица 4.14

**Калькуляция себестоимости теплоты
(без учёта обслуживания заёмных средств)**

Наименование	В год	На 1 Гкал	%
Топливо	305439,62	561,0	36%
Электроэнергия (3 кВт)	53424	98,1	6%
Зарплата персонала (4 чел. *12000 руб., 7 мес.)	336000	617,1	40%
Отчисления на фонд заработной платы	101808	187,0	12%
Прочие расходы	43817	80,5	5%
Итого	840488,56	1543,6	100%

Выводы

1. Себестоимость теплоты, вырабатываемой газовой транспортательной котельной установкой составляет 1977 руб./Гкал при её обслуживании отдельным сезонным персоналом или 1414 руб./Гкал при её подключении к системе диспетчеризации (при условии её внедрения на всех котельных установках районного МУП «Грайворон теплоэнерго»). Себестоимость теплоты, вырабатываемого пиролизном котлом, составляет 1544 руб./Гкал.

2. Затраты на топливо для пиролизного котла составляют 561 руб./Гкал (при поставках дровяных опилок ООО «Экотранс»), то есть 36% от себестоимости, и 715,8 руб./Гкал для газовой котельной. При условии использования местного топлива себестоимость теплоты, вырабатываемой в пиролизном котле, может существенно снизиться.

3. Существенной статьёй в себестоимости теплоты является заработная плата, которая составляет около половины стоимости теплоты для пиролизного котла. Это связано с его низкой отопительной мощностью.

4. Во всех случаях привлечение кредитных средств установка оборудования невыгодна, так как значительные капитальные вложения определяют, что суммы, которые необходимо возвращать ежемесячно для погашения кредита, превосходят или сопоставимы со стоимостью вырабатываемой теплоты. В случае энергосервисного контракта годовая экономия после внедрения мероприятий $(2203 - 1547) \cdot 544,5 = 357\,192$ тыс. руб. определяет срок энергосервисного контракта более 10 лет.

**4.1.3. Перевод отопления Дома культуры с. Санково
Грайворонского района на альтернативный вид топлива**

Существующее положение

Дом культуры расположен в с. Санково Грайворонского района. Тип здания – одноэтажное кирпичное здание общей площадью 384,2 м² (по

данным плана БТИ). Год постройки – 1970. Состояние здания и помещений удовлетворительное. Теплоснабжение школы осуществляется от индивидуального отопительного котла, установленного в здании. На настоящее время котёл выработал свой ресурс и требует замены.

По данным составления энергетического паспорта здания (рис. 4.5) расчётная отопительная нагрузка составила 93 Гкал/сезон, максимальная нагрузка при температуре воздуха -24°C – 44,8 кВт (0,038 Гкал/час).

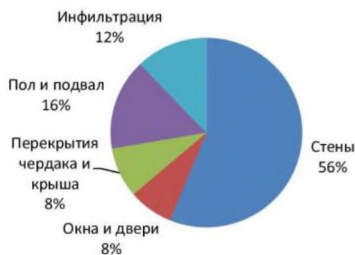


Рис. 4.5. Структура потерь теплоты в здании школы

Фактические затраты на отопление школы представлены в табл. 4.15.

Таблица 4.15

Фактические затраты на отопление

Отопительный сезон	Расход природного газа, тыс. м ³	Средняя температура за отопительный сезон, °C	Продолжительность отопительного сезона, сут.	Отопительная нагрузка, Гкал	Расчётная максимальная отопительная мощность при $t = -24^{\circ}\text{C}$, кВт
2011/2012	9125	-2,4	213	89,8	47,6
2012/2013	8460	-2,0	244	83,3	46,5
2013/2014	7331	-0,8	263	72,1	42,5

*Теплота сгорания газа 33 МДж/м³; КПД котла 80%.

Таким образом, расчётную максимальную отопительную нагрузку можно принять в размере 48 кВт.

Технико-экономическое обоснование

Для выбора котла был произведён анализ рынка (табл. 4.16), при этом рассматривались производители, имеющие сертификаты на свою продукцию. Котлы необходимой мощности при этом имелись лишь у некоторых производителей.

Таблица 4.16

Варианты поставок пиролизных котлов

Наименование	Мощность, кВт	Масса, кг	Производитель / Поставщик	Стоимость, тыс. руб. (с доставкой в г. Грайворон), цены 2014 г.
МС-40	20–48	680	ДП ОАО «Мотор Сич», г. Лебедин Сумской обл., Украина / ООО «Атом», г. Белгород ул. Новая, д. 2А	126 825 + 4 000
БТС-50 Премиум	50	915	ДП ОАО «Мотор Сич», г. Лебедин Сумской обл., Украина / ООО «Атом», г. Белгород ул. Новая, д. 2А	150 000 + 4 000
АТМОС (Атмос) С 50 S, с термостатом дымовых газов	35–48	415	АТМОС, Чехия / ООО «Комфорт-Эко», Москва	187 244 + 23 000
АТМОС (Атмос) DC 50 S	35–48	407	АТМОС, Чехия / ООО «Комфорт-Эко», Москва	163 073 + 23 000
ПК-50*	50	650	ООО «Костромской Завод Котельного Оборудования»	115 700 + 34 000
ВТК-50*	50	557	ООО «Инвестпром», г. Старый Оскол	89 000 + 8 000

Для установки предлагается котёл МС-40, имеющий наилучшие качественные показатели и массу (характеризующий толщину и марку используемой стали), оснащён терморегулятором, вентилятором и полностью готовый к установке. Стоимость котла с доставкой составит 131 000 руб. (табл. 4.17). В случае использования отечественных котлов их стоимость будет сопоставима, так как их дооснащение автоматикой потребует дополнительных затрат 25–30 тыс. руб.

Таблица 4.17

Капитальные затраты на установку котла

Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Цена, руб.	Сумма, руб.
Котёл 48 кВт	шт.	1	131 000	131 000
Разработка проекта, монтаж и ввод в эксплуатацию	шт.	1	44 000	44 000
Итого стоимость оборудования	-	-	-	175 000

Как один из вариантов, в качестве топлива предлагается использовать древесную щепу, доставляемую ООО «Экотранс», Белгород (табл. 4.18).

Таблица 4.18

Расчёт затрат на древесную щепу

Наименование	Ед. изм.	В год	На 1 Гкал
Отопительная нагрузка	Гкал	93	–
Теплота сгорания дров,	ккал/кг	2200	–
Объем дров	кг	42273	454,55
	м ³	60	0,65
Стоимость 1 м ³ щепы (по данным ООО "Экотранс")	руб.	700	
Стоимость щепы	руб.	42273	454,55
Стоимость доставки 27 м ³ (автомобиль) щепы в Грайворон (по данным ООО "Экотранс")	руб.	4424,48	–
Стоимость доставки щепы в Грайворон	руб.	9896,0	106,4
Стоимость щепы в Грайвороне с доставкой	руб.	52168,8	561,0

Как видно из расчёта, удельная стоимость щепы получилась высокой, близкой к удельной стоимости природного газа, используемой в газовом котле (734 руб./Гкал). Поэтому в качестве топлива возможно рассмотреть альтернативные варианты, так как пиролизные котлы позволяют сжигать дрова размером до 500x150 мм.

Пиролизный котёл может работать на одной загрузке дров до 8-10 часов. Это позволяет производить его эксплуатацию в две смены. Установка круглосуточного дежурства у котла оператора/истопника экономически нецелесообразно (табл. 4.19), так как в связи с невысокой мощностью котельной удельные затраты на единицу вырабатываемой теплоты будут слишком высокие (более 2 тыс. руб. на 1 Гкал). При эксплуатации котла имеющимся персоналом (сторож, работники хозслужб) себестоимость вырабатываемой теплоты в основном определяется стоимость топлива.

Таблица 4.19

Калькуляция себестоимости теплоты в руб.

Наименование	С дополнительным персоналом			Без дополнительного персонала		
	В год	На 1 Гкал	%	В год	На 1 Гкал	%
Топливо	52168,75	561,0	19%	52168,8	561,0	19%
Электроэнергия (0,04 кВт)	712,32	7,7	0%	712,32	7,7	0%
Зарплата дополнительного персонала	168000	1806,5	61%	–	–	–
Отчисления на заработную плату	50904	547,4	19%	–	–	–
Прочие расходы	2908	31,3	1%	2908	31,3	1%
Итого	274693	2953,7	100%	55760	599,9	20%

При использовании в качестве топлива щепы экономия при расчётной отопительной нагрузке 93 Гкал/год по сравнению с газовым котлом

будет небольшая, около 10 тыс. руб. в год и проект будет являться не окупаемым (табл. 4.20). Но при наличии альтернативного топлива меньшей стоимости, экономия может достичь 40–50 тыс. руб. в год.

Таблица 4.20

**Расчёт экономии проекта
(разности в стоимости газового и дровяного топлива)**

Наименование	В год
Отопительная нагрузка, Гкал	93
Потребление природного газа, м3	13120,2
Стоимость природного газа, руб./м3	5,2
Удельные затраты на природный газ, руб./Гкал	734
Затраты на природный газ, руб.	68 225
Затраты на эксплуатацию пиролизного котла с сжиганием поставляемой щепы, руб.	55 790
Экономия, руб.	12 436

Были рассчитаны варианты привлечения кредитных средств. Как видно из табл. 4.21, если в качестве экономии рассматривать разницу стоимости газового и дровяного топлива, то кредиты менее 5 лет не позволят производить выплаты за счёт этой экономии. Кредит на 5 лет будут целесообразны только при крайне низкой стоимости топлива, менее 50 руб./м³.

Таблица 4.21

**Расчёт стоимости кредита при гашении ежемесячными
аннуитетными платежами (годовая процентная ставка 15%) при
разных сроках кредитования**

Срок кредита, лет	Ежемесячные выплаты, руб.	Ежегодные выплаты, руб.	Удельные выплаты на, руб./Гкал	Общая сумма, выплачиваемая по кредиту, руб.
2	8 485	101 822	1 095	203 644
3	6 066	72 797	783	218 392
4	4 870	58 445	628	233 778
5	4 163	49 959	537	249 794
6	3 700	44 405	477	266 427
7	3 377	40 523	436	283 662
8	3 140	37 685	405	301 483
9	2 962	35 541	382	319 870
10	2 823	33 880	364	338 803

Выводы

1. Затраты на топливо составляют 52 169 руб. в год или 561 руб./Гкал (при поставках дровяных опилок ООО «Экотранс»), что не намного ниже стоимости природного газа, потребляемого газовым кот-

лом 68 225 тыс. руб. или 734 руб./Гкал. При условии использования местного более дешёвого топлива себестоимость теплоты, вырабатываемой в пиролизном котле, может существенно снизиться.

2. Установка пиролизного котла экономически целесообразна только при его обслуживании существующим персоналом, поэтому перед реализацией проекта необходимо оценить такую возможность.

3. Привлечение кредитных средств на установку оборудования невыгодно, так как значительные капитальные вложения определяют, что суммы, которые необходимо возвращать ежемесячно для погашения кредита, превосходят или сопоставимы со стоимостью экономии, полученной при замене природного газа на дровяное топливо.

4.1.4. Исследование эффективности солнечной генерации в условиях Белгородской области*

Солнечная энергетика является одним из направлений использования природных источников энергии и позволяет заменить электрогенерацию, основанную на сжигании топлива. Это позволяет улучшать экологию, снижать тепловое загрязнение и загрязнение токсичными выбросами и парниковыми газами.

Но эффективность эксплуатации солнечных электростанций зависит от климатических условий места их установки. В работе проанализированы климатические условия Белгородской области и определена фактическая выработка электроэнергии на солнечной электростанции.

Солнечная электростанция ООО «АльтЭнерго» номинальной мощностью 100 кВт (рис. 4.6) установлена в с. Крапивинские Дворы Белгородской области. На СЭС используется два типа модулей: поликристаллические и аморфные (табл. 4.22). Солнечная электростанция была введена в эксплуатацию в сентябре 2010 г. и за шесть лет работы выработала более 560 тыс. кВт·ч электроэнергии (рис. 4.7)



Рис. 4.6. Солнечная электростанция ООО «АльтЭнерго»

* Работа выполнена студентами В.В. Рычковым, Е.И. Солдатенковой под руководством автора

Солнечная электростанция «Альтэнерго»

Тип:	Поликристаллические	Аморфные
Установленная мощность	46 кВт	54 кВт
Активная поверхность	170 м ²	876 м ²
Мощность одного модуля	213 Вт	50 Вт
Вес модуля	21,5 кг	13,5кг
КПД	13,7%	10%
Производитель	Рязанский завод металлокерамических приборов	Buda Solar (Венгрия)

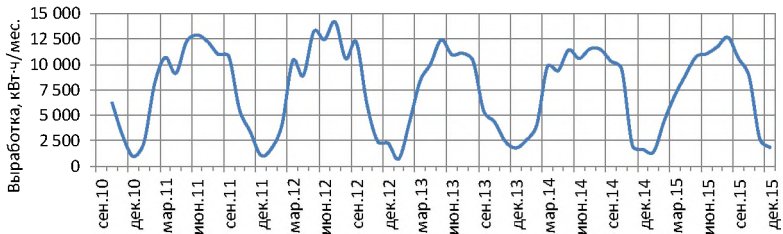


Рис. 4.7. Выработка электроэнергии СЭС

Коэффициент использования мощности СЭС (рис. 4.8) составил:

- 2011 г. 11,15%
- 2012 г. 11,05%
- 2013 г. 9,23%
- 2014 г. 10,58%
- 2015 г. 10,31%
- 2011-2015 г. 10,64%

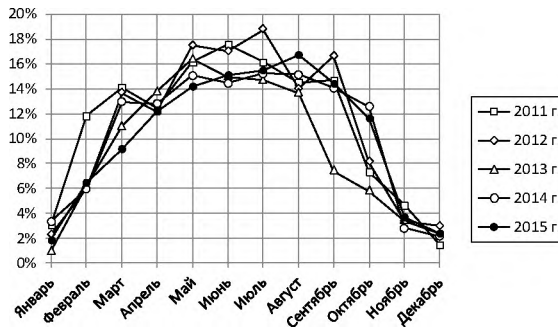


Рис. 4.8. Коэффициент использования установленной мощности СЭС

Если соотнести солнечную энергию, поступающую на модули E_0 , к выработанной электроэнергии E_m (рис. 4.9), то выход электроэнергии меняется в пределах от 6 до 17% (табл. 4.23). Указанное расхождение объясняется тем, что часть солнечной энергии задерживается облачностью.

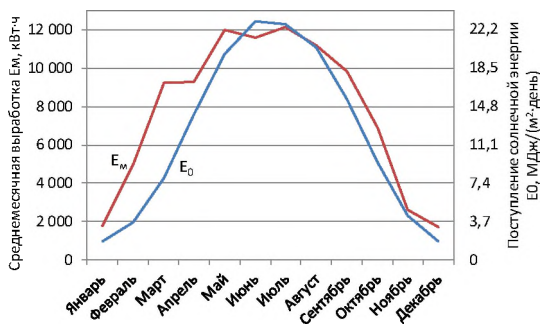


Рис. 4.9. Сравнение месячных выработки электроэнергии и поступления солнечной радиации

Таблица 4.23

Соотношение поступившей и выработанной электроэнергии

Месяц	Среднемесячная выработка электроэнергии за 2010-2015 г. E_m , кВт·ч	Поступление суммарной солнечной энергии на поверхность площадью 1046 м² за месяц E_p	Отношение E_m/E_p
Январь	1 742,27	16 213,0	11%
Февраль	4 988,66	29 288,0	17%
Март	9 212,31	71 157,1	13%
Апрель	9 282,14	122 033,3	8%
Май	12 006,71	178 343,0	7%
Июнь	11 593,51	200 483,3	6%
Июль	12 155,89	204 463,9	6%
Август	11 202,76	184 648,1	6%
Сентябрь	9 847,90	135 108,3	7%
Октябрь	6 872,80	84 667,9	8%
Ноябрь	2 614,87	37 481,7	7%
Декабрь	1 712,68	16 213,0	11%

Для оценки условий облачности в работе на основе фактических метеорологических данных произведено сравнение климатических условий для двух районов Белгородской области: г. Белгорода и Грайворонского района.

Были использованы метеорологические данные архива погоды на метеостанциях Готня (расположенной вблизи Грайворонского района) и аэропорта г. Белгорода, полученные с сайта <http://rp5.ru>. Эти метеорологические пункты находятся на расстоянии 60 км друг от друга. Данные содержали температуру воздуха, скорость ветра, влажность, показатели облачности и др. данные, сохранённые с интервалом времени от 0,5 до 3 часов. Всего было использовано 11682 наблюдений за 2012-2015 г.

Словесному обозначению облачности было сопоставлено три вида: «Пасмурно», «Облачно», «Ясно» (табл. 4.24).

Таблица 4.24

Описание облачности

Данные метеoarхива	Обозначение облачности в работе	Условное обозначение облачности
Видимость отсутствует Облачность 100% Облачность 90-100%	Пасмурно	$K_{п}$
Облачность 60-90% Облачность 60%	Облачно	$K_{о}$
Облачность 40% Облачность 20-30% Облачность 0-10% Облачность 0%	Ясно	$K_{я}$

По данным было определено распределение указанных типов облачности в среднем за каждый месяц (рис. 4.10, табл. 4.25). Из графика видно, что в летние месяцы преобладает ясная погода, а в зимние – пасмурная. Как видно из графика, для Грайворонского района ясная погода наблюдается намного чаще, чем облачная и пасмурная. Поэтому эффективность солнечных батарей там будет выше, чем в Белгороде.

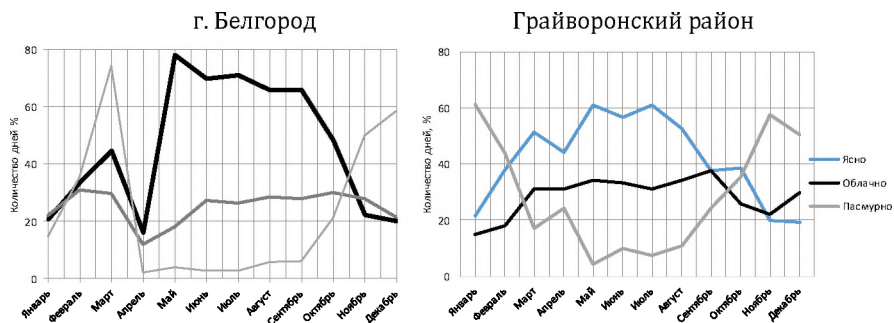


Рис. 4.10. Средние показатели облачности

**Средние показатели облачности в Грайворонском районе
и г. Белгороде**

Месяц	Грайворонский район			г. Белгород		
	Ясно	Облачно	Пасмурно	Ясно	Облачно	Пасмурно
Январь	21,5	15,1	61,4	20,7	21,9	14,8
Февраль	38,0	18,0	44,0	33,7	30,9	35,4
Март	51,6	31,2	17,2	44,5	29,7	74,2
Апрель	44,4	31,2	24,4	16,0	12,0	2,0
Май	61,3	34,4	4,3	78,1	18,1	3,9
Июнь	56,7	33,3	10,0	70,0	27,3	2,7
Июль	61,3	31,2	7,5	71,0	26,5	2,6
Август	52,8	34,4	10,8	65,8	28,4	5,8
Сентябрь	37,8	37,8	24,4	66,0	28,0	6,0
Октябрь	38,7	25,8	35,5	48,4	30,1	21,2
Ноябрь	20,0	22,2	57,8	22,2	27,8	50,0
Декабрь	19,4	30,1	50,5	20,0	21,3	58,7
Среднее	42,0	28,7	29,0	46,4	25,2	23,1

Сопоставляя данные выработки электроэнергии на СЭС «Альтэнерг», данные об интенсивности солнечной радиации и облачности, предложено выработку электроэнергии E_m определять по данным о значении облачности $K_{я}, K_{о}, K_{п}, \%$, и поступлении суммарной солнечной энергии на поверхность E_p . В результате обработки фактических данных по выработке электроэнергии в солнечной электростанции и фактической облачности получено следующее уравнение:

$$E_m = (0,070 K_{я} + 0,04 K_{о} + 0,10 K_{п}) E_p.$$

Полученное выражение может быть использовано при оценке производительности солнечных коллекторов с учётом реальной облачности.

Еще одним инструментом для анализа фактической выработки электроэнергии СЭС является сайт <https://www.renewables.ninja>. Он использует данные анализа погоды от глобальных моделей и спутниковых наблюдений, полученных от двух источников: NASA MERRA (данные наблюдений со спутников) и CM-SAF's SARAH (глобальной климатической модели). Сайт позволяет рассчитывать выходную мощность для ветро- и солнечных электростанций, расположенных в любой точке мира.

На сайте используются следующие исходные данные (рис. 4.11):

- географические координаты;
- период времени;
- источник данных (NASA MERRA или CM-SAF's SARAH);
- установленную введи мощность СЭС;

- потери (расход энергии на внутренние нужды), %;
- наличие системы автоматического отслеживания (нет, изменение азимута, изменение наклона и азимута);
- наклон панелей и направление установки панелей.

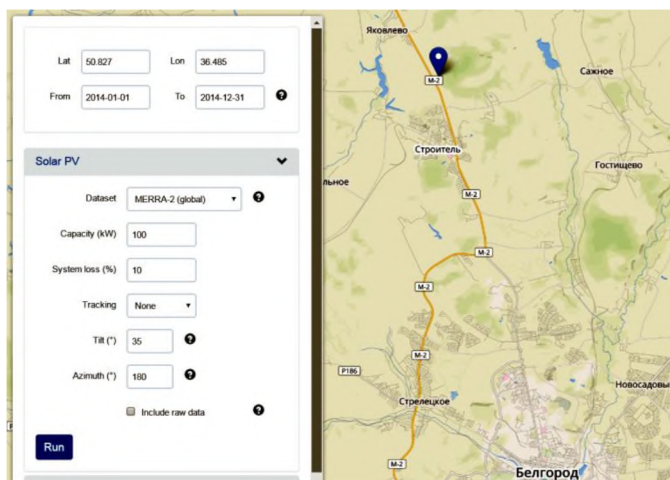


Рис. 4.11. Ввод данных на сайте renewables.ninja

Для расчета (рис. 4.12) были использованы координаты расположения солнечной электростанции ООО «Альтэнерго» (50°82'90" с.ш.; 36°48'50" в.д.) Полученные данные были сравнены с фактической выработкой электроэнергии СЭС «Альтэнерго» (рис. 4.13).

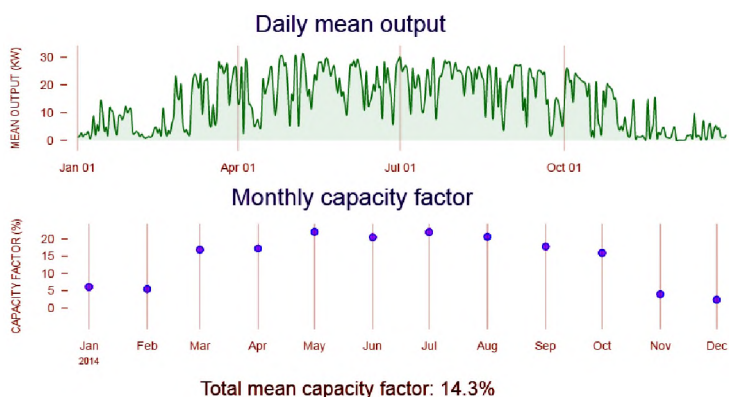


Рис. 4.12. Результаты расчета выработки СЭС

По полученным результатам можно увидеть, что реальные данные выработки электроэнергии СЭС «Альтэнерго» отличаются от значений сайта renewables.ninja. Причем для источника NASA MERRA отличие составляет 61%, а для источника CM-SAF's SARAH – 32%. Из этого стоит сделать вывод, что источник CM-SAF's SARAH дает более точные данные. Кроме того СЭС ООО «Альтэнерго» была возведена шесть лет назад, и используемые в ней солнечные панели являются устаревшими и характеризуются более низким КПД, чем современные.

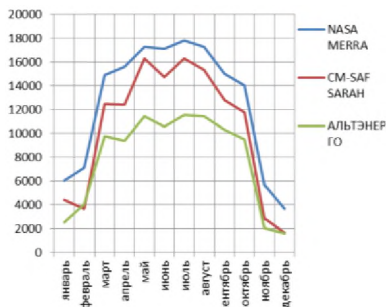


Рис. 4.13. Выработка электроэнергии

С помощью сайта была проанализирована выработка электроэнергии СЭС в разных районах Белгородской области. По полученным данным (рис. 4.14) видно, что разность в выработке совсем не большая, не превышает 1,5%. Так же для координат г. Белгорода была проанализирована эффективность СЭС в зависимости от угла наклона и направления панелей (рис. 4.15).

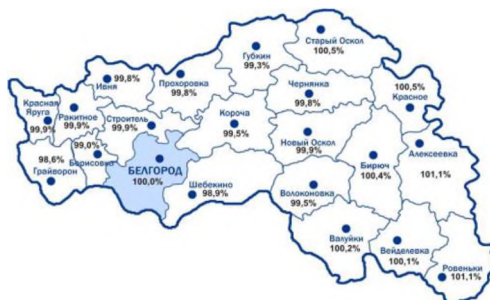


Рис. 4.14. Выработка электроэнергии в различных районах Белгородской области

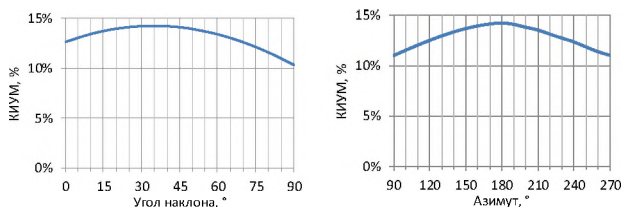


Рис. 4.15. Изменение годового КУИМ в зависимости от угла наклона и азимута панелей

Можно сделать вывод, что в условиях Белгородской области разница в выработке электроэнергии СЭС в различных районных центрах небольшая и составляет не более 1,5%. Но значительно большее влияние на выработку электроэнергии правильная установка солнечных панелей с оптимальным углом наклона в 35° и азимутом в 180°.

4.1.5. Оценка эффективности солнечных водонагревательных установок в условиях Белгородской области*

Задачей работы является определение выработки теплоты с помощью вакуумного солнечного коллектора в условиях Белгородской области. Оценка эффективности солнечных водонагревателей в разных условиях проведена в работах [163–166]. Для расчёта количества теплоты, получаемой в солнечной водонагревательной установке, необходимо учесть следующие факторы:

- 1) интенсивность солнечной радиации, меняющейся в разное время года;
- 2) угол наклона установки и изменения угла падения солнечных лучей в разное время суток;
- 3) степень облачности, снижающей солнечную радиацию;
- 4) КПД коллектора, зависящий от температуры наружного воздуха.

Среднемесячное дневное поступление суммарной солнечной энергии на поверхность Земли для широты 50° (широта расположения Белгородской области) приведено табл. 4.26.

Таблица 4.26

Среднемесячное дневное поступление суммарной солнечной энергии на поверхность Земли E_0 , МДж/(м²·день) для широты 50°

Номер месяца											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1,8	3,6	7,9	14	19,8	23	22,7	20,5	15,5	9,4	4,3	1,8
Среднегодовой поток 11,9											

* Работа выполнена студентом Д.В. Краснощековым под руководством автора

Для определения степени облачности использовались ежедневные статистические метеорологические данные для г. Белгорода за 1998–2004 г, взятые на сервере «Погода России» (<http://meteo.infospace.ru>). По ежедневным данным было рассчитано количество дней, в процентном отношении, с разной облачностью. Облачность $D_{обл}$, %, в зависимости от которой изменяется дневное поступление суммарной солнечной энергии на поверхность Земли, для Белгородской области по месяцам сведена на рис. 4.16. Облачность оценивалась по десятибалльной шкале, принятой в 1853 г. в Брюсселе на первой Морской Международной Метеорологической Конференции.

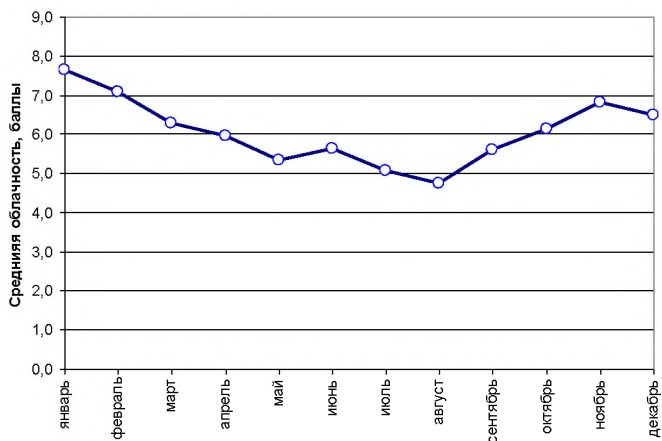


Рис. 4.16. Среднемесячное распределение облачности (в баллах) для Белгородской области

Для определения количества солнечной радиации при разной степени облачности использовались данные экспериментальных наблюдений, проводимых для солнечного вакуумного коллектора из 20 трубок и с баком объёмом 165 литров в течение двух месяцев [167]. По этим данным была рассчитана средняя температура при трёх видах облачности: ясно (1-5 баллов), облачная погода (6–8 баллов), пасмурно (9–10 баллов). Для определения интенсивности солнечного излучения при разной облачности используем средние температуры нагрева работы [167], приняв начальную температуру воды на входе в коллектор 15 °С и одинаковый расход воды во всех случаях, полученные результаты приведены в табл. 4.27.

Таблица 4.27

Интенсивность солнечного излучения при разной облачности

Тип облачности	Температура нагрева воды в коллекторе, °С	Разность температур до и после коллектора, °С	Относительная интенсивность солнечного излучения $k_{обл}$
Ясно	70,0	55,0	1,0
Облачно	62,8	47,8	0,87
Пасмурно	55,5	40,5	0,74

Для расчёта КПД солнечного вакуумированного коллектора использована среднемесячная температура воздуха для Белгородской области. Расчёт КПД вакуумированного трубчатого коллектора произвели исходя из зависимости этой величины от температуры наружного воздуха и нагреваемой воды, приведённой в работе [168]. Был определён КПД солнечного коллектора при разных среднемесячных температурах наружного воздуха и трёх видах облачности. В ясную погоду температура нагреваемой солнечным коллектором воды принята 70 °С, в облачную – 62,8 °С, а в пасмурную – 55,5 °С. Полученные результаты приведены в табл. 4.28.

Таблица 4.28

КПД вакуумированного солнечного коллектора, %

Тип облачности	Номер месяца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ясно	68	69	71	73	75	77	78	77	75	75	72	70
Облачно	65	66	68	70	73	74	75	74	73	70	68	68
Пасмурно	60	61	65	67	68	69	70	70	68	65	63	62

Угол падения солнечных лучей в разное время суток определяется угловым положением Солнца. Земля оборачивается вокруг своей оси за 24 часа, соответственно, за 1 час поворачивается на 15 градусов. На неподвижный коллектор лучи падают под постоянно меняющимся углом от 0 градусов до 90 и затем снова до нуля по синусоидальному закону. Это значит что и эффективная поверхность нагрева (и количество получаемой энергии, соответственно) так же меняется по синусоиде.

Поступление солнечной радиации в реальных условиях для каждого месяца E рассчитали для трёх типов облачности (ясно, переменная облачность, пасмурно) следующим образом:

$$E = \sum E_0 D_{обл} \eta_i k_{накл} k_{обл} \quad (4.4)$$

где E_0 – интенсивность солнечного излучения; $k_{\text{накл}}$ – коэффициент пересчёта суммарного потока солнечной энергии с горизонтальной плоскости на поверхность коллектора (широта 50°), для условий Белгородской области при угле наклона коллектора от 30 до 45° коэффициент $k_{\text{накл}}$ может принят $1,1$ [169]; $k_{\text{обл } i}$ – коэффициент ослабления излучения в зависимости от типа облачности; $D_{\text{обл}}$ – доля дней в месяце с рассматриваемой облачностью.

По известному поступлению солнечной радиации, Гкал/сут, рассчитано количество воды V (л/сут), которое можно нагреть, по формуле:

$$V = E / (t - t_0), \quad (4.5)$$

где t_0 – начальная температура воды; $t_0 = 15^\circ\text{C}$.

Результаты расчёта теплопроизводительности солнечного коллектора представлены на рис. 4.17.

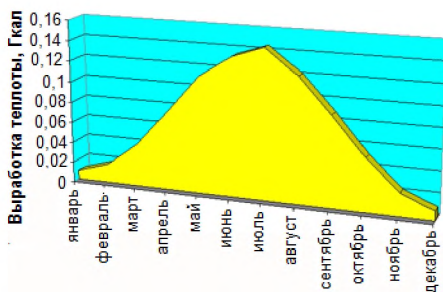


Рис. 4.17. Помесечная выработка теплоты в солнечном коллекторе

Годовая выработка теплоты, таким образом, составит $0,835$ Гкал. Сравним стоимость теплоты, полученной разными способами теплогенерации и срок окупаемости солнечного коллектора при замене или дополнении рассмотренных способов теплогенерации (табл. 4.29). Можно сделать вывод, что применение солнечных водонагревательных установок в условиях Белгородской области выгодно в условиях труднодоступности альтернативных энергоисточников, например в отдалённых районах с наличием только электроснабжения. При возможности использования газового топлива или централизованного водоснабжения применение солнечных коллекторов экономически не выгодно.

**Стоимость выработки 0,835 Гкал теплоты
(цены первого полугодия 2015 г.)**

Вид теплогенерации	Стоимость единицы энергии, руб.	Количество затрачиваемой энергии в год	Стоимость вырабатываемой теплоты, руб.	Срок окупаемости солнечного коллектора площадью 1 м ² стоимостью 50 000 руб.
Газовый котёл с КПД 92%	5,20 (1 м ³ газа)	108,7 м ³ газа с теплотой сгорания 35 МДж/м ³	565,24	47 лет
Электрический котёл с КПД 95%	2,28* (1 кВт·ч)	1023 кВт·ч	2332,4	17 лет
	3,26** (1 кВт·ч)		3335,0	12 лет
Централизованное теплоснабжение	1 525*** (1 Гкал)	0,835 Гкал	1273,0	31 год

* – одноставочный тариф для сельского населения Белгородской области;

** – одноставочный тариф для городского населения Белгородской области;

*** – тариф на тепловую энергию МУП «Тепловые сети Белгородского района»

При сравнении с использованием природного газа в качестве энергоисточника применение водонагревательных установок будет невыгодно даже при повышении стоимости газа до мирового уровня (\$0,3...0,5 за м³), так как в этом случае срок окупаемости составит 10...15 лет, что сопоставимо со сроком службы установки.

4.1.6. Оценка эффективности ветрогенерации по фактическим метеорологическим данным*

Еще одним направлением альтернативной энергетики является ветроэнергетика. Эффективность работы ветрогенераторов зависит от скорости ветра в месте их установки. В работе проанализированы климатические условия Грайворонского района (метеостанция «Готня») и г. Белгорода (метеостанция аэропорта) и определена фактическая выработка электроэнергии в ветрогенераторе.

Были использованы метеорологические данные архива погоды, полученные с сайта <http://gr5.ru>. Данные фактическую скорость ветра, сохранённую с интервалом времени 0,5-3 часа. Всего было использовано 11682 наблюдений за 2012-2015 г.

* Работа выполнена студентами В.В. Рычковым, К.В. Вишняковой, Е.И. Солдатенковой под руководством автора

На рис. 4.18 приведено изменение скорости ветра в течение 2015 г. По этим данным было определена количество дней с разной скоростью ветра. Распределение скорости ветра за пять лет показано на рис. 4.19 и в табл. 4.30 и 4.31. Как видно, в Белгороде и Готне преобладающая скорость ветра от 2 до 6 м/с.

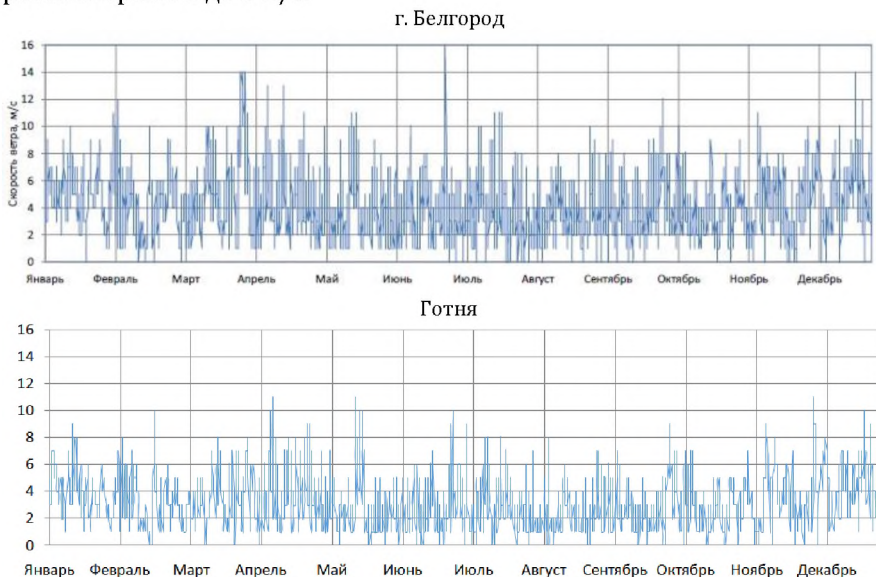


Рис. 4.18. Скорость ветра в 2015 г.

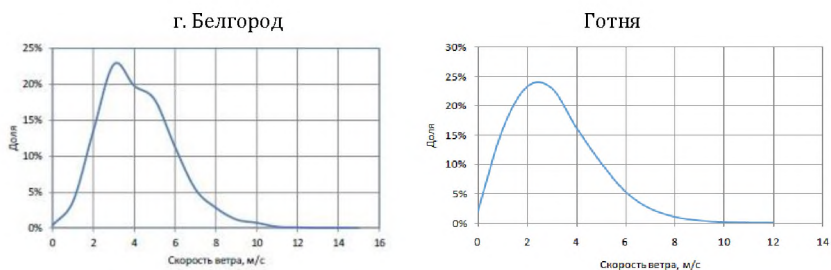


Рис. 4.19. Среднее распределение скорости ветра

В Белгороде и Готне преобладающая скорость ветра от 2 до 6 м/с. Скорость ветра (табл. 4.32) в Готне заметно ниже, чем в Белгороде, где выше как максимальная скорость, так и средняя. Это показывает, что ветрогенерация в Белгороде будет эффективней, чем в Грайворонском и Ракитянском районе.

Таблица 4.30

Распределение скорости ветра в г. Белгороде за пять лет

Скорость ветра, м/с	Всего	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
0	0%	0%	0%	0%	0%	1%
1	4%	2%	2%	5%	4%	5%
2	14%	12%	11%	16%	14%	14%
3	23%	27%	23%	20%	23%	21%
4	20%	21%	19%	20%	21%	19%
5	18%	18%	21%	19%	16%	16%
6	11%	11%	12%	12%	11%	11%
7	5%	4%	6%	5%	5%	7%
8	3%	3%	3%	3%	2%	3%
9	1%	1%	1%	1%	1%	2%
10-16	1%	1%	1%	0%	1%	1%
Максимальная скорость, м/с	16	15	12	10	15	16
Среднее значение, м/с	4,19	4,27	4,36	4,06	4,16	4,24

Таблица 4.31

Распределение скорости ветра в Готне за пять лет

Скорость ветра, м/с	Всего	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
0	2%	2%	2%	1%	1%
1	16%	14%	14%	20%	20%
2	23%	23%	23%	26%	26%
3	23%	21%	25%	24%	24%
4	16%	17%	17%	15%	15%
5	10%	12%	11%	8%	8%
6	5%	6%	6%	3%	3%
7	2%	3%	2%	2%	2%
8	1%	1%	1%	1%	1%
9	0%	0%	0%	0%	1%
10-12	0%	0%	0%	0%	0%
Максимальная скорость, м/с	12	11	10	12	11
Среднее значение, м/с	3,11	3,21	3,13	2,85	3,2

Таблица 4.32

Распределение среднего значения скорости ветра для Грайворонского района и г. Белгорода

Год	г. Белгород		Готня	
	Максимальная скорость	Среднее значение	Максимальная скорость	Среднее значение
2012 г.	12	4,36	11	3,21
2013 г.	10	4,06	10	3,13
2014 г.	15	4,16	12	2,85
2015 г.	16	4,24	11	3,24
Всего	16	4,19	12	3,11

Для определения вырабатываемой мощности в зависимости от фактической скорости ветра (рис. 4.20) были рассмотрены ветрогенераторы трех типов производства ООО «МикроАРТ», г. Москва (<http://www.vetrogenerator.ru>):

- с вертикальной осью «VAWT 3/4 кВт»;
- с лопастями автоматически меняющих угол «48 В 3/4 кВт STORM USE»;
- с горизонтальной осью и с фиксированным углом атаки лопастей «48 В 5/7 кВт LOW WIND».

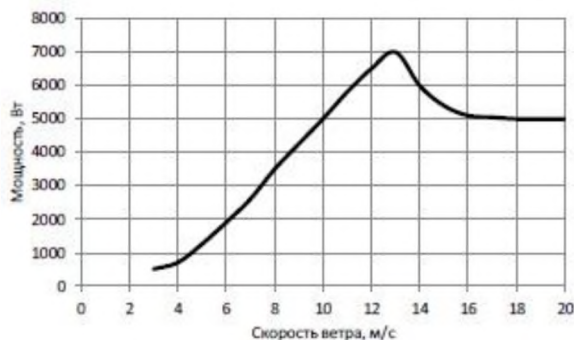


Рис. 4.20. Вырабатываемая электроэнергия ветрогенератором «48 В 5/7 кВт LOW WIND» при разной скорости ветра (<http://www.vetrogenerator.ru>)

Годовая выработка электроэнергии, определённая по характеристикам электрогенераторов (зависимости вырабатываемой мощности от скорости ветра) и данных фактической скорости ветра приведена в табл. 4.33. Разность в эффективности ветрогенераторов различного типа достигает 1,5 раз. Наиболее высокий коэффициент использования установленной мощности для ветрогенератора с лопастями, автоматически меняющими угол.

Таблица 4.33

Выработка электроэнергии ветрогенераторами

Год	Годовая выработка, кВт·ч			Коэффициент использования установленной мощности, %		
	Вертикальный (3/4 кВт)	С лопастями, автоматически меняющими угол (3/4 кВт)	С фиксированным углом лопастей (5/7 кВт)	Вертикальный	С лопастями, автоматически меняющими угол	С фиксированным углом лопастей
2012	3307	4736	5486	13%	18%	13%
2013	3056	4444	5094	12%	17%	12%
2014	2507	3624	4208	10%	14%	10%
2015	3430	4869	5737	13%	19%	13%

Эффективность ветрогенераторов с вертикальной и горизонтальной осями и фиксированными лопастями одинакова и составляет 13%.

В табл. 4.34 приведено сравнение выработки одинаковых ветрогенераторов в разных районах Белгородской области, определённой по фактическим данным скорости ветра. Как видно из результатов, эффективность ветрогенерации в г. Белгороде значительно выше, чем в Готне.

Таблица 4.34

Выработка электроэнергии ветрогенератором с горизонтальной осью и с фиксированным углом атаки лопастей (5/7 кВт)

Год	г. Белгород		Готня	
	Выработка электроэнергии, кВт·ч	Коэффициент использования установленной мощности	Выработка электроэнергии, кВт·ч	Коэффициент использования установленной мощности
2012	9 050	21%	5486	13%
2013	8 470	19%	5094	12%
2014	8 727	20%	4208	10%
2015	9 488	22%	5737	13%
Всего	35 735	20%	20 525	12%

Можно сделать вывод, что в условиях Белгородской области реальная выработка электроэнергии в ветрогенераторах составляет 12-20% от установленной мощности и зависит от места расположения ветрогенераторов. Для оценки эффективности альтернативных источников энергии нельзя применять усреднённые значения, а необходимо использовать климатические данные конкретного месторасположения энергетического объекта.

4.1.7. Альтернативное энергоснабжение школьного здания с использованием ВИЭ*

В разделе проанализирована эффективность альтернативного энергоснабжения Горьковской средней школы Грайворонского района Белгородской области (см. разд. 4.1.2). Был произведен анализ электропотребления в школе за три года (рис. 4.21, 4.22, табл. 4.35). В школе в среднем потребляется 33792 кВт·ч в год, что составляет 92 025 рублей. За 30 лет прогноз потребления электроэнергии в школе – 1 013 760 кВт·ч.

80% электроэнергии тратится на освещение, 9% на работу оргтехники, а остальные 11% – на работу бытового оборудования. Таким обра-

* Работа выполнена студентами К.С. Шаховой и К.В. Вишняковой под руководством автора

зом, главный потенциал энергосбережения – снижение расходов электроэнергии – модернизация системы освещения.

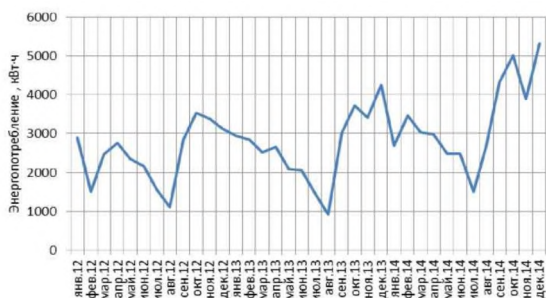


Рис. 4.21. Потребления электрической энергии за три года

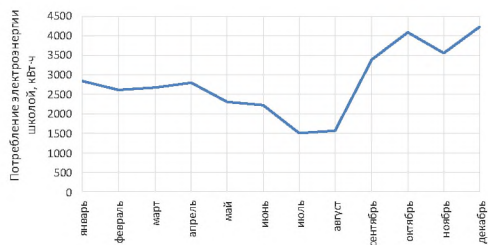


Рис. 4.22. Среднее месячное потребление электроэнергии Горьковской школы за 3 года

Таблица 4.35

Средняя и максимальная месячная нагрузка и мощность за три года

Показатель	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Среднее в месяц, кВт·ч	2471	2656	3321
Максимальное в месяц, кВт·ч	3532	4259	5314
% превышения	77	70	162
Максимальная мощность, кВт	4,84	5,83	7,28
Максимальная установленная мощность электрогенерации (при КИУМ 15%)	31,287	40,899	51,018

По данным табл. 4.35 принята установленная мощность альтернативных источников – 50 кВт. Так как установка автономной солнечной или ветряной электростанции затратное мероприятие, то возможно использовать комбинированную потребление. Часть электроэнергии будет вырабатывать СЭС или ВЭС, а остальную часть школа будет брать из

городских электросетей. Таким образом, расчет инвестиций производился для полного обеспечения школы электричеством за счет альтернативных источников, обеспечения на 50% и на 25%. При меньшей установленной мощности также значительно снижается объем аккумуляторов-накопителей энергии из-за наличия постоянного резервного питания от электрической сети. Результат подбора оборудования и расчета себестоимости вырабатываемой энергии приведены в табл. 4.36 и 4.37.

Как видим капитальные затраты при установке СЭС и ВЭС близки и в зависимости от установленной мощности составляют от 1,2...1,7 млн руб. до 7...7,5 млн руб. Себестоимость электроэнергии, вырабатываемой СЭС составляет 6,7...7,1 руб./кВт·ч, а ВЭС – 5,9...7,5 руб./кВт·ч.

Таблица 4.36

Параметры солнечной электростанции

Наименование	Мощность 50 кВт (100%)	Мощность 25 кВт (50%)	Мощность 12,5 кВт (25%)
Солнечные батареи			
Тип	Ехmork ФСМ-320М	Ехmork ФСМ-320М	Ехmork ФСМ-320М
Количество	157	79	40
Стоимость, руб.	4 037 439	2 018 720	1 009 360
Инвертор			
Тип	МАП HYBRID "Энергия" 3 фазы 48В: 54 кВт	МАП HYBRID "Энергия" 3 фазы 48В: 27 кВт	МАП HYBRID "Энергия" 3 фазы 48В: 13,5 кВт
Количество	1	1	1
Стоимость, руб.	518 000	312 000	219 000
Аккумулятор			
Тип	DELTA GX 12-230	DELTA GX 12-230	DELTA GX 12-230
Количество	70	34	10
Стоимость, руб.	2277450	1106190	325350
Контроллер			
Тип	ЕСО Энергия МРРТ Pro 200/100	ЕСО Энергия МРРТ Pro 200/100	ЕСО Энергия МРРТ Pro 200/100
Количество	6	4	2
Стоимость, руб.	245 200	163 600	81800
Стоимость установки, руб.	7 078 089	3 600 510	1 700 580
Себестоимость электроэнергии, руб./кВт·ч	6,98	7,10	6,71

Таблица 4.37

Параметры ветроэлектростанции

Наименование	Мощность 52 кВт (100%)	Мощность 26 кВт (50%)	Мощность 13 кВт (25%)
Ветрогенератор			
Тип	Energy Wind 6,5кВт		
Количество	8	4	2
Стоимость, руб.	2 400 000	1 200 000	600 000
Мачтовый комплект			
Тип	20м для ВГУ 510кВт	20м для ВГУ 510кВт	20м для ВГУ 510кВт
Количество	8	4	2
Стоимость, руб.	296 000	148 000	74 000
Инвертор			
Тип	МАП SIN PRO 9кВт (48В)		
Количество	6	3	2
Стоимость, руб.	516 000	258 000	172 000
Аккумулятор			
Тип	Delt GX 12-230		
Количество	80	20	10
Стоимость, руб.	2 943 600	735 900	367 950
Стоимость всего комплекта, руб.	6 155 600	2 341 900	1 213 950
Себестоимость, электроэнергия, руб./кВт·ч	7,5	5,7	5,9

В данный момент себестоимость электроэнергии от альтернативных источников выше, чем от электросетей. Но преимущество альтернативного энергоснабжения в том, что стоимость вырабатываемой электроэнергии будет постоянно, тогда как сетевая электроэнергия постоянно дорожает (рис. 4.23).

Поэтому через 5...10 лет, в зависимости от темпа роста тарифов, проект альтернативного энергоснабжения станет выгодным.

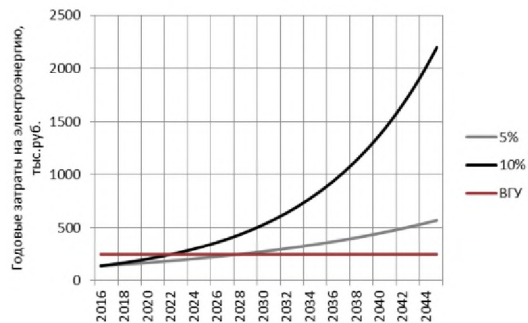


Рис 4.23. Годовые затраты на электрическую энергию

4.2. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

4.2.1. Анализ существующего положения

Обеспечение тепловой энергией является одной из важных составляющих коммунальной инфраструктуры [80, 86, 87], которая наряду с энергоэффективностью зданий определяет комфортные условия труда и жизни, затраты на оплату коммунальных услуг. Наиболее высокое качество и низкую стоимость теплоснабжения обеспечивает индивидуальное отопление. Но внедрение индивидуального отопления в существующем жилищном фонде связано с рядом трудностей (экологические требования, необходимость существенной реконструкции зданий или установка котельных рядом с ними, создание или расширение газопроводной системы и др.). Поэтому в ряде случаев модернизация имеющейся системы централизованного теплоснабжения требует меньших затрат, чем внедрение индивидуального отопления [26, 68, 72, 170].

В разделе на примере ряда теплоснабжающих муниципальных предприятий рассматриваются вопросы оценки эффективности проектов по модернизации источников теплоснабжения. Рассмотрены теплоснабжающие муниципальные унитарные предприятия (МУП) Алексеевского, Прохоровского, Ивнянского, Грайворонского, Красногвардейского (г. Бирюч), Ровеньского, Чернянского и Борисовского районов Белгородской области и г. Балабаново Калужской области. В основе анализа использовались целевые программы модернизации коммунальных предприятий, разрабатываемые в 2011-2013 г. с участием авторов работы.

Состояние коммунального хозяйства рассматриваемых муниципальных районов характеризуется дотационностью отрасли, высокой затратностью, отсутствием приборов учёта по вырабатываемой теплоте, высокой степенью износа котельных и технологического оборудования тепловых трасс, связанные с износом значительные потери теплоты, воды и других ресурсов. Основные особенности и проблемы МУП заключаются в следующем:

- большинство существующих котельных находятся в эксплуатации более 12 лет (табл. 4.6);
- вспомогательное оборудование котельных не отвечает требованиям эффективного обслуживания котлов и энергосбережения;
- коэффициент загрузки котельных составляет 41%, причём для отдельных котельных он 15-20%, а для других – более 100%, что приводит к перерасходу топлива и электроэнергии.

Такое положение приводит к снижению качества услуг теплоснабжения и высокой стоимости отпускаемой теплоты.

Характеристики районных котельных

Наименование	Муниципальные районы Белгородской области								г. Балабаново Калужской области	Всего
	Алексе- евский	Грай- ворон- ский	Про- хоров- ский	Ивнян- ский	Красно- гвар- дейский	Чернян- ский	Бори- сов- ский	Ро- вень- ской		
Количество котельных (количество котлов в их составе)	42 (121)	17 (45)	18 (48)	22 (55)	19 (57)	15 (40)	12 (30)	11 (29)	6 (22)	156 (425)
Длина тепловых сетей, м	68896	18307	11029	12564	18438	36356	19500	18446	79655	203536
Присоединённая нагрузка, Гкал	51,7	10,3	11,7	15	11,2	12,9	15,6	10	39,82	138,4
Объём реализованной в 2010 г. теплоты, Гкал	95 946	22 009	28 069	25 281	21 022	30 311	36 133	18 456	116 047	273 260
Коэффициент загрузки котельных	73,2%	33,5%	40,7%	39%	50,3%	27%	45%	22,3%	41%	41,4%
Потребление электроэнергии, млн. кВт·ч/год	4,2	0,9	1,2	0,9	1,4	1,5	1,6	0,8	3,69	12,5
Потребление газового топлива, млн. м ³ /год	17,9	3,7	3,8	4,5	3,6	4,6	7	3	17,84	48,1
Средний удельный расход электроэнергии, кВт·ч/Гкал	43,8	40,9	42,8	35,6	66,6	49,5	44,3	55,2	28,6	378,7
Средний удельный расход газа, м ³ /Гкал	186,6	168,1	135,4	178	171,2	151,8	193,7	207,1	191,07	1391,9
Доля котлов со сроком службы:										
> 20 лет	46%	0%	5%	23%	44%	30%	30%	17%	50%	29%
15-20 лет	31%	58%	9%	14%	26%	17%	17%	48%	22%	27%
10-15 лет	14%	33%	41%	27%	18%	40%	40%	14%	14%	26%
5-10 лет	6%	0%	5%	14%	7%	7%	7%	14%	14%	7%
< 5 лет	-	9%	9%	14%	5%	7%	7%	7%	-	6%
Структура потребителей теплоты:										
бюджет	33%	79%	70%	66%	70%	25%	58%	31%	13%	49%
население	53%	21%	24%	29%	24%	68%	35%	35%	77%	41%
прочее	14%	0%	6%	5%	6%	7%	7%	34%	10%	10%

Пример структуры потребления энергоресурсов в МУП приведены в табл. 4.39 и на рис. 4.24.

Таблица 4.39

Структура себестоимости теплоты, руб./Гкал (2010 г.)

Муниципальное образование	Средняя присоединённая нагрузка одной котельной, Гкал	Себестоимость вырабатываемой теплоты	в том числе:				Доля энергоресурсов в себестоимости
			Топливо	Электроэнергия	Фонд оплаты труда	Прочее	
г. Алексеевка	3,76	1391	711,9	135,9	82,7	460,5	61%
Алексеевский район, сельские котельные	0,71	1801	591,7	114,9	508,1	586,4	39%
Грайворонский район	0,61	1676	733	154,1	569,1	219,8	53%
Прохоровский район	0,65	1726	701,9	184,8	436,4	402,9	51%
Ивнянский район	0,68	1776	741,8	169,8	433,7	430,8	51%
Красногвардейский район	0,59	1826	833	226	704	63	72%
Чернянский район	0,86	1406	560,7	145,5	228,2	471,7	50%
Борисовский район	1,3	1462	753,2	133,9	257,3	318,1	61%
Ровенькой район	0,91	2230,2	742,7	209,6	715,9	562	43%
г. Балабаново Калужской обл.	6,6	1363	831,2	84,08	160,78	286,67	67%



Рис. 4.24. Структура энергопотребления на генерацию тепловой энергии (в денежном выражении в ценах 2010 г.)

Энергоресурсы в себестоимости тепловой энергии составляют 39-61%, в том числе 33-51% затрат приходится на природный газ, используемый для теплогенерации. Таким образом, направления повышения энергоэффективности систем теплоснабжения:

- снижение удельного расхода топлива на выработку теплоты, что может достигаться модернизация котельных с повышением их КПД, автоматизацией работы котлов, снижением потерь в тепловых сетях;
- децентрализация систем теплоснабжения при значительной недогрузке существующих котельных;
- соблюдение температурного графика с исключением перетопов;
- снижение затрат на обслуживание котельных с внедрением систем диспетчеризации.

Для всех тепловых сетей рассматривалась модернизацию котельных с выполнением следующих видов работ:

- замена старых котлов на новые автоматизированные с модулируемыми горелками;
- перевод котельных на двухконтурную схему отопления с применением пластинчатых теплообменников и циркуляционных насосов;
- замена сетевых насосов на энергоэффективные, оснащённые частотно-регулируемым приводом (ЧРП);
- замена подпиточных насосов на энергоэффективные;
- установка современных систем химводоочистки;
- оснащение котельных приборами учёта отпуска теплоты;
- внедрение системы диспетчеризации и приобретение автомобильного парка для выездного обслуживания котлов.

Модернизация, исходя из имеющихся зданий и необходимой мощности, проводилась как заменой оборудования в существующих котельных, так и установкой модульных транспортабельных котельных.

Кроме того исходя из анализа состояния коммунального хозяйства в отдельных районах дополнительно предусмотрены следующие мероприятия.

Алексеевский район (рис. 4.25.):

- разделение потребителей по ул. Некрасова и В. Собины и подключение их к шести отдельным ТКУ;
- замена пристроенных котельных по ул. Ольминского на одну ТКУ;
- закрытие котельной МПК с подключением её тепловой нагрузки к котельной АСШ №6;
- закрытие котельной ХимМаш с подключением её тепловой нагрузки к котельной по ул. Тимирязева;
- внедрение системы диспетчеризации кроме ЦРБ, Базы, БПК, частично сельских котельных.

Схема тепловых сетей от котельных АСШ №1 и АПЛ-24 (общ.) г. Алексеевка, Белгородской обл.

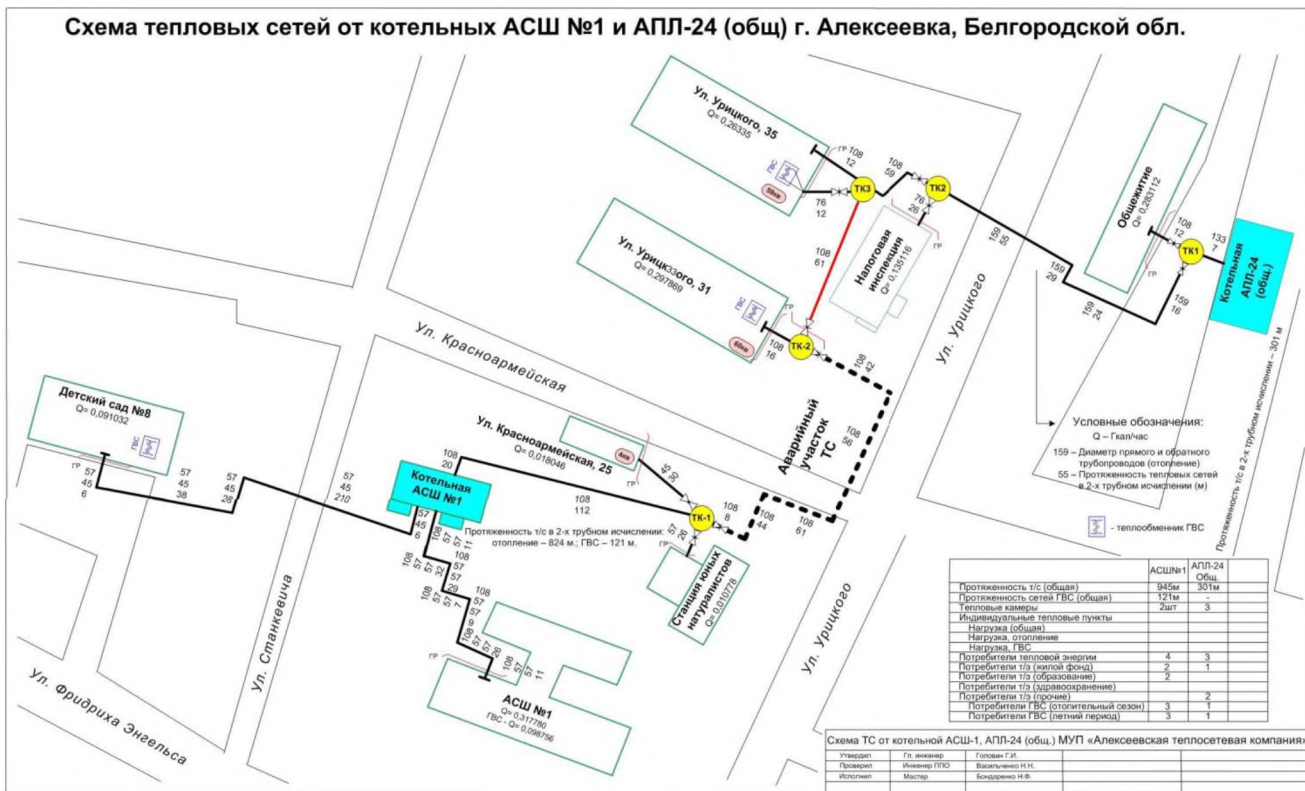


Рис. 4.25. Схема реконструкции тепловых сетей г. Алексеевка

В связи с аварийным участком тепловой сети от ТК1 до ТК2 котельной АСШ №1 (схема тепловых сетей от котельной АСШ №1 и АПЛ – 24 (общ.)) и невозможностью его восстановить по причине значительного нарушения объектов благоустройства при производстве земляных работ, принято решение перераспределить нагрузки между котельными АСШ №1 и АПЛ – 24 (общ.) с подключением жилых домов по ул. Урицкого, 31 и 35 к котельной АПЛ – 24 (общ.)

Исходя из этого, при разработке программы модернизации этих котельных предусмотрены подбор мощности котлов с учётом изменения присоединённых нагрузок, потерь в тепловых сетях и резерва в размере 30% и установкой для нужд ГВС в подвальных помещениях жилых домов по ул. Урицкого, 31 и 35 водяных теплообменников.

Грайворонский район:

- установка автономной системы ГВС в школе с. Безыменово;
- перевод квартир по ул. Интернациональной на индивидуальное отопление;

Прохоровский район:

- объединение котельных № 2 и 3;
- на части объектов с изношенными зданиями установка транспортельных (блочных) котельных установок (с. Шахово, с. Прелестное).

Ивнянский район:

- к котельной с. Сафоновка планируется подключение Дома Культуры (0,062 Гкал/час); здания администрации (0,0347 Гкал/час); увеличить протяжённость тепловых сетей на 250 м в двухтрубном исполнении, в котельной с. Хомутцы отключение ГВС.

4.2.2. Технические решения по модернизации котельных

В настоящее время теплоэнергетическое оборудование поставляют большое количество производителей. В работах [92, 93] приведены лишь некоторые аспекты оценки котлов и котельных после их модернизации. В этом разделе произведено сравнение отечественного и импортного оборудования, а также оценки инвестиций в модернизацию представлено оборудование, которым комплектуются котельные.

Замена котлов и горелок

Для замены котлов рассмотрены два варианта:

- котлы «REX» (ICI CALDAIE, Италия);
- котлы КВа «Квант» (ЗАО «Белогорье», Россия).

Котлы серии REX, жаротрубные, трёхходовые, с реверсивной топкой. Котлы REX (рис. 4.26) представляют собой водогрейные генераторы с высоким КПД, 91,6 – 92,3%, работающие как на жидком, так и на газообразном топливе, единичной мощностью от 70 до 3500 кВт пред-

назначены для систем отопления. Имеют рабочее давление 5 бар, рабочая температура, стандартная, 95^оС. Качество и надёжность гарантируется точным соотношением тепловых нагрузок с объёмом камеры сгорания и поверхностью теплообмена, что позволяет достигнуть высокого значения КПД, низкой температуры уходящих газов и сокращения вредных выбросов (СО и NO_x).

Котлы марок КВа (рис. 4.26) – стальные, горизонтальные, водогрейные, жаротрубного типа, с реверсивной топкой, для систем водяного отопления с принудительной циркуляцией воды, тепловой мощностью от 20 кВт до 7,56 МВт и водотрубные (марки КВ-ГМ) 4,65-11,63 МВт. Конструкция котлов обеспечивает удобный доступ ко всем сварным швам котла, что облегчает контроль при изготовлении и, при необходимости ремонт. Надёжность котлов также повышает использование бесшовных цельнотянутых труб. Высокий КПД (не менее 92%), подтверждённый результатами эксплуатации, реализуется за счёт организации условий наиболее полного сгорания топлива и созданного эффективного теплообмена.



Рис. 4.26. Водогрейные жаротрубные котлы

Кроме, того, низкие выбросы по СО и СН, позволяют использовать котлы в регионах с высокими экологическими требованиями – курортные районы. Предназначены для применения в составе отопительных систем, котельных, для теплоснабжения по закрытой схеме и горячего водоснабжения промышленных, жилых и общественных зданий при использовании в качестве горючего природный газ или жидкое топливо.

Котлы комплектуются автоматикой управления котлом и горелкой. Горелки газовые, дизельные или комбинированные. По желанию заказчика, может устанавливаться автоматика и горелочное устройство, российского или европейского производителя.

Рассмотрены горелки:

– F.V.R. GAS (Италия), для оснащения котлов ICI REX;

– ГБГ (Россия), для оснащения котлов, КВа.

Горелки F.B.R GAS – одноступенчатые, двухступенчатые и модулируемые газовые горелки итальянской фирмы F.B.R. для котельных установок (рис. 4.27). Производятся в защитном корпусе из алюминия, понижающем уровень шума и предохраняющем от внешних воздействий. Оснащены предохранительным клапаном и автоматическим стабилизатором давления газа, а также специальным клапаном, который регулирует расход топлива. Вентилятор наддува воздуха и возможность настраивать положение смесительного комплекта, предусмотренные в горелках, обеспечивают высокую производительность горелки и стабильное пламя в различных режимах мощности. Максимально комфортную работу горелки делает компенсатор вибрации. Топливом для горелки может служить природный, сжиженный, бытовой, каменноугольный газ или биогаз.

Во всех модулируемых горелках F.B.R. применяется принцип механически-связанного регулирования расходов топлива и воздуха, который является самым надёжным из существующих в настоящее время. Модуляционный механизм связан со специальным сервоприводом и одновременно управляет топливной и воздушной заслонками с постоянным заданным соотношением топливо/воздух. Для модуляционной регулировки пламени горелок необходим дополнительно модуляционный комплект, без которого горелка работает в плавно-двухступенчатом режиме. Газовая арматура горелок обязательно включает двойной магнитный клапан, регулятор-стабилизатор давления со встроенным фильтром тонкой очистки газа и антивибрационный компенсатор.

ГБГ – горелки блочные газовые (рис. 4.28). Основная область применения - теплогенераторы, водогрейные и паровые котлы, мини-котельные, сушильные агрегаты, плавильные и хлебопекарные печи. Горелки гарантируют сгорание топлива в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. Горелки блочные, серии ГБГ, с принудительной подачей воздуха, регулируемым коэффициентом избытка воздуха, без предварительного смещения горючей смеси, двухступенчатым регулированием мощности или модулируемые. Работают в топках с противодавлением и имеют ручное и автоматическое управление, обеспечивающее автоматический запуск и защитное отключение при недопустимых эксплуатационных параметрах. В горелках используется сервопривод и датчики давления фирмы "KROM SCHRODER" (Германия).

На рис. 4.29 приведено сравнение стоимости котлов ICI REX и КВа с горелками и без.



Рис. 4.27. Горелки F.B.R GAS (Италия)



Рис. 4.28. Горелки ГБГ (Россия)

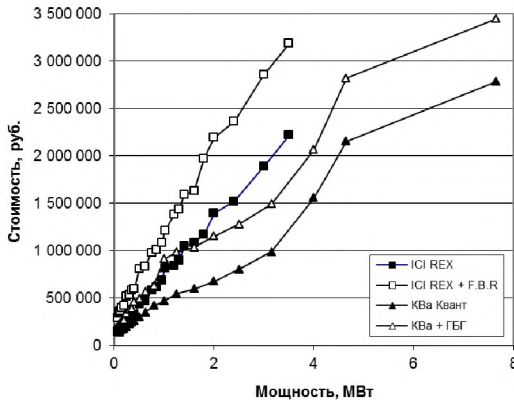


Рис. 4.29. Сравнение стоимости котлов (с горелками и без)

Итальянские котлы по стоимости превышают российские на 25-45%, но у них в 1,5 раза выше срок службы. На один год службы у итальянских и российских котлов приходится около 10% их стоимости. Стоимость горелок сопоставима. Диапазон цен на горелки F.B.R. определяется разным возможным диаметром арматуры, от которой зависит стоимость магнитного клапана, регулятора-стабилизатора давления и антивибрационного компенсатора. Поэтому для модернизации в качестве основного варианта выбраны котлы КВА (Белогорье).

Оборудование котельных

Тепловая схема котельной (рис. 4.30) должна обеспечивает приготовление горячей воды с заданным диапазоном температур. Система теплоснабжения двухконтурная, двухтрубная или четырехтрубная при наличии ГВС. С точки зрения надёжности и увеличения срока работы оборудования целесообразно применять двухконтурную закрытую систему.

Сетевой контур. Сетевая вода из теплосети (обратная вода) с температурой $T1 = 70^{\circ}\text{C}$, пройдя грязевик и узел учёта, поступает на вход сетевых насосов, которыми подаётся в теплообменники (один рабочий и один резервный), где она нагревается до температуры $T2 = 95^{\circ}\text{C}$. Пройдя узел учёта, вода подаётся в теплосеть к потребителю (прямая вода). При наличии контура ГВС часть исходной воды, после узла учёта, но до химводоподготовки, отбирается на два теплообменника горячего водоснабжения, где она нагревается и, пройдя узел учёта, двумя насосами горячего водоснабжения (один - рабочий, один - резервный) подаётся потребителю.

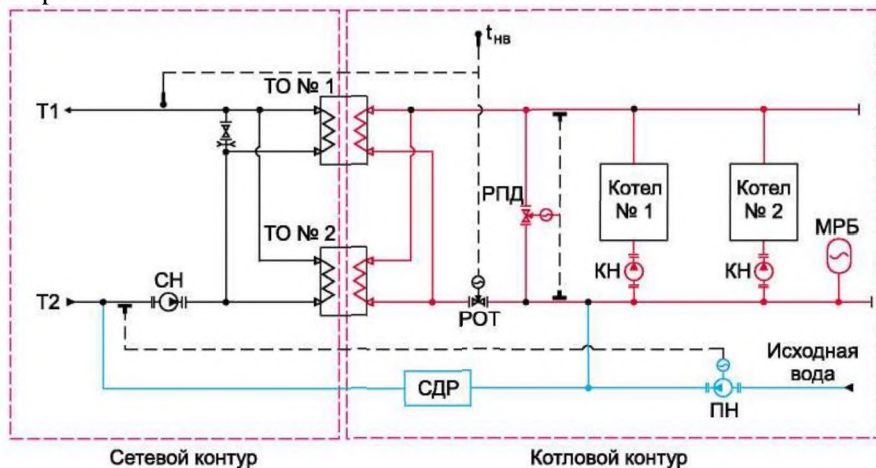


Рис. 4.30. Технологическая схема двухконтурной котельной (без ГВС): РОТ - регулятор отопления; РПД - регулятор перепада давления; КН - котловой (циркуляционный) насос; МРБ - мембранный расширительный бак; ТО - теплообменники; СН - сетевой насос; ПН - подпиточный насос; СДР - система дозирования реагента; $T1$, $T2$ - температура сетевой воды; $t_{нв}$ - температура наружного воздуха

Количество сетевых насосов - три для крупных котельных (два рабочих, один резервный) и два для некрупных (один рабочий и один резервный).

Котловой (внутренний) контур. Циркуляционными насосами внутреннего контура вода из теплообменников подаётся в котлы. Греющая вода от котлов подаётся на теплообменники.

Подпитка внутреннего и наружного контуров осуществляется исходной водой подпиточными насосами (один - рабочий, один - резервный) от установки химводоподготовки.

Регулирование температуры теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха осуществляется во внутреннем контуре подмесом «обратной» воды из коллектора до котлов в «прямую» воду, идущую на теплообменники при помощи регулирующего клапана. Поддержание постоянной температуры воды ГВС на выходе из котельной осуществляется при помощи регулирующего клапана, установленного на внутреннем греющем контуре (перед теплообменниками). Поддержание постоянной температуры воды на входе в котёл осуществляется при помощи рециркуляционных насосов (по одному на каждый котёл). Включение подпиточного насоса и открытие клапана на линии подпитки происходит по падению давления в одном из контуров.

При двухконтурной схеме первоначальное заполнение котлового контура должно производиться химочищенной умягчённой водой (допускается - не деаэрированной). При этом не обязательно иметь на котельной стационарную установку ХВО, достаточно передвижной. Как показывает практика, при исправной работе всех систем котлового контура подпитка практически не требуется, что обеспечивает отсутствие накипеобразования и коррозии на поверхностях нагрева котлов. Для обеспечения безнакипного режима работы котла рекомендуется ужесточить норму жёсткости котловой воды для водогрейных жаротрубных котлов, установив её как для паровых котлов – 15-20 мкг-кэв/л, при эксплуатации котлов с давлением на уровне 6,0 кгс/см² возможно ограничиться жёсткостью до 100 мкг-кэв/л [171].

Блочные (транспортабельные) котельные

Транспортабельные (блочные) котельные установки (ТКУ или БКУ) применяются как индивидуальные котельные для отопления объектов производственного, административного, культурно-бытового назначения. Предназначены для нагрева горячей воды, используемой в качестве теплоносителя в системах отопления и горячего водоснабжения.

Транспортабельные котельные установки (рис. 4.31) изготавливаются теплопроизводительностью от 100 кВт до 30 МВт, на базе котлов отечественного и импортного производства: ИШМА, Вулкан, Квант, Дуэт, VIESSMANN, RIELLO, BUDERUS, ICI Caldaie, PROTHERM, ALPHATHERM (УНИКАЛЛ Элпрекс) с различной степенью автоматизации, с возможностью разных вариантов подготовки исходной воды (химводоподготовка, электромагнитная водоподготовка).

Транспортабельные котельные установки ТКУ мощностью от 100 до 1000 кВт состоят из одного блок-модуля, мощностью от 1000 до 30 000 кВт – из одного, двух и более блок-модулей. Примерная комплектация ТКУ приведена на рис. 4.32.



Рис. 4.31. Блочные транспортальные котельные

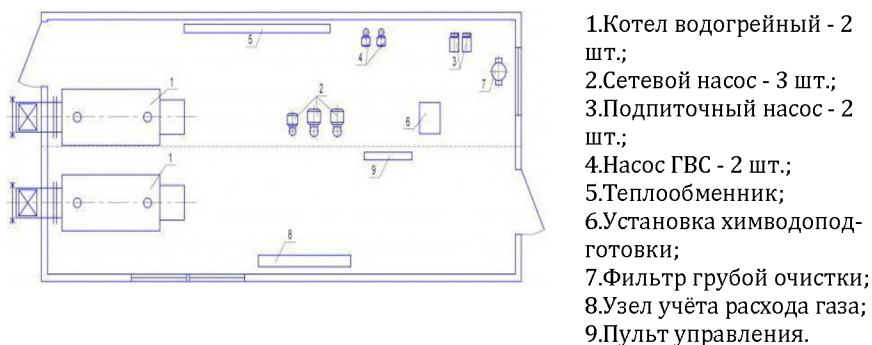


Рис. 4.32. Примерный план размещения оборудования в ТКУ

Преимущества ТКУ:

- максимальная приближённость ТКУ к объекту теплоснабжения, что сокращает затраты на теплоснабжение и эксплуатацию инженерных сетей.
- отсутствие значительных капитальных затрат на строительство здания под котельную.
- полная заводская готовность и комплектация, минимальные затраты при монтаже и пуске ТКУ, быстрый ввод в эксплуатацию;
- высокий уровень автоматизации, безопасности, надёжности.

Таким образом, на основании технического анализа работ по модернизации можно определить следующий перечень необходимого оборудования и работ, стоимость которых определит необходимые инвестиционные затраты:

1. Котельное оборудование: транспортальная котельная установка или оборудование: а) водогрейный котёл; б) горелки (модулируемые для котлов большой мощности); в) теплообменник ГВС с резервным; г) система химводочистки; д) подпиточные насосы с резервным (насос,

электропривод, ЧРП); е) насосы ГВС с резервным (насос, электропривод, ЧРП); ж) сетевые насосы (насос, электропривод, ЧРП); з) арматура.

2. Котловой контур: а) сетевой теплообменник с резервным; б) циркуляционные насосы (насос, электропривод, ЧРП).

3. Дополнительное оборудование: а) подпиточный бак; б) дымовая труба; в) тепловой счётчик; г) газовый счётчик; д) система диспетчеризации.

4. Проектные и монтажно-строительные работы: а) разработка проекта; б) монтажные работы; в) режимно-наладочные работы.

Для выбора оборудования необходимо иметь следующие данные:

- тепловая мощность общая, МВт;
- мощность ГВС, МВт;
- расход сетевой воды, м³/ч;
- напор, м.

В табл. 4.40 приведены результаты расчёта инвестиционных затрат модернизации теплоснабжающих предприятий, разделённые по статьям затрат на отдельное оборудование и работы.

4.2.3. Оценка реконструкции тепловых сетей

Для замены тепловых сетей рассматривались бесканальные сети, теплоизолированные жёстким пенополиуретаном [75, 172] и гидроизолированные трубной оболочкой из полиэтилена высокой плотности с системой оперативного дистанционного контроля состояния тепловых сетей.

Сроки строительства бесканальных тепловых сетей в промышленной полиуретановой изоляции приблизительно в три раза быстрее, чем при канальной прокладке, так как:

а) исключаются на 90% изоляционные работы в монтажных условиях, производится только теплогидроизоляция стыков смонтированных изделий;

б) не тратится время на устройство каналов из сборного железобетона;

в) в случае применения специальной запорной арматуры для бесканальной прокладки с удлинёнными шпинделями и парубками под сварку, изолируемой в заводских условиях, отпадает необходимость в устройстве тепловых камер из сборного или монолитного железобетона. Вместо них над шаровыми кранами устраиваются небольшие, бетонированные в верхней части, коверы с крышками;

г) в большинстве случаев на трассе уменьшается количество неподвижных опор, соответственно уменьшается объём строительно-монтажных работ по устройству их железобетонных щитов.

Таблица 4.40

Оценка затрат на модернизацию по мероприятиям

№	Стоимость и затраты	г. Алексеевка		г. Балабаново		Грайворонский район		Прохоровский район		Ивнянский район		Красногвардейский район		Чернянский район		Борисовский район		Ровенькой район	
		тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%
1	Котлы с горелками, ТКУ	128 144	52,4	55 324	46,7	18 177	35,8	17 365	28,2	19 032	26,2	6 473	35,1	20 118	38	12 443	24,4	33 710	63,7
2	Сетевые теплообменники	19 240	7,9	12 966	10,9	5 609	11	5 197	8,4	-	-	-	-	2 645	5	5 346	10,5	920	1,7
3	Теплообменники ГВС	-	0	5 676	4,8	555	1,1	180	0,3	100	0,1	70	0,4	80	0,2	795	1,6	200	0,4
4	Химводоподготовка	300	0,1	2 575	2,2	1 725	3,4	1,8	0,03	2700	3,7	1 140	6,2	600	1,1	1 450	2,8	1 220	2,3
5	Подпиточные баки	3 150	1,3	1 750	1,5	1 400	2,8	9 100	14,8	3500	4,8	-	-	7 700	14,6	5 600	11	-	-
6	Дымовая труба	14 600	6	3 500	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	400	0,8	-	-	100	0,2
7	Насосы подпиточные	80	0,03	400	0,3	440	0,9	680	1,1	840	1,2	524	2,8	520	1	480	0,9	200	0,4
8	Насосы циркуляционные с ЧРП	5 602	2,3	4 219	3,6	1 401	2,8	1 200	2	-	-	-	-	614	1,2	1 226	2,4	600	1,1
9	Насосы сетевые с ЧРП	-	-	3 083	2,6	1 153	2,3	1 200	2	1053	1,45	-	-	368	0,7	1 226	2,4	-	-
10	Насосы ГВС	-	-	306	0,3	224	0,4	56	0,1	28	0,04	-	-	56	0,1	28	0,1	-	-
11	Прокладка тепловых сетей и инженерных коммуникаций, руб.	17 863,3	7,3	1 080	0,9	-	-	-	-	500	0,7	-	-	-	-	50	0,1	5 900	11,1
12	Арматура	7 888,9	3,2			5 806	11,4	7 859	12,8	8308	11,4	400	2,2	4 139	7,8	7 148	14	2 350	4,4
13	Тепловые счётчики	3 556,5	1,5	13 531,6	11,4	948	1,9	1 483	2,4	1477,9	2,0	2 400	13	1 091	2,1	1 122	2,2	1 130	2,1
14	Газовые счётчики	4 490	1,8	831,5	0,7	110	0,2	770	1,3	770	1,1	-	-	1 356	2,6	440	0,9		
15	Разработка проекта	9 250	3,8	1 337	1,1	2 550	5	3 250	5,3	4000	5,5	480	2,6	2 400	4,5	2 500	4,9	1 800	3,4
16	Монтажные работы	11 080	4,5	1 750	1,5	3 270	6,4	3 785	6,2	14845	20,4	2 320	12,6	2 637	5	2 505	4,9	1 400	2,6
17	Пусконаладочные работы	9 180	3,8	2 900	2,4	2 640	5,2	3 190	5,2	6300	8,7	447	2,4	1 910	3,6	2 360	4,6	1 200	2,3
18	Система диспетчеризации	10 200	4,2	2 170	1,8	3 200	6,3	4 400	7,2	7600	10,5	3 200	17,3	4 800	9,1	4 800	9,4	2 100	4
	Всего	244 627	100	118 509	100	50 768	100	61 517	100	72 669	100	18 454	100	52 874	100	50 959	100	52 950	100

Расчёт фактических потерь в сетях выполнялся двумя способами:

а) по разности теплоты, полученной потребителями, и отпущенной с котельной;

б) по приборным измерениям тепловых сетей.

Оснащённость приборами учёта в рассматриваемых районах составляет в среднем свыше 60-70%. Таким образом, потреблённая теплота учитывается с весьма высокой точностью. Для определения объёма отпускаемой теплоты использовались данные приборов учёта, установленных на котельных, или при их отсутствии – выработка теплоты определялась по потреблению газового топлива и КПД котельных.

На ряде участков было произведено измерение следующих характеристик сетей:

- расход воды (ультразвуковым расходомером);
- температура поверхности изоляции трубы по длине сети (инфракрасным пирометром или тепловизором);
- температура поверхности труб и теплоносителя в них (на границах котельной и у входа и выхода сетей у потребителей).

Например, был обследован участок надземной тепловой сети протяжённостью 2 x 2 889 м из труб диаметром 273 мм, изолированных стекловолокном (рис. 4.33).



Рис. 4.33. Измерения на открытом участке теплотрассы

Схема тепловой сети представлена на рис. 4.34.

Были определены расходы теплоносителя и температуры поверхности теплоизоляции по длине сети (рис. 4.35 – 4.37).

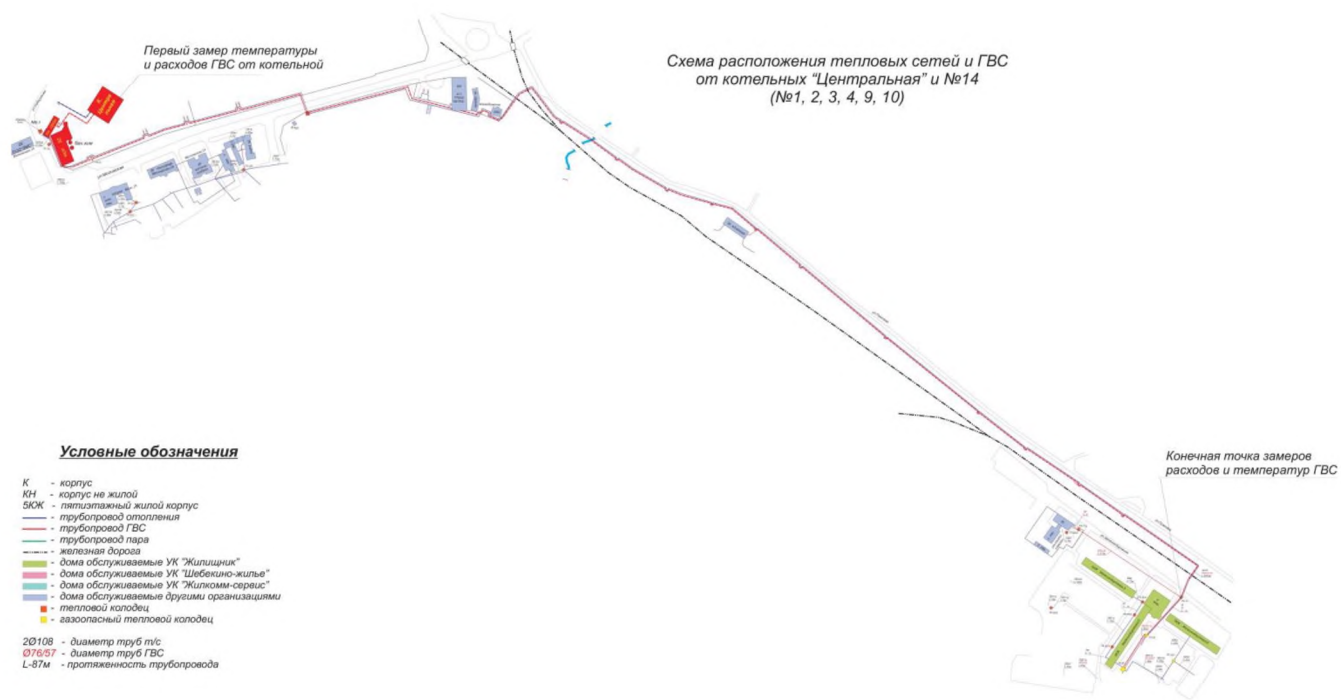
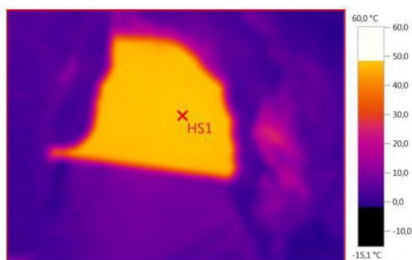


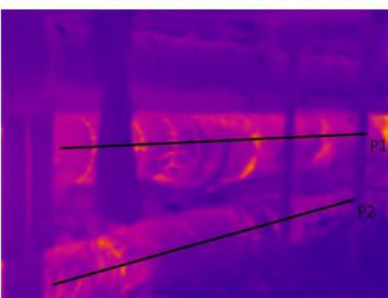
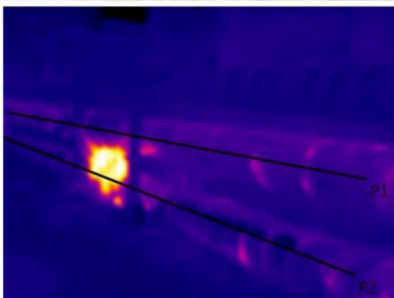
Рис. 4.34. Схема тепловой сети



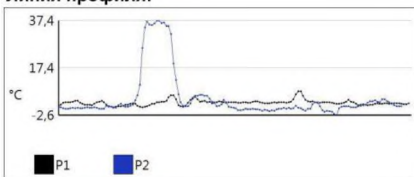
Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Самая теплая точка 1	48,5	0,93	20,0	-

Рис. 4.35. Определение температуры поверхности трубы под теплоизоляцией



Линия профиля:



Линия профиля:

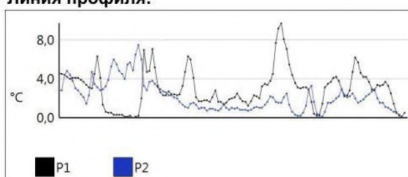
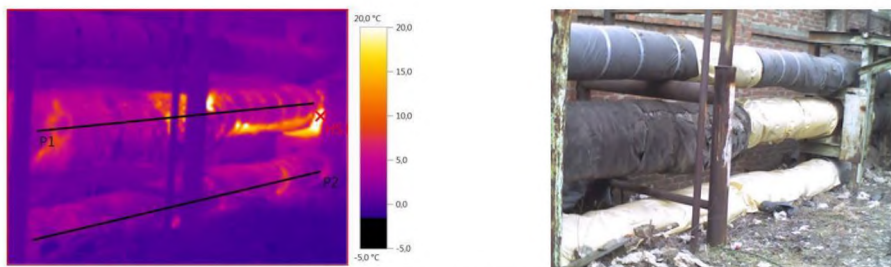


Рис. 4.36. Температура поверхности надземных тепловых сетей



Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Самая теплая точка 1	41,7	0,93	-5,0	-

Линия профиля:

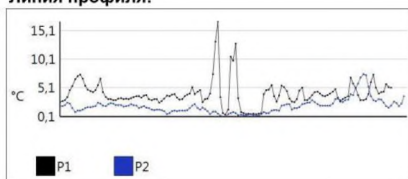


Рис. 4.37. Температура поверхности надземных тепловых сетей

В результате замеров установлено, что по разнице температур даже в начале и конце такого протяжённого участка потери установить невозможно. Например, при температурном графике 90/75 теплоту, отдаваемую теплоносителем потребителю, характеризует максимальное охлаждение теплоносителя на $\Delta t = 25^{\circ}\text{C}$.

Например, при потерях в сети 20%, охлаждение теплоносителя, связанное с потерями, будет равно 5°C (или $2,5^{\circ}\text{C}$ на прямом и обратном участке трубопровода). Современными бесконтактными средствами измерений точное значение фактической разности температур, достаточное для определения тепловых потерь, установить нельзя. Поэтому для оценки потерь применялся расчётный метод с использованием полученных температур поверхности труб. В результате потери в обследованной сети при температуре наружного воздуха -5°C и температуре прямой воды $65,6^{\circ}\text{C}$, обратной 50°C , расходе воды $386 \text{ м}^3/\text{ч}$, составили $1,101 \text{ МВт}$ или $16,3\%$. Таким образом можно заключить, что потери в тепловых сетях, как правило, соответствуют нормативным значениям или незначительно их превышают.

Для предварительной оценки объёма финансирования приняты следующие данные:

- стоимость работ по прокладке тепловых сетей в двухтрубном исполнении, включая стоимость теплоизолированных труб: $10\text{-}12 \text{ тыс. руб./м}$;

– стоимость работ по демонтажу и восстановлению дорожного покрытия, включая благоустройство территории: 3-4,5 тыс. руб./м.

Результаты оценки реконструкции тепловых сетей приведены в табл. 4.41.

Таблица 4.41

Оценка реконструкции тепловых сетей

Наименование (местоположение) котельной	Потери тепловых сетях		Протяжённость т/с в однострубно-м исчислении (м)	Стоимость реконструкции, тыс. руб.	Потенциал энергосбережения, тыс. руб.	Срок окупаемости, лет
	тыс. Гкал	%				
г. Алексеевка						
ул. Некрасова	5,183	14%	21748	260976	1923,0	135,7
ул. В. Собины	4,003	13%	15796	189552	1485,2	127,6
БПК	0,176	12%	212	848	65,2	13,0
ЦРБ	0,490	12%	3154	12616	181,6	69,5
АПЛ № 24 (учебный корпус)	0,231	11%	940	3760	85,5	44,0
АПЛ № 24 (общеджитие)	0,265	12%	602	2408	98,4	24,5
Пл. Победы	0,423	10%	2946	11784	156,9	75,1
АСШ № 4	0,125	18%	580	2320	46,4	49,9
Общеджитие Пром-гражданстрой	0,220	26%	400	1600	81,8	19,6
АБК-0,4 ХимМаш	0,245	8%	924	3696	90,8	40,7
АСШ № 1	0,674	24%	1890	7560	249,9	30,3
Всего	12,035	14%	49192	497120	4464,7	111,3
п. Прохоровка и Прохоровский район						
Котельная №2	1,47	20%	3252	48780	759,1	64,3
Котельная №3	0,08	5%	58	870	41,2	21,1
Котельная №4	1,77	20%	3985	59775	914,5	65,4
Котельная №6	0,31	10%	869	13035	162,8	80,1
Котельная №7	0,25	15%	469	7035	129,2	54,4
с. Беленихино	0,08	10%	206	824	40,7	20,3
с. Журавка	0,09	8%	200	800	45,7	17,5
с. М. Маячки	0,06	10%	127	508	29,7	17,1
с. Плота	0,05	6%	110	440	26,5	16,6
с. Призначное	0,05	8%	130	520	27,6	18,8
с. Прелестное	0,05	12%	168	672	24,0	28,0
с. Радьковка	0,02	3%	53	212	7,9	26,9
с. Холодное	0,07	10%	412	1648	38,3	43,0
с. Шахово	0,01	5%	128	512	7,6	67,1
с. Лучки	0,02	5%	150	600	11,2	53,4
с. Грушки	0,00	2%	12	48	1,6	30,3
с. Кривошеевка	0,01	5%	80	320	2,6	122,3
с. Береговое	0,06	10%	620	2480	29,3	84,6
Всего	4,45	17%	11029	139079	2299,5	60,5

Окончание табл. 4.41

Наименование (местоположе- ние) котельной	Потери тепловых сетях		Протяжён- ность т/с в однотруб- ном исчис- лении (м)	Стоимость реконструк- ции, тыс. руб.	Потенциал энергосбе- режения, тыс. руб.	Срок окупае- мости, лет
	тыс. Гкал	%				
п. Ивня и Ивнянский район						
Центральная	1,77	16%	7016	84192	940,4	89,5
ЦРБ	0,24	11%	1632	19584	126,3	155,1
с. Хомутцы	0,16	10%	1896	7584	83,1	91,2
с. Драгунка	0,12	11%	1312	5248	62,9	83,5
с. Богатое	0,02	6%	240	960	9,6	100,1
с. Сырцево	0,17	12%	1470	5880	92,7	63,4
с. Сухосологино	0,08	10%	460	1840	42,1	43,7
с. Новенькое	0,21	14%	1162	4648	113,5	41,0
с. Песчаное	0,06	10%	432	1728	33,6	51,5
с. Федчевка	0,02	9%	40	160	12,3	13,1
с. Сафоновка	0,05	12%	100	400	26,1	15,3
с. Кочетовка	0,09	11%	530	2120	48,0	44,2
с. Владимировка	0,04	8%	372	1488	21,3	69,8
с. Курасовка	0,11	13%	1040	4160	58,1	71,6
Школа № 2	0,12	7%	1246	4984	65,5	76,0
АТП	0,17	8%	1022	4088	87,9	46,5
школа с. Покровка	0,03	10%	90	360	15,1	23,9
ДК с. Покровка	0,05	11%	213	852	26,4	32,3
ФОК п. Ивня	0,04	8%	50	600	19,2	31,3
Всего	3,55	13%	20323	150876	1884,1	80,1
п. Чернянка и Чернянский район						
«МПК»	0,364	23%	4276	13055	95,2	137,1
«Сахзавод» ул. Строительная	0,054	5%	1766	2380	6,2	381,3
с. Русская Ха- лань	0,07	12%	414	2325	34,1	69
с. Орлик	0,167	10%	1398	5663	57,8	97,9
с. Малотроицкая	0,186	15%	2204	8190	59,3	138,2
с. Андреевка	0,052	4%	524	1610	13,7	117,5
Всего	0,893	16%	10582	33223	266,3	124,8
п. Ровеньки и Ровеньской район						
Центральная	1,57	16	14990	4500	1473,3	2,6
с. Пристень	0,13	14	460	700	181,7	3,9
с. Н-Серебрянка	0,18	15	476	700	231,3	3,0
Всего	1,88	16%	15926	5900	1886,3	3,1
Итого	22,8	15%	107052	826198	10800,9	76,5

Таким образом предварительные общие затраты на реконструкцию тепловых сетей при их протяжённости 107 052 м составят 826,2 млн. руб.

Предварительная годовая экономия теплоты из-за уменьшения тепловых потерь составит 10,8 млн руб. в год. Таким образом, проект является фактически не окупаемым и реконструкция сетей должна рассматриваться как одна из составляющих на техническое содержание оборудования.

4.2.4. Методы расчёта потенциала энергосбережения

В связи с высоким износом котельных и низким коэффициентом загрузки приоритетом в модернизации являлась замена старых котлов на новые автоматизированные в существующих котельных или установка модульных (блочных) котельных с возможной децентрализации системы теплоснабжения. Для определения технико-экономических показателей модернизации необходимо решить следующие задачи:

1. Определение показателей фактической эффективности работы котлов и другого оборудования – КПД и удельных расходов топлива и электроэнергии.

2. Определение фактической подключённой нагрузки и требуемой тепловой мощности котельной. Исключение протяжённых участков тепловых сетей и участков с низкой степенью загрузки.

3. Определение расхода сетевой воды.

4. Оценка изменения энергопотребления и других затрат на выработку теплоты.

5. Долгосрочный прогноз себестоимости теплоты с учётом изменения стоимости энергоносителей и других статей затрат, оценка экономической эффективности проекта и его рисков.

Определение показателей фактической эффективности работы котлов и оборудования

Эффективность работы котлов оценивалась по коэффициенту полезного действия η (КПД). КПД может быть оценён двумя способами:

– по отношению количества отпущенной теплоты Q , Гкал и потребления природного газа котлом X , м³:

$$\eta = 4186Q/(qX), \quad (4.6)$$

где q – теплота сгорания топлива, МДж/м³;

– по данным замеров состава отходящих газов с использованием методики работ [173, 174].

Примеры оценки КПД по отношению количества отпущенной теплоты и потребления природного газа приведены на рис. 4.38.

Полученные данные были проверены на ряде котельных по результатам произведённого анализа отходящих газов. Были произведены две

серии замеров с использованием газоанализатора Testo-330. Первая серия замеров проводилась в декабре 2010 г. в Белгородской области и в ноябре 2012 г. в г. Балабаново Калужской области (табл. 4.42).

Таблица 4.42

Результаты газового анализа

Наименование котельной	Дата и время замеров, температура воздуха	Марка котла	№ котла	Тепловая нагрузка по режимной карте	Анализ отходящих газов				η
					t _г , °С	СО (ppm)	О ₂	α	
п. Ивня (Белгородская обл.)									
Центральная	6.12.2010 г., 15 ⁰⁰ ... 16 ⁰⁰ , -4°С	КВГ-7,56	2	35	199	-	10,5	2,1	82,5
ЦРБ		НР-18	3	35	120	-	15	3,2	73,7
п. Прохоровка (Белгородская обл.)									
Котельная № 4	6.12.2010 г., 11 ⁰⁰ ... 12 ⁰⁰ , -4°С	НР-18	25	-	190	-	4,9	1,28	88,1
			25	-	130	-	4,9	1,28	87,1
Котельная № 2		ХОПЕР-100	37	-	94,9	-	15,7	3,65	73,6
			37	-	98	-	12,2	3,05	83,3
г. Алексеевка (Белгородская обл.)									
Котельная по ул. Некрасова	7.12.2010 г., 11 ⁰⁰ ... 13 ⁰⁰ , -1°С	ТВГ-8	1	34,4	165	137	13,7	2,62	81,9
			2	41	174,6	11	8,6	1,61	87,1
Котельная по ул. В. Собины		ТВГ-8	1	34	185,3	49	15,7	3,65	73,6
			2	34	131,5	945	14,7	3,05	83,3
ЦРБ		ТВГ-1,5	2	40	120	10	15,5	3,4	82,5
			3	40	180	33	17,5	5,4	62,9
АСШ № 1		НР-18	3	35	211	70	14,6	3,2	73,7
г. Балабаново (Московская обл.)									
ул. Боровская	21.11.2012 г., 10 ⁵⁰ -15 ³⁰ , -2°С	КВГ-7,56	1	85	128,6	-	15	3,65	76
		КВГ-7,56	3	75	189,4	-	12,1	3,05	72
ул. Дзержинского		ДКВР 10/13	1	60	227/140	-	4	1,24	85

Данные термографического обследования (г. Балабаново, котлы № 1 и № 3, ул. Боровская) свидетельствуют о нарушенной тепловой изоляции и повышенной температуре поверхности котлов, приводящей к потерям (рис. 4.39).

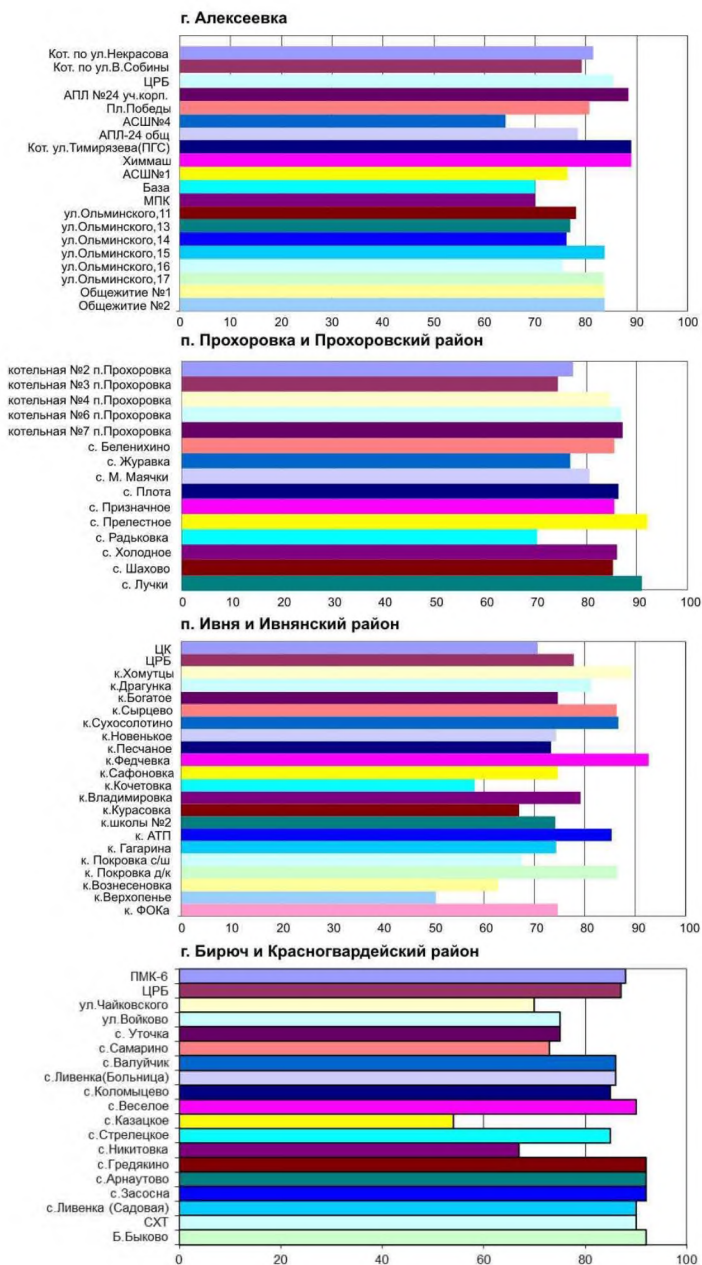


Рис. 4.38. Оценка КПД котельных

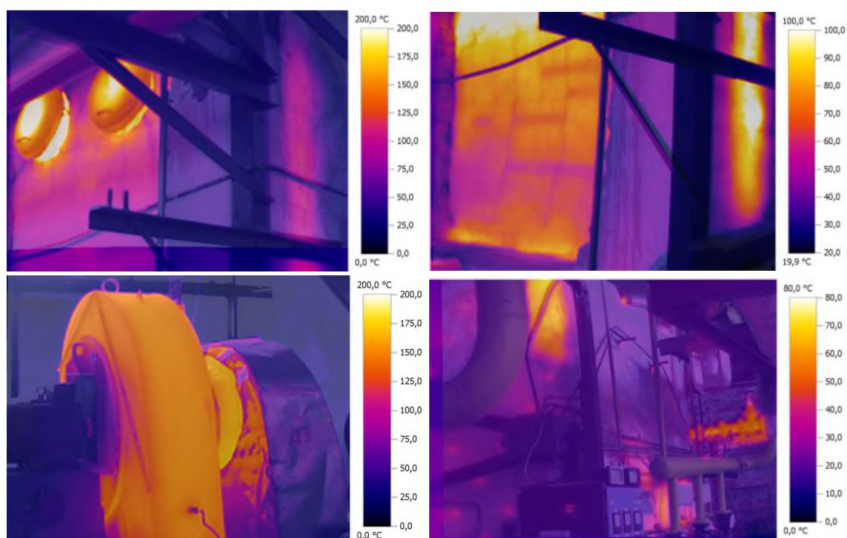


Рис. 4.39. Данные термографического обследования котлов

Вторая серия инструментального обследования котельных Белгородской области проводилась 9 марта 2011 г. с 9:00 до 16:00 при температуре окружающей среды -7°C (табл. 4.43).

Таблица 4.43

Средний КПД котлов по данным газового анализа

Наименование котельной	КПД, %	Наименование котельной	КПД, %
п. Прохоровка		п. Ивня	
Котельная № 2	80,6	ЦРБ	74,3
Котельная № 3	93,9	Котельная с. Хомутцы	86,6
Котельная № 4	90,9	Котельная школы № 2	91
Котельная № 6	94,3	Котельная АТП	92,2
Котельная № 7	90,6	Котельная на ул. Гагарина	94,7

Полученные результаты подтвердили расчётные показатели КПД, определённые из потребления газа и выработки теплоты. Следует отметить, что из-за отсутствия систем автоматизации котлы при пониженной нагрузке работают с крайне большим коэффициентом избытка воздуха, что приводит к 10-15% потерь теплоты.

Как видно из результатов обследования фактический КПД котлов довольно высок и составляет 70-95%. Это показывает невысокий потенциал экономии топлива даже при модернизации устаревших котлов.

Определение эффективности работы тягодутьевого оборудования*

Энергосбережение в туго-дутьевом оборудовании котельных достигается различными путями:

в) правильном проектировании аэродинамической системы для обеспечения наименьших потерь давления, снижением количества присасываемого воздуха в трактах технологических установок.

б) применением вентиляторов с высоким КПД, обоснованный расчёт необходимой мощности электродвигателя и вентилятора;

в) грамотной эксплуатацией вентиляторов и экономичным регулированием их производительности.

На ТЭЦ ЗАО «Алексеевский» установлены пять котлов БМ-35Р. Для регулирования расхода воздуха и отходящих газов в котле используют шиберы (рис. 4.40).

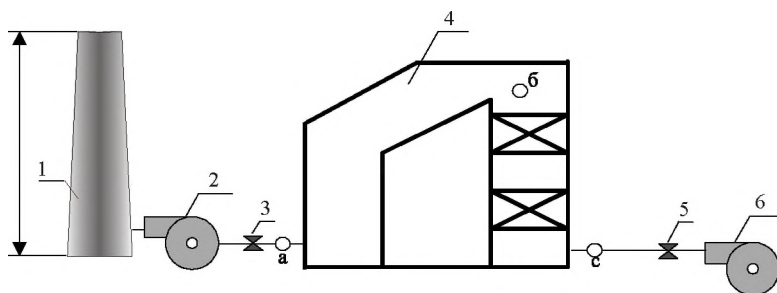


Рис. 4.40. Схема газодутьевого тракта:

- 1 – дымовая труба; 2 – дымосос ДН-15; 3 – шибер дымососа; 4 – котёл П-образный; 5 – шибер вентилятора; 6 – вентилятор ВДН-15;
- а, б, с – место проведения измерения

* Работа выполнена студентом А.С. Сосницким под научным руководством автора

Для оценки экономичности работы тягодутьевого оборудования выполнены следующие задачи:

1. Для определения режимов работы тягодутьевой системы и данных, необходимых для оценки энергопотребления, выполнены испытания котла № 1 с целью определения расхода воздуха и газов по тракту котла и потерь давлений на разных участках тракта.

2. Выполнен расчёт режимов работы тягодутьевого оборудования в существующих условиях и при частотном регулировании.

Испытания котла БМ-35Р проводились при существующем техническом состоянии котла при нагрузках от 61% до 92% при давлении перегретого пара 35,2+35,9 кгс/см². В период проведения опытов разрежение в топке поддерживалось – 2,5 кгс/м. Регулирование тягой и дутьём производилось направляющими аппаратами дымососа и вентилятора.

Опыты проводились на 3-х режимах, с целью определения оптимального давления воздуха перед горелкой. В каждом режиме устанавливалось по четыре опыта, которые характеризовались различными давлениями воздуха при постоянном давлении газа перед горелкой.

В котле БМ-35Р установлены тягодутьевые машины, характеристики которых приведены в табл. 4.44.

Таблица 4.44

Характеристики тягодутьевых машин

Характеристики	Вентилятор ВДН-15		Дымосос ДН-15	
	Производительность, м ³ /ч	50000	37500	50000
Число оборотов в минуту, об/мин	1000	750	1000	750
Полное давление на оптимальном режиме, Па	3432	1245	2216	1245
Потребляемая мощность, кВт	57,5	24,2	37,5	15,8

В результате проведения технических испытаний котла при нагрузках от 21,2 до 32,1 т/ч получены данные, приведённые в табл. 4.45.

Перерасход электроэнергии определяется потерями давления на шибере Δp , которые для вентилятора равны разнице давлений, создаваемой вентилятором p_v и давления на входе в котёл p_n , а для дымососа – разнице разрежения создаваемого дымососом и после котла.

Потери давления шибером вентилятора определяем по формуле:

$$\Delta p = p_v - p_n \quad (4.7)$$

Потери электроэнергии из-за сопротивления шибера имеют вид:

$$N_p = \frac{\Delta p \cdot Q}{\eta}, \quad (4.8)$$

где Q – объёмный расход воздуха; η – КПД вентиляторной установки, включает КПД вентилятора, определяемый по его паспортным данным, и КПД электродвигателя, определяемый по его типу, мощности и коэффициенту загрузки.

Таблица 4.45

Результаты теплотехнических испытаний

Характеристики	Номер режима		
	1	2	3
Нагрузка котла, %	61	72	92
Давление воздуха перед горелками, мм. в. ст.	35	63	78
Подача вентилятора, тыс. нм ³ /ч (м ³ /с)	25,5 (7,08)	25,9 (7,19)	37,8 (10,5)
Создаваемое давление, Па:			
по паспорту p_b	2080	2088	1592
по испытанию p_n	343	618	765
Расход газа, м ³ /ч	1850	2180	2800
Температура воздуха перед воздухонагревателем, °С	20	20	20
Температура дымовых газов за воздухоподогревателем, °С	132	137	145
Разряжение за воздухоподогревателем, кгс/м ²	60	75	96
Потребляемая мощность электродвигателем, кВт	53,2	43,2	39,6

Давление, создаваемое дымососом при разных нагрузках p_d , определяется с помощью его паспортной напорной характеристике по объёму газов (продуктов горения) V_{ϕ}^{nz} , проходящих через дымосос:

$$V_{\phi}^{nz} = \frac{\alpha_1 (V_{возд} + V_{газа}) T_z + T_0}{\alpha_2 T_0}, \tag{4.9}$$

где α_1 , α_2 коэффициенты избытка воздуха за воздухоподогревателем и экономайзером соответственно, $V_{возд}$ и $V_{газа}$ – объём воздуха и природного газа, подаваемого в топку; T_z – температура продуктов горения за воздухоподогревателем; T_0 – температура при нормальных условиях.

Потери давления шибером дымососа:

$$\Delta p = p_d - (p_{зам} - p_r), \tag{4.10}$$

где p_r – естественная тяга в дымовой трубе, определяемая по её высоте и температуре газов.

В результате проведённых расчётов определено:

1. Годовой перерасход электроэнергии в дымососе составляет:

- нагрузка 92% 124 080 кВт/ч (82% от потребления);
- нагрузка 72% 119 040 кВт/ч (77% от потребления);
- нагрузка 61% 84 720 кВт/ч (43% от потребления).

2. Средний годовой перерасход электроэнергии в вентиляторе составляет 51 840 кВт·ч (50–80% от потребления).

Определение эффективности работы насосного оборудования

Испытания насосного оборудования в ходе работы не проводилось, для оценки потенциала экономии использовались работы [175–178].

Так, в работе [178] приведены результаты обследования насосной станции АО «Белгородский цемент», на которой установлены три насоса 4НДВ (Д-200-36) 1984 г. выпуска. Насосная станция работает с переменной подачей воды, максимальный расход составляет 600 м³/ч. Регулирование насосной станции дроссельное. В табл. 4.46 приведено сравнение потребляемой мощности при существующем режиме работы и при оснащении насосов электродвигателей с частотными электроприводами, позволяющими плавно регулировать частоту вращения.

Таблица 4.46

Энергопотребление насосной станцией

Время работы	Подача, м ³ /ч (% от максимальной загрузки)	Режим работы при дроссельном регулировании (существующий)			Режим работы при частотном регулировании (оптимальный)		
		Потребляемая работа и мощность		Удельная мощность кВт/м ³	Потребляемая работа и мощность		Удельная мощность кВт/м ³
		кВт·ч	кВт		кВт·ч	кВт	
0 ⁰⁰ – 4 ⁰⁰	375 (63%)	250,0	62,5	0,167	160,6	40,15	0,107
4 ⁰⁰ – 8 ⁰⁰	425 (71%)	267,3	66,8	0,157	187,2	46,8	0,110
8 ⁰⁰ – 12 ⁰⁰	525 (88%)	276,1	69,0	0,131	244,6	61,15	0,116
12 ⁰⁰ – 16 ⁰⁰	600 (100%)	300,5	75,1	0,125	300,5	75,125	0,125
16 ⁰⁰ – 20 ⁰⁰	450 (75%)	264,9	66,2	0,147	201,2	50,3	0,112
20 ⁰⁰ – 24 ⁰⁰	375 (63%)	250,0	62,5	0,167	160,6	40,15	0,107
Всего за сутки		1608,8	–	–	1254,7	–	–

Как видно, перерасход электроэнергии в сутки составляет 354,1 кВт·ч, или 129,2 тыс. кВт·ч в год (22% от потреблённой энергии).

Таким образом, для электроэнергии потенциал экономии может составлять до 40-80% из-за отсутствия регулирования тягодутьевого и насосного оборудования.

Определение фактической подключённой нагрузки, требуемой тепловой мощности котельной и расхода сетевой воды

Фактическая подключённая нагрузка определялась по фактическому потреблению теплоты, для расчёта которой использовались два метода:

- данные приборного учёта отпуска теплоты (при его наличии);
- данные приборного учёта потребления топлива и КПД котлов.

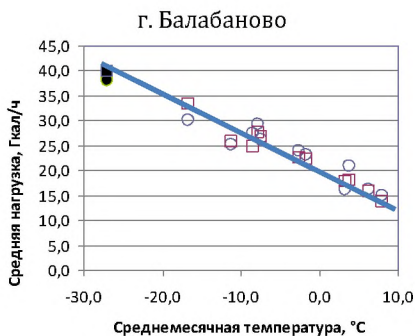
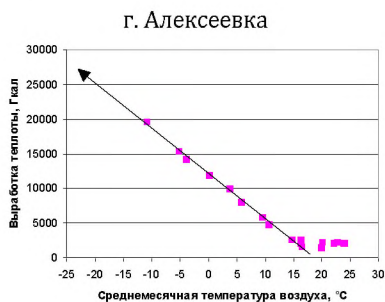
Требуемая тепловая мощность котельных определялась исходя из трёх величин:

- максимальной среднемесячной мощности;
- прогнозируемая мощность при температуре воздуха -23°C ;
- данных о присоединённой нагрузке.

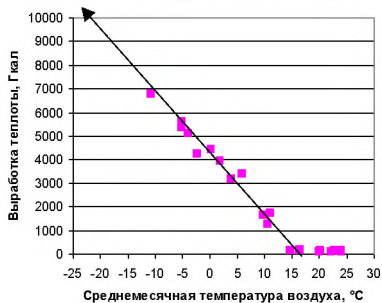
Прогнозируемая мощность при температуре воздуха -23°C определялась по зависимости между месячной выработкой теплоты и среднемесячной температурой воздуха (рис. 4.41). Примеры полученных данных для крупных котельных шести муниципальных образований приведены на рис. 4.27.

Анализируя показатели работы котельных можно отметить следующие случаи недооценки необходимой мощности:

- в АСШ № 1 (Алексеевский район) установленная мощность присоединённой нагрузки составляет 0,68 МВт, что соответствует максимальной среднемесячной нагрузке, тогда как прогнозируемая при температуре -23°C нагрузка составляет 1,24 МВт, что выше установленной на 182%;
- в котельной № 4 п. Прохоровка установленная мощность присоединённой нагрузки составляет 4,1 МВт, максимальная среднемесячная нагрузка



п. Прохоровка и Прохоровский район



п. Ивня и Ивнянский район

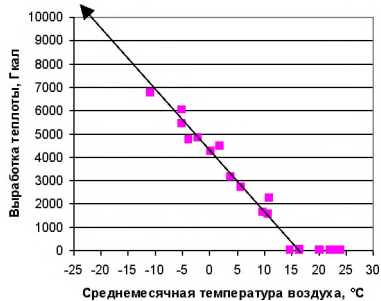


Рис. 4.41. Графики отопительной нагрузки

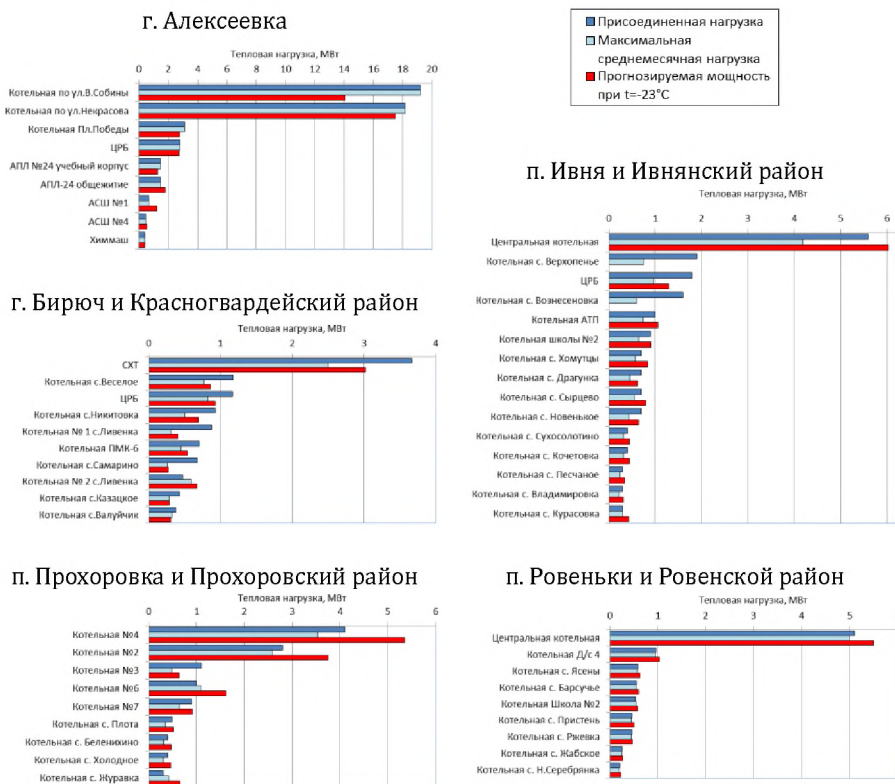


Рис. 4.42. Оценка тепловой нагрузки крупных котельных

составила 3,54 МВт, прогнозируемая нагрузка – 5,35 МВт, что выше установленной на 130%;

– в котельной № 2 села Ливенка, Красногвардейского района установленная мощность присоединённой нагрузки 0,47 МВт, тогда как прогнозируемая – 0,67 МВт, что выше установленной на 143%.

Это показывает, что в ряде случаев проектирование котельных по установленной присоединённой мощности приведёт к недооценке потребности в теплоте. Но также для ряда котельных приведённая нагрузка является завышенной. Например, в центральной районной больнице п. Ивня присоединённая нагрузка установлена 1,8 МВт, максимальная среднемесячная нагрузка составляет 0,96 МВт, и прогнозируемая мощность – 1,29 МВт, что составляет 70% от установленной. В среднем по всем обследованным котельным прогнозируемая мощность ниже установленной присоединённой нагрузки на 8%.

Оценка расхода сетевой воды

Для выбора сетевых насосов был определён расход воды согласно тепловой нагрузке и температурному графику (рис. 4.28).

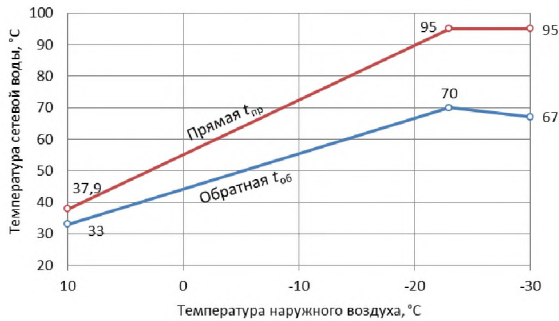


Рис. 4.43. Температурный график тепловой сети 95/70°C

Расход сетевой воды V , м³/ч, определялся двумя методами:

– по максимальной отопительной мощности котельной:

$$V = 3,6 \cdot 10^6 Q_{\max} / (\rho_v c_v \Delta t_{\max}); \quad (4.11)$$

– по данным месячного отпуска теплоты

$$V = 4,17 \cdot 10^4 Q_{\text{мес}} / (n \rho_v \Delta t_v), \quad (4.12)$$

где Q_{\max} – максимальная мощность котельной, МВт; $Q_{\text{мес}}$ – месячная выработка теплоты, Гкал; ρ_v – плотность воды, кг/м³; c_v – теплоёмкость воды, кДж/(кг·К); Δt_{\max} – разность между температурами подающей и обратной воды при наиболее холодной пятидневке, °C; n – число дней в месяце; Δt_v – разность между температурами подающей и обратной воды, °C.

Для определения разности между температурами подающей $t_{\text{пр}}$ и обратной $t_{\text{об}}$ воды по температуре наружного воздуха t_{ext} для температурного графика 95/70 получена следующая зависимость:

$$\Delta t_v = t_{\text{пр}} - t_{\text{об}} = 11 - 0,61 t_{\text{ext}}. \quad (4.13)$$

При определении расхода сетевой воды она рассчитывалась как по выражению (4.11), с использованием данных о присоединённой нагрузке и прогнозируемой мощности, так и по выражению (4.12) по месячным отчётным данным работы котельной, затем из полученных значений выбиралось максимальное.

Пример получаемых данных оценки расхода сетевой воды приведён в табл. 4.47.

Таблица 4.47

Оценка расхода сетевой воды (котельные г. Алексеевка)

№	Расположение котельной	Присоединённая нагрузка, МВт	Прогнозируемая мощность при $t = -23^{\circ}\text{C}$	Расход воды по максимальной нагрузке, м ³ /час		Расход воды по фактической среднемесячной нагрузке, м ³ /час
				По присоединённой нагрузке	По прогнозируемой нагрузке	
1	ул. Некрасова	18,2	17,49	625	602	641
2	ул. В. Собины	19,2	14,06	661	484	518
3	БПК	0,97	0,00	33	0	0
4	ЦРБ	2,81	2,74	97	94	80
5	АПЛ № 24 уч. корп.	1,48	1,26	51	43	36
6	Площадь Победы	3,12	2,75	107	95	73
7	АСШ №4	0,47	0,52	16	18	12
8	АПЛ-24 общ	1,48	1,80	51	62	34
9	ул. Тимирязева (ПГС)	0,22	0,30	8	10	12
10	ХимМаш	0,40	0,40	14	14	9
11	АСШ № 1	0,68	1,24	23	43	53
12	База	0,21	0,00	7,2	0,0	0
13	МПК	0,15	0,38	5,1	13,1	9
14	ул. Ольминского, 11	0,11	0,13	3,8	4,3	4
15	ул. Ольминского, 13	0,13	0,15	4,5	5,1	5
16	ул. Ольминского, 14	0,13	0,17	4,5	5,7	5
17	ул. Ольминского, 15	0,14	0,18	4,8	6,3	6
18	ул. Ольминского, 16	0,13	0,18	4,4	6,1	5
19	ул. Ольминского, 17	0,08	0,10	2,9	3,5	3
20	Общежитие № 1 (ул. Ольминского)	0,06	0,08	2,1	2,6	3
21	Общежитие № 2 (ул. Ольминского)	0,02	0,05	0,7	1,8	2

Расчёт величины экономии

При определении эффекта от модернизации, руб./год, учитывались следующие составляющие:

– снижение затрат на топливо:

$$\Delta E_T = (g'_T - g''_T) c_T Q_T; \quad (4.14)$$

– снижение расхода электроэнергии на работу сетевых насосов и тягодутьевого оборудования:

$$\Delta E_3 = (e'_T - e''_T)c_3Q_T; \quad (4.15)$$

– снижение фонда оплаты труда основных рабочих при внедрении диспетчеризации:

$$\Delta E_d = 3(n' - n'') + 3z_d, \quad (4.16)$$

где g'_T – удельный расход топлива на выработку теплоты до модернизации, м³/Гкал, определяется по КПД котла η и теплоте сгорания топлива q , МДж/м³

$$g'_T = 4186/(q\eta), \quad (4.17)$$

g''_T – удельный расход топлива на выработку теплоты после модернизации, м³/Гкал, определяется по паспортным данным или КПД нового котла; c_T, c_3 – стоимость топлива, руб./м³, и электроэнергии, руб./кВт·ч; Q_T – годовой отпуск теплоты, Гкал; e'_T – удельный расход электроэнергии на выработку теплоты до модернизации, кВт·ч/Гкал, определяется из отчётных данных; e''_T – удельный расход электроэнергии на выработку теплоты после модернизации, кВт·ч/Гкал, складывается из потребляемой мощности сетевых насосов E_c , кВт:

$$E_c = \rho g H_c v_c / \eta_n, \quad (4.18)$$

циркуляционных насосов E_n , кВт:

$$E_n = \rho g H_n v_n / \eta_n, \quad (4.19)$$

тягодутьевого оборудования E_T , кВт:

$$E_T = \Delta p v_T / \eta_T, \quad (4.20)$$

где ρ – плотность воды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; H_c – необходимый напор сетевых насосов, м; H_n – гидравлическое сопротивление котлового контура (котла и теплообменника), м; v_c, v_n – удельный расход сетевой и циркуляционной воды, м³/Гкал; v_T – удельный объем продуктов сгорания при температуре отходящих газов (определяется по расчёту горения топлива), м³/Гкал; η_n, η_n, η_T – КПД сетевых насосов, циркуляционных насосов, тягодутьевого оборудования.

Экономия от внедрения системы диспетчеризации определяется исходя из количества человек, обслуживающих котлы до модернизации n' (постоянно дежурящие на котельных операторы котлов, дежурные мастера, лаборанты ХВО) и количества диспетчеров и персонала, составляющих дежурные оперативные бригады, после внедрения системы диспетчеризации n'' .

Состав основных рабочих, задействованных на предприятии с внедрённой системой диспетчеризации, принят следующим:

- а) диспетчер – 4 чел.;
- б) аппаратчик ХВО – 2 чел.;
- в) состав бригады (минимум четыре бригады для небольших предприятий и восемь-двенадцать для крупных):
 - слесарь КИПиА – 1 чел.;
 - слесарь газовой службы – 1 чел.;
 - электрик – 1 чел.;
 - водитель – 1 чел..

Таким образом, минимальное количество основного персонала после внедрения системы диспетчеризации составляет 22 чел., для средних и крупных предприятий – 38...54 чел..

Годовой фонд оплаты труда одного человека складывается из денежного вознаграждения, премии, и страховых взносов на заработную плату. Кроме того при диспетчеризации необходимо учесть затраты на эксплуатацию оперативного автотранспорта З_д.

В результате расчётов получена следующая величина экономии от снижения расхода энергоресурсов и диспетчеризации (табл. 4.48, рис. 4.29). Как видно из табл., для разных теплоснабжающих организаций структура экономии и величина снижения себестоимости различны. Кроме указанных значений в расчётах также учитывалось снижение затрат на ремонт и содержание оборудования.

Таблица 4.48

Структура изменения себестоимости в результате модернизации, руб./Гкал

Наименование	г. Алексеевка	г. Балабаново	Районы					
			Грайворонский	Прохоровский	Ивнянский	Красногвардейский	Чернянский	Борисовский
Снижение расхода топлива	126,2	222,2	42,1	176,9	69,1	41,0	76,4	86,9
Снижение расхода электроэнергии	47,1	40,0	75,4	104,8	79,4	266,2	102,6	56,9
Экономия при диспетчеризации	19,6	55,8	114,3	164,4	125,1	-15,1	49,6	131,6
Экономия от снижения затрат на эксплуатацию	81,2	22,7	46,9	28,7	35,9	48,1	30,2	68,2
Изменение отчислений на амортизацию	30,0	-	-232,0	-206,7	3,7	39,9	3,4	29,8
Общее снижение себестоимости	304,1	340,6	46,8	268,0	340,3	281,3	262,3	373,5

Так как при оценке эффективности проектов для организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности (то есть стоимость

продукции которых определяет регулирующий орган на основании фактических производимых затрат, и затраты на модернизацию включаются в тарифы в виде инвестиционной составляющей) стандартные методы экономического анализа применять нельзя.

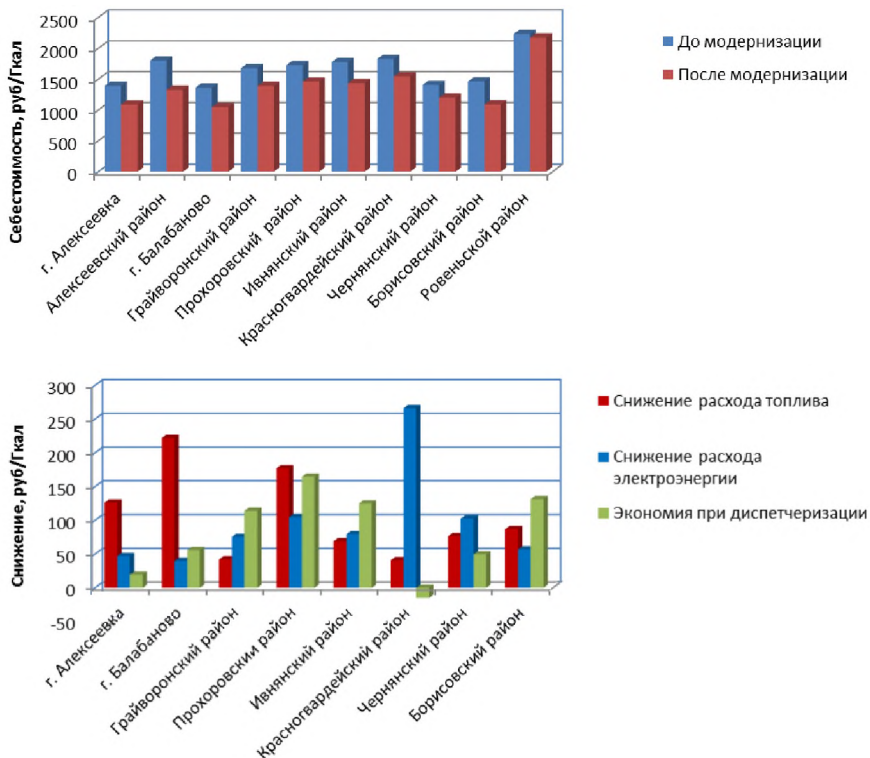


Рис. 4.44. Снижение себестоимости теплоты

В табл. 4.49 приведены величины затрат на проведение модернизации и получаемый эффект.

В табл. 4.49 для сравнения показаны отношения затрат на мероприятия и эффекта от них, которые косвенно могут показывать период необходимости наличия в тарифе инвестиционной составляющей.

Величина периодов показывает, что учёт инвестиционной составляющей должен производиться длительный период времени, что требует долгосрочного анализа тарифов для оценки возможности проведения модернизации и возврата заёмных средств.

Таблица 4.49

Затраты и экономический эффект от модернизации

Наименование поселения	Выработка теплоты в 2010 г., тыс. Гкал	Удельный расход				Экономический эффект				Затраты, тыс. руб.		Отношение затрат к годовой валовой выручке	Соотношение затрат к экономическому эффекту (условный срок окупаемости, лет)		
		Топлива, м ³ /Гкал		Электроэнергии, кВт/Гкал		От снижения расхода энергоресурсов		От диспетчеризации							
		до	после	до	после	тыс. руб. в год	руб./Гкал	тыс. руб. в год	руб./Гкал	На модернизацию	На диспетчеризацию		От модернизации	При диспетчеризации	Общий
г. Алексеевка	109,04	165	138	38	23,6	19689	207,6	4804	56	234427	10200	1,8	11,9	2,1	10,0
Грайворонский район	25	145	133	37,4	15,9	2489	99,6	2422	96,9	47447	3200	1,4	19,1	1,3	10,3
Прохоровский район	29,8	173	138	55,4	28,6	7084	140,2	2251	75,5	57117	4400	1,3	8,1	2,0	6,6
Ивнянский район	29,5	159	138	42,7	22,5	4443	111,1	3393	115	65816	7600	1,6	14,8	2,2	9,4
Чернянский район	31,47	146	141	46,8	15	5426	102,6	1505	49,6	48074	4800	1,2	8,9	3,2	7,6
Борисовский район	46,12	155	34,2	133	18,8	5199	112,7	4755	103,1	45740	4800	1,0	8,8	1,0	5,1
Ровеньской район	18,4	172	138	48,3	13,86	2516	137,1	1430	167,2	50250	2700	1,4	20,0	1,9	13,4
Всего	289,33	160	121	57	21	46846	162	20560	71	548871	37700	1,5	11,7	1,8	8,7

Модернизация требует значительных затрат, как правило превышающих годовую валовую выручку предприятия (табл. 4.49). Проведение модернизации за счёт инвестиционной надбавки к тарифу потребует или его значительного увеличения или не позволит получить необходимый объём средств. Поэтому модернизация возможна только за счёт заёмных средств. При этом затраты на их возврат будут производиться за счёт достигнутой экономии.

4.2.5. Оценка технико-экономической эффективности модернизации котельных

Системы теплоснабжения являются важнейшими элементами системы жизнедеятельности, напрямую определяющими условия жизни и социальную стабильность в обществе [66–68, 71, 74, 84, 179]. Поэтому кроме экономической составляющей эффективность модернизации теплоснабжающих организаций должна обеспечивать отсутствие дополнительной финансовой нагрузки для потребителей.

Так как стандартные методы экономического анализа эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия для ресурсоснабжающих организаций, осуществляющих производство и реализацию продукции по регулируемым видам деятельности, неприменимы, в работе оценку модернизации предлагается производить по прогнозируемой величине себестоимости вырабатываемой теплоты. При этом инвестиционный проект должен предусматривать ограничение на рост себестоимости (тарифов) на величину, не превышающую величину инфляции.

Основные составляющие денежных потоков – стоимость энергоресурсов [180], заработная плата, а также инфляция имеют значительно отличающийся рост (табл. 4.50), что не позволяет их усреднить в единой ставке дисконтирования, так как это приведёт к не полной предсказуемости конечного результата.

Таблица 4.50

Пример роста стоимости*

Наименование	2011 год	2012 год	2013 год
Инфляция	7%	6%	5%
Стоимость природного газа	15%	15%	15%
Стоимость электроэнергии	14,5%	12%	11%
Стоимость тепловой энергии	13%	11%	10,5%
Реальная заработная плата	4%	4%	4,7%

* Прогноз Минэкономразвития социально-экономического развития Российской Федерации на 2011 год и на плановый период 2012 и 2013 годов

Для анализа вместо метода дисконтирования использована более трудоёмкая методика, предусматривающая корректировку всех факто-

ров, влияющих на денежные потоки сравниваемых проектов. Анализ производился в ценах расчётного периода, то есть без приведения денежных потоков к единой базе. Преимущества данного метода следующие:

- дифференцирование изменения (роста) стоимости каждой статьи затрат, в том числе стоимости энергоресурсов различного вида;
- варьирование коэффициентов изменения затрат и стоимости в разные периоды (годы);
- учет затрат и эффекта от нескольких мероприятий, проводимых в разные периоды с различными условиями привлечения финансовых средств;
- учет изменения эффекта от мероприятий с течением времени из-за износа оборудования и утраты свойств материалов;
- возможность долгосрочного прогнозирования развития предприятий и регионов с использованием актуальных объёмов денежных средств на будущие годы и изменения объема вырабатываемых или потребляемых энергоресурсов.

Модернизацию предлагается проводить за счёт заёмных средств. Способ кредитования выбран в виде дифференцированных ежегодных платежей, при котором задолженность погашается равномерно, а проценты начисляются по фактическому остатку.

Для определения валовой выручки предлагается учитывать следующие статьи себестоимости теплоты, приведённые в табл. 4.51.

Таблица 4.51

Структура себестоимости теплоты

№	Наименование составляющей	Формула для расчёта
1. Энергоресурсы		
1.1.	Топливо	$C_{Ti} = Q_i \cdot g_{Ti} \cdot \Pi_{Ti} = Q_i \cdot g_{Ti} \cdot \Pi_{T0} \cdot (k_T)^i$
1.2.	Электроэнергия на производственные нужды	$C_{Эi} = Q_i \cdot g_{Эi} \cdot \Pi_{Эi} = Q_i \cdot g_{Эi} \cdot \Pi_{Э0} \cdot (k_Э)^i$
1.3.	Вода	$C_{Вi} = C_{В0} (Q_i / Q_0) \cdot (k_В)^i$
2. Прямые затраты		
2.1.	Прямые затраты на оплату труда (основного производственного персонала) с ЕСН	$C_{опп i} = C_{опп 0} (n_{опп i} / n_{опп 0}) \cdot (k_{опп})^i$
2.2.	Ремонт и обслуживание, материалы на эксплуатацию	$C_{рi} = C_{р0} (a_i / a_{maxi}) / (a_0 / a_{max0}) \cdot (k_{рi})^i$
2.3.	Амортизация	Определяется в соответствии со способом начисления амортизации, используемым в ТСО
2.4.	Услуги производственного характера (на испытания приборов и сторонних организаций, охрана труда)	$C_{yi} = C_{y0} \cdot (k_{yi})^i$

№	Наименование составляющей	Формула для расчёта
3. Общехозяйственные расходы		
3.1	Затраты на оплату труда общехозяйственного персонала с ЕСН	$C_{охпi} = C_{охп0} \cdot (k_{эп})^i$
3.2	Служба диспетчеризации (зарплата персонала, транспортные расходы)	$C_{дi} = C'_{д0} \cdot (k_{и})^i$
4. Обслуживание займа		
4.1.	Погашение займа, тыс. руб.	$C_{зi} = \sum_{j=1}^j \begin{cases} \frac{Z_j}{2n_j}, & \text{если } i = s_j \text{ или } i = (s_j + n_j), \\ \frac{Z_j}{n_j}, & \text{если } s_j < i < (s_j + n_j) \end{cases}$
4.2.	Проценты по займу тыс. руб.	$C_{пi} = \left(\sum_{j=1}^j (Z_j, \text{ если } j \geq s_j) - \sum_{r=0}^i C_{зr} \right) p$

Обозначения:

i – расчётный год (началу проекта соответствует базовый год $i=0$);

$C_{тi}, C_{эi}$ – затраты на топливо и электроэнергию в расчётном году;

$C_{вi}, C_{в0}$ – затраты на воду в расчётном и базовом году;

$C_{оппi}, C_{опп0}$ – прямые затраты на оплату труда в расчётном и базовом году;

$C_{рi}, C_{р0}$ – затраты на ремонт в расчётном и базовом году;

$C_{уi}, C_{у0}$ – затраты на услуги производственного характера в расчётном и базовом году;

$C_{охпi}, C_{охп0}$ – затраты на оплату труда общехозяйственного персонала в расчётном и базовом году;

$C_{дi}, C'_{д0}$ – затраты на службу диспетчеризации в расчётном году и приведённые к началу базового года;

$C_{эв}, C_{пi}$ – затраты на выплаты основной части кредита и процентов по нему;

$k_t, k_э, k_в$ – коэффициенты ежегодного повышения стоимости топлива, электроэнергии, воды; $k_{и}$ – коэффициент инфляции; $k_{эп}$ – коэффициент ежегодного индексирования заработной платы;

Q_i, Q_0 – количество отпускаемой теплоты в расчётном и базовом году;

$g_{тi}, g_{эi}$ – удельный расход топлива и электроэнергии на выработку теплоты;

$\Pi_{тi}, \Pi_{т0}, \Pi_{эi}, \Pi_{э0}$ – стоимость топлива и электроэнергии в расчётном и базовом году;

$n_{опп i}, n_{опп 0}$ – количество основного производственного персонала в расчётном и базовом году;

a_0, a_i – средний возраст эксплуатации котлов в базовом и расчётном году;

a_{max0}, a_{maxi} – средний срок службы котлов в базовом и расчётном году;

J – количество лет, в течении которых происходит модернизация;

Z_j, s_j – размер инвестиционных затрат (размер кредита) в j -ом году и номер этого года;

n_j – количество лет, на который берётся кредит;

p – кредитная процентная ставка.

Рассмотрим пример прогноза себестоимости теплоты в МУП «Тепловые сети» Ивнянского района Белгородской области. Модернизацию котельных в районе предполагалось проводить в три этапа (табл. 4.52). На первом этапе в программу включена крупная центральная котельная с наименьшим сроком окупаемости мероприятий, на втором – котельные со средним сроком окупаемости, на третьем – котельные с долгим сроком окупаемости и диспетчеризация.

Таблица 4.52

Этапы модернизации

Год	Объекты модернизации	Стоимость, млн. руб.	
		В ценах 2010 г.	С учётом инфляции
2011 г.	Центральная котельная (п. Ивня, ул. Десницкого)	10597	10597
2012 г.	Котельная ЦРБ (п. Ивня, ул. Привольная)	33078	35228
	Котельная (с. Хомутцы)		
	Котельная (с. Драгунка)		
	Котельная (с. Сырцево)		
	Котельная (с. Сухосолотино)		
	Котельная (с. Новенькое)		
	Котельная (с. Песчаное)		
2013 г.	Котельная (с. Владимировка)	28909	32481
	Котельная (с. Курасовка)		
	Котельная (с. Федчевка)		
	Котельная (с. Сафоновка)		
	Котельная (с. Кочетовка)		
	Котельная (п. Ивня, ул. Гагарина)		
	Котельная школы (с. Покровка)		
	Котельная ДК (с. Покровка)		
Котельная ФОКа (п. Ивня)			
Котельная АТП (п. Ивня, ул. Транспортная, 1)	72584	78307	
Диспетчеризация			
Всего			

Для модернизации предлагалось использовать заёмные средства, гарантом обеспечения кредита будет выступать администрация муниципального района. Срок займа – 5 лет, годовой процент займа – 11,5%.

В качестве показателей базового года использовалась себестоимость и данные бюджета доходов и расходов МУП за 2009 г. При прогнозировании себестоимости теплоты использовались следующие показатели: $k_T = 1,15$; $k_3 = 1,13$; $k_B = 1,13$; $k_H = 1,07$; $k_{3п} = 1,10$; $Q_0 = 25\ 312,44$ Гкал; $n_{опп\ 0} = 92$; $a_0 = 16$; $a_{max\ 0} = 16$ (приказ Минэнерго РФ от 24.06.2003 N 254); $J = 3$.

Изменение структуры себестоимости после модернизации позволяет после завершения всех мероприятий по реконструкции прогнозировать снижение себестоимости тепловой энергии на 33%. Результаты расчёта прогноза в ценах расчётного приведены в табл. 4.53.

Таблица 4.53

Прогноз себестоимости тепловой энергии в ценах расчётного года

Показатели	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
<i>Себестоимость, тыс. руб.</i>											
Энергоресурсы											
Топливо	18776	23392	24913	26056	28922	32104	35635	39555	43906	48736	54097
Электроэнергия на производственные нужды	4298	4879	4377	3551	3924	4336	4792	5295	5851	6465	7144
Вода	728	921	1023	1130	1249	1380	1525	1685	1862	2057	2273
Прямые затраты											
Затраты на оплату труда отчислениями	10978	12100	11780	8502	4099	4506	4953	5446	5987	6581	7235
Ремонт	1175	1240	1059	856	899	944	991	1041	1093	1148	1205
Материалы на эксплуатацию	924	984	1038	1090	1145	1202	1262	1325	1391	1461	1534
Амортизация	94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Услуги производственного характера	1672	1781	1879	1973	2071	2175	2283	2398	2518	2643	2776
Общехозяйственные расходы											
Служба диспетчеризации	-	-	-	2679	5626	5907	6202	6513	6838	7180	7539
Прочее	6312	6722	7092	7447	7819	8210	8620	9051	9504	9979	10478
Обслуживание займа											
Погашение займа, тыс. руб.	-	1060	5642	12413	15661	15661	14602	10019	3248	0	0
Проценты по займу тыс. руб.	-	1097	4499	6807	5006	3205	1526	374	0	0	0
Итого себестоимость	44956	54176	63302	72505	76421	79629	82392	82700	82197	86250	94280
<i>Себестоимость, руб./Гкал</i>											
Энергоресурсы											
Топливо	741,8	924,1	984,2	1029,4	1142,6	1268,3	1407,8	1562,7	1734,6	1925,4	2137,2
Электроэнергия на производственные нужды	169,8	192,8	172,9	140,3	155,0	171,3	189,3	209,2	231,1	255,4	282,2
Вода	28,8	36,4	40,4	44,6	49,3	54,5	60,2	66,6	73,5	81,3	89,8
Прямые затраты											
Затраты на оплату труда с отчислениями	433,7	478,0	465,4	335,9	161,9	178,0	195,7	215,1	236,5	260,0	285,8
Ремонт	46,4	49,0	41,8	33,8	35,5	37,3	39,2	41,1	43,2	45,3	47,6
Материалы на эксплуатацию	36,5	38,9	41,0	43,1	45,2	47,5	49,9	52,3	55,0	57,7	60,6
Амортизация	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Услуги производственного характера	66,1	70,3	74,2	77,9	81,8	85,9	90,2	94,7	99,5	104,4	109,7
Общехозяйственные расходы											
Служба диспетчеризации	-	-	-	105,8	222,3	233,4	245,0	257,3	270,1	283,7	297,8
Прочее	249,4	265,6	280,2	294,2	308,9	324,3	340,6	357,6	375,5	394,2	413,9
Обслуживание займа											
Погашение займа, тыс. руб.	-	41,9	222,9	490,4	618,7	618,7	576,9	395,8	128,3	0,0	0,0
Проценты по займу тыс. руб.	-	43,3	177,7	268,9	197,8	126,6	60,3	14,8	0,0	0,0	0,0
Итого себестоимость	1776,1	2140,3	2500,8	2864,4	3019,1	3145,9	3255,0	3267,2	3247,3	3407,4	3724,7

На рис. 4.45 тариф, получаемый в ходе выполнения инвестиционно-го проекта, сравнен с тарифом, который был бы без инвестиций. Как видно из рисунка, в краткосрочной перспективе за счет необходимости обслуживания и возврата заемных средств модернизация ведет к увеличению тарифа, но уже через пять лет он тариф становится заметно ниже.



Рис. 4.45. Сравнение тарифа на тепловую энергию в инвестиционном проекте и при отсутствии модернизации и ежегодном прогнозируемом росте 10%

В табл. 4.54 и на рис. 4.46 произведено сопоставление затрат на обслуживание заёмных средств и получаемой экономии.

Таблица 4.54

Оценка средств на обслуживание привлекаемого поэтапно кредита и экономический эффект от мероприятий

Год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Всего
Сумма займа (2011 г., с учётом инфляции)	10597	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10597
Погашение займа	1060	2119	2119	2119	2119	1060	-	-	-	-	10597
Проценты	1097	853	609	366	122	-	-	-	-	-	3047
Сумма займа 2012 г., с учётом инфляции	-	35228									35228
Погашение займа	-	3523	7046	7046	7046	7046	3523	-	-	-	35228
Проценты	-	3646	2836	2026	1215	405	0	-	-	-	10128
Сумма займа 2013 г., с учётом инфляции	-	-	32481								32481
Погашение займа	-	-	3248	6496	6496	6496	6496	3248	-	-	32481
Проценты	-	-	3362	2615	1868	1121	374	-	-	-	9338
Возврат средств, всего	2157	10141	19220	20667	18866	16127	10393	3248	-	-	100820
Эффект от проведенных мероприятий (с учётом прогноза инфляции, роста цен на энергоносители и заработной платы)	1358	5579	11053	14747	16521	18492	20679	23105	25797	28781	166112

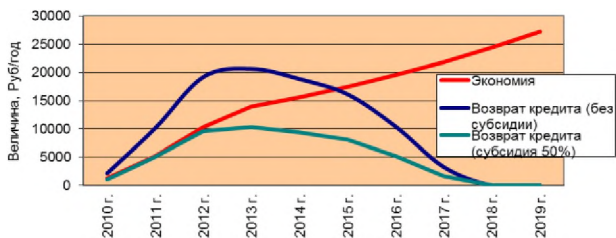


Рис. 4.46. Оценка средств на обслуживание кредита и экономии от мероприятий

Как видно из приведённых данных, экономия от модернизации будет превышать стоимость обслуживания кредита только на пятый год выполнения программы. Но при частичном субсидировании программы модернизации из бюджетных средств экономия будет полностью компенсировать затраты на обслуживание заёмных средств.

Далее для рассматриваемых проектов приведены денежные потоки в течении времени выполнения инвестиционного проекта (рис. 4.47 и 4.48).

Для себестоимости были определены два показателя – без инвестиционной составляющей (суммы возврата кредита) и полная, включающая затраты на обслуживание заёмных средств. Сравнение себестоимости в ценах базового 2010 г. (рис. 4.47) позволяет оценить потенциальную эффективность модернизации. Сравнение себестоимости теплоты в ценах расчётного года (рис. 4.48) позволяет оценить реальную экономию в сравнении с работой предприятия без проведения модернизации.

Как видно из полученных данных, себестоимость теплоты даже после проведения модернизации будет расти, но темпы роста будут значительно ниже, чем в старых условиях. После завершения проекта себестоимость тепловой энергии в среднем будет составлять следующую долю от прогнозируемой себестоимости, которая была бы без проведения модернизации:

Алексеевский район.....	74%
Грайворонский район.....	81%
Прохоровский район	73%
Ивнянский район.....	82%
Чернянский район	74%

Следовательно, предлагаемый подход позволяет разрабатывать прогнозный сценарий проектов модернизации теплоснабжающих предприятий с оценкой влияния инвестиций на показатели работы предприятия, выбора необходимых объёмов инвестиций, параметров кредитования, обеспечивающих минимальный рост тарифов.

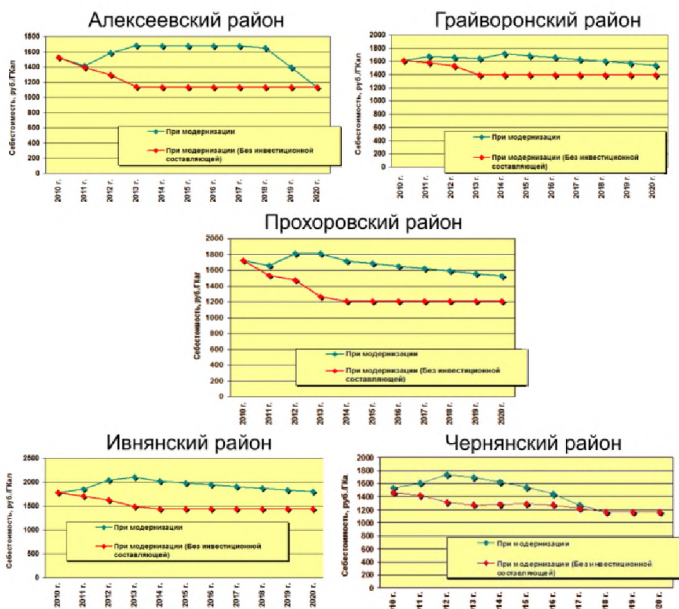


Рис. 4.47. Прогноз себестоимости теплоты в ценах 2010 г.

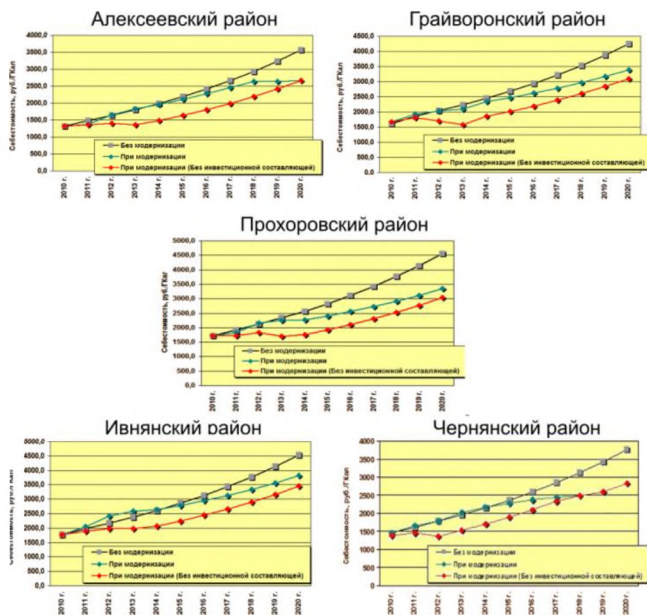


Рис. 4.48. Прогноз себестоимости теплоты в ценах расчётного года

Также методика путём изменения используемых коэффициентов позволяет оценить риски при реализации проектов

При выполнении программы риски могут быть вызваны следующими причинами.

1. Снижение подключённой нагрузки после установки приборов учёта. В этом случае прогноз развития ситуации (рис. 4.49) показывает, что себестоимость будет расти, но относительный эффект от модернизации, то есть разность между себестоимостью в проекте и без него, останется без изменения.

2. Непрогнозируемый рост стоимости энергоносителей. В этом случае себестоимость также будет расти (рис. 4.50), как при выполнении модернизации, так и без неё, но относительные показатели инвестиционного проекта улучшатся.

3. Увеличение кредитной ставки (рис. 4.51) и уменьшение срока кредита (рис. 4.52). В этом случае показатели ухудшатся в первые годы выполнения программы. После снижения оставшейся суммы кредита, с которой выплачиваются проценты, проект вернётся к показателям базового варианта.

Таким образом, анализ показывает, что предлагаемый подход позволяет прогнозировать возможные риски и оценивать их влияние на эффективность проекта.

4.3. ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. В результате выполнения и анализа проектов по переводу бюджетных учреждений на индивидуальное отопление установлено, что значительное влияние на эффект от мероприятий кроме стоимости топлива оказывает степень автоматизации работы оборудования. В себестоимости теплоты, вырабатываемой в котельных малой мощности, обслуживаемых оперативным персоналом, доля заработной платы составляет около половины стоимости теплоты для пиролизного котла и 30% для газовой котельной. Себестоимость теплоты, вырабатываемым пиролизным дровяным котлом, составляет 1544...2954 руб./Гкал, себестоимость теплоты, вырабатываемой газовой транспортабельной котельной установкой составляет 1977 руб./Гкал при её обслуживании отдельным сезонным персоналом или 1414 руб./Гкал при её подключении к системе диспетчеризации районных тепловых сетей. Во всех случаях привлечение кредитных средств или использование механизмов энергосервисных контрактов для модернизации невыгодно, так как значительные капитальные вложения определяют, что суммы, которые необходимо выплачивать ежемесячно для обслуживания заёмных средств, значительно превосходят величину получаемой экономии.

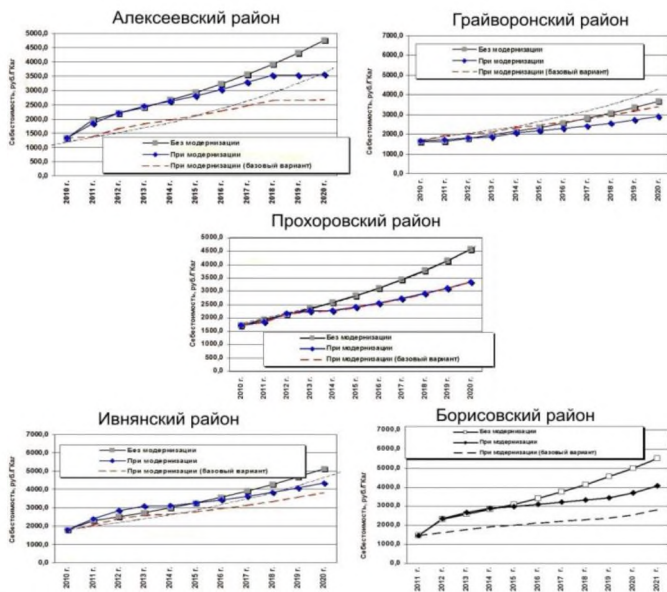


Рис. 4.49. Изменение себестоимости при снижении подклучённой нагрузки

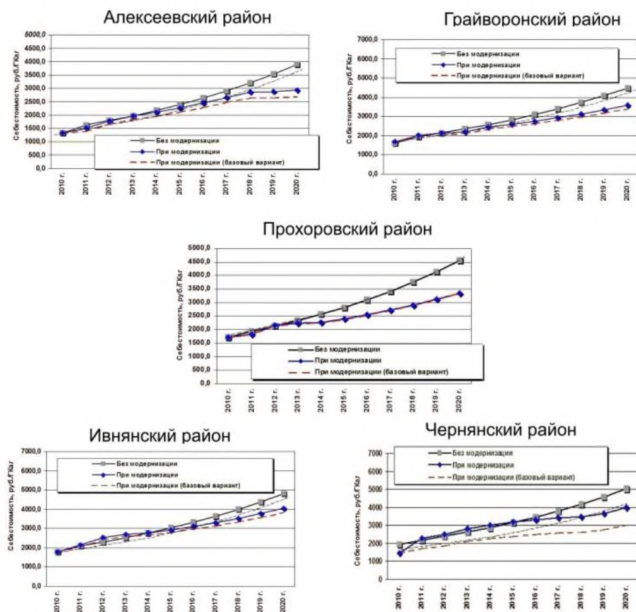


Рис. 4.50. Изменение себестоимости при увеличении темпа роста стоимости энергоносителей в два раза

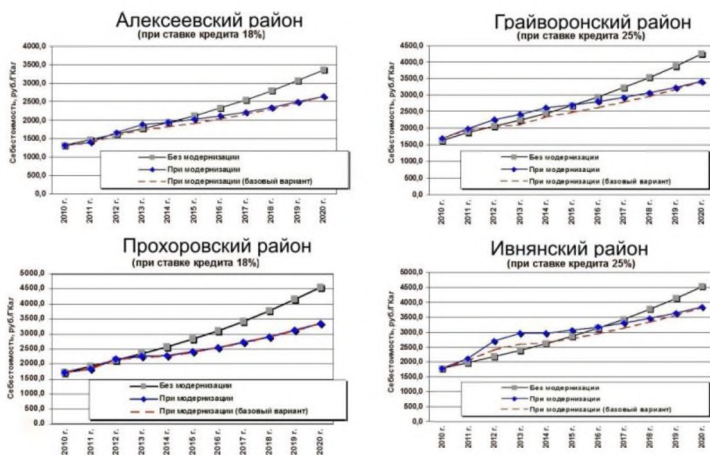


Рис. 4.51. Изменение себестоимости при увеличении ставки кредита до 18 и 25% (базовый вариант – 11,5%)

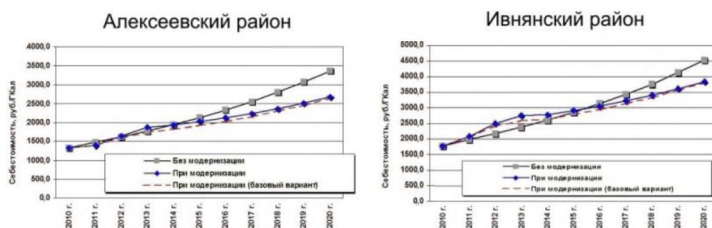


Рис. 4.52. Изменение себестоимости при увеличении срока кредита до 7 лет (базовый вариант – 5 лет)

2. Разработана методика определения теплопроизводительности солнечного коллектора в климатических условиях Белгородской области. Определена удельная теплопроизводительность 1 м^2 поверхности солнечного вакуумного коллектора – 0,835 Гкал в год. Показано, что применение солнечных водонагревательных установок в условиях Белгородской области выгодно только в условиях труднодоступности традиционных источников энергии. При возможности использования газового топлива или централизованного теплоснабжения применение солнечных коллекторов в настоящее время экономически не выгодно.

3. Определены задачи, которые необходимо решить для определения технико-экономических показателей модернизации организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности: а) определение фактической эффективности работы оборудования; б) определение тре-

буемой тепловой мощности котельной; в) определение расхода сетевой воды; г) оценка изменения энергопотребления и других затрат на выработку теплоты; д) долгосрочный прогноз себестоимости теплоты с учётом изменения стоимости энергоносителей и других статей затрат, оценка экономической эффективности проекта и его рисков.

Установлено, что определённый несколькими альтернативными способами фактический КПД котлов, которые подлежат замене, довольно высок и составляет 70-95%. Это показывает невысокий потенциал экономии топлива даже при модернизации устаревших котлов. Для электроэнергии потенциал экономии может составлять до 40-80% из-за отсутствия регулирования тягодутьевого и насосного оборудования.

Для оценки необходимой мощности котельных предлагается использовать прогнозируемое значение теплотребления при температуре наружного воздуха, соответствующей температуре наиболее холодной пятидневки, определяемое по графику фактической отопительной нагрузки (зависимости отпуска теплоты от температуры наружного воздуха). Анализ показал, что в среднем по всем обследованным котельным прогнозируемая мощность ниже установленной присоединённой нагрузки на 8%, но в ряде случаев она превышает установленную мощность на величину до 130-182%. Таким образом, при выборе оборудования котельных с использованием только установленной мощности потребителей, могут быть приняты неправильные проектные решения.

Расход воды для выбора сетевых насосов предлагается определять согласно тепловой нагрузке и температурному графику тепловой сети.

4. В результате расчётов получена величина экономии от 46,8 руб./Гкал до 373,5 руб./Гкал, в том числе: от снижения расхода топлива от 41,0 до 222 руб./Гкал; от снижения расхода электроэнергии от 40 до 266,2 руб./Гкал; от диспетчеризации от отсутствия экономии до 164,4 руб./Гкал. Таким образом, для разных теплоснабжающих организаций структура экономии и величина снижения себестоимости индивидуальны.

5. Для оценки эффективности проектов в организациях, осуществляющих регулируемые виды деятельности, стандартные методы экономического анализа применяться не могут, так как стоимость продукции определяет регулирующий орган на основании фактических производимых затрат, и затраты на модернизацию включаются в тарифы в виде инвестиционной составляющей. Кроме экономической составляющей эффективность модернизации теплоснабжающих организаций должна обеспечивать отсутствие дополнительной финансовой нагрузки для потребителей.

Основные составляющие денежных потоков – стоимость энергоносителей, заработная плата, а также инфляция имеют значительно отли-

чающийся рост, что не позволяет их усреднить в единой ставке дисконтирования, так как это приведёт к не полной предсказуемости конечного результата. Для анализа вместо метода дисконтирования предлагается использовать прогнозирование величины себестоимости вырабатываемой теплоты в ценах расчётного периода, то есть без приведения денежных потоков к единой базе.

Предлагаемый подход позволяет разрабатывать прогнозный сценарий проектов модернизации теплоснабжающих предприятий с оценкой влияния инвестиций на показатели работы предприятия, выбора необходимых объёмов инвестиций, параметров кредитования, обеспечивающих минимальный рост тарифов на тепловую энергию, не превышающую величину инфляции.

Преимущества предложенного метода следующие:

- возможность дифференцировать изменение (рост) стоимости каждой статьи затрат, в том числе различных энергоресурсов;
- возможность варьировать коэффициенты изменения стоимости в разные периоды (годы);
- возможность долгосрочного прогнозирования развития предприятий и регионов с использованием актуальных объёмов денежных средств на будущие годы;
- прогнозировать возможные риски путём изменения используемых коэффициентов и оценивать их влияние на эффективность проекта.

5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании результатов измерения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий и в сертифицированных климатических камерах установлено, что для большей части конструктивных и теплоизолирующих материалов фактическая теплопроводность ниже расчетной (согласно СП 50.1330.2024, прил. М), среднее отклонение для разных типов конструкций составляет от 26% до 49%. Наименьшее отклонение фактического сопротивления от расчетного имеют сплошные конструкции, наибольшее – ограждающие конструкции с утеплителем.

2. Установлено, что теплозащита стеклопакета 4М1-16-4М1 с энергосберегающей керамической плёнкой в среднем на 34% выше, чем аналогичного стеклопакета без плёнки. Снижение температуры в помещениях, оконные блоки которых оборудованы энергосберегающей плёнкой, в солнечные дни составляет не менее 2°C.

3. На основании анализа энергопотребления бюджетных учреждений г. Белгорода установлено, что энергоэффективность различных учреждений может отличаться в три раза и наиболее эффективное направление повышения энергоэффективности муниципального образования – повышение энергоэффективности зданий.

4. Анализ проектов энергоэффективных зданий класса «А» показал, что на их экономическую эффективность большое влияние оказывает выбор материалов и проектных решений и значительное завышение требований к энергоэффективности зданий не является экономически обоснованным, так как при существенном возрастании стоимости здания снижение расхода энергоресурсов будет незначительным.

5. На основе результатов энергетического обследования МУЗ «Муниципальная городская клиническая больница № 1» показано, что одинаковые энергосберегающие мероприятия для зданий разного конструктивного исполнения и назначения имеют разный срок окупаемости. Установлено, что при внедрении энергосберегающих мероприятий выявляется некое «критическое значение» параметра, характеризующего затраты на мероприятия, при превышении которого наблюдается незначительное снижение энергопотребления. Таким образом, для определения оптимальной структуры инвестиций в энергосберегающие мероприятия необходим дифференцированный подход.

6. Показано, что выбор оптимальной конструкции здания существенно влияет на стоимость его возведения и эксплуатации. Наибольшая экономия наблюдается при высоких затратах на отопление, то есть для северных регионов и дорогого централизованного и электрического отопления.

7. Установлено, что определённый несколькими альтернативными способами фактический КПД котлов районных котельных, которые подлежат замене, довольно высок и составляет 70-95%. Это показывает невысокий потенциал экономии топлива даже при модернизации устаревших котлов. Для электроэнергии потенциал экономии при модернизации котельных может составлять до 40-80% из-за отсутствия регулирования тягодутьевого и насосного оборудования. Для разных теплоснабжающих организаций структура экономии и величина снижения себестоимости индивидуальны.

10. Для оценки эффективности проектов в организациях, осуществляющих регулируемые виды деятельности, вместо метода дисконтирования предлагается использовать прогнозирование величины себестоимости вырабатываемой теплоты в ценах расчётного периода, то есть без приведения денежных потоков к единой базе. Преимущества предложенного метода следующие: возможность дифференцировать изменение (рост) стоимости каждой статьи затрат, в том числе различных энергоресурсов; возможность варьировать коэффициенты изменения стоимости в разные периоды (годы); возможность долгосрочного прогнозирования развития предприятий и регионов с использованием актуальных объёмов денежных средств на будущие годы; прогнозировать возможные риски путём изменения используемых коэффициентов и оценивать их влияние на эффективность проекта; обеспечивающих минимальный рост тарифов на тепловую энергию, не превышающую величину инфляции.

Общий вывод из результатов работы заключается в массовом несоответствии энергоэффективного строительства и капитального ремонта проектным (ожидаемым) значениям, что по результатам работы связано в основном с качеством используемых материалов и несоответствием их теплозащитных свойств заявляемым.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гашо Е.Г., Чехранова О.А.** Оценка динамики и изменения пропорций топливно-энергетического баланса РФ // Промышленная энергетика. – 2023. – №4. – С. 2-9.
2. Энергоэффективность в России: скрытый резерв. Отчёт, подготовленный экспертами Всемирного банка, Международной финансовой корпорации и Центра по эффективному использованию энергии. – М.: ЦЭНЭФ, 2008. – 162 с.
3. Энергетика России. Стратегия развития 2000-2020 гг. (Научное обоснование энергетической политики). – М.: ГУ ИЭС Минэнерго России, 2003. – 800 с.
4. **Гагарин В.Г.** О недостаточной обоснованности повышенных требований к теплозащите наружных стен зданий (Изменения № 3 СНИП II-3-79) // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды (Мат-лы XIX Межд. научн. конф.). – Волгоград: ВГМУ, 2021. – С. 3-12.
5. **Щеклеин С.Е., Шастин А.Г.** К проблеме термодинамической оптимизации тепловой защиты зданий // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 8-9 (172-173). – С. 63-69.
6. Технико-экономическая оценка эффективности энергосберегающих мероприятий при проведении капитального ремонта многоквартирных домов / **В.И. Ливчак, Ю.А. Табунщиков, П.Ю. Туркин, Н.В. Шилкин** // Энергосбережение. – 2009. – № 4. – С.20-25.
7. Пути повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий / **В.Г. Гагарин, В.И. Ливчак, Ю.А. Табунщиков, Н.В. Шилкин** // АВОК. – 2009. – № 5. – С. 38-47.
8. **Филиппов А.М.** Класс энергоэффективности жилых зданий: теория и практика / Энергосбережение. – 2011. – № 4. – С. 23-28.
9. **Крышов С.И., Курилюк И.С.** Опыт ГБУ «ЦЭИИС» по экспериментальной оценке эффективности энергосберегающих мероприятий в жилых и общественных зданиях // М-ры семинара «Анализ и прогноз развития отраслей топливно-энергетического комплекса» (семинар А.С. Некрасова). – М.: ИПН, 2015. – С. 20-36.
10. **Корниенко С.В.** Несоответствие классов энергоэффективности проектируемых и эксплуатируемых зданий // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2018. – № 6(84). – С. 18-23.
11. **Гашо Е.Г., Фокин А.М., Шукин А.А.** Анализ фактических тепловых параметров зданий жилого фонда Москвы в условиях реальной эксплуатации // Энергосбережение. – 2024. – № 7. – С. 14-18.
12. **Горшков А.С., Ливчак В.И.** История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015.– № 3 (30). – С. 7-37.
13. **Богословский В.Н.** Строительная теплофизика: теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Изд. 3-е. – СПб.: АВОК Северо-Запад, 2006. – 399 с.
14. **Ильинский В.М.** Строительная теплофизика. Ограждающие конструкции и микроклимат зданий. – М.: Высш. школа, 1974. – 319 с.
15. **Лыков А.В.** Теоретические основы строительной теплофизики. – Минск: Изд-во Акад. наук БССР, 1961. – 519 с.

16. **Малявина Е.Г.** Теплопотери здания: Справочное пособие; 2-е изд., испр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2011. – 141 с.
17. АВОК-8-2007. Руководство по расчёту теплопотребления эксплуатируемых жилых зданий. / **В. И. Ливчак, Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач** и др. – М.: АВОК-Пресс, 2007. – 22 с.
18. **Табунщиков Ю.А., Бродач М.М.** Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
19. **Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В.** Энергоэффективные здания. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 192 с.
20. Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Учебник для вузов / **В.М. Гусев, Н.И. Ковалев, В.П. Попов, В.А. Потрошков**; под ред. В.М. Гусева. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд, 1981. – 343 с.
21. **Фокин К.Ф.** Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
22. **Шкловер А.М., Васильев Б.Ф., Ушков Ф.В.** Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий. – М.: Госстройиздат, 1956. – 350 с.
23. Свод правил СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (утв. пр. Минстроя России от 14.05.2024 г. N 327/пр).
24. Свод правил СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты (утв. приказом Минстроя России от 14.11.2017 г. N 1539/пр; с изм. № 1, утв. приказом Минстроя России от 31.10.2019 г. N 664/пр; изм. № 2, утв. приказом Минстроя России от 23.12.2022 г. N 1117/пр).
25. **Стенников В.А.** Проблемы развития теплового хозяйства России и пути их решения. – М.: ИНП РАН. – 2008. – 98 с.
26. **Гашо Е.Г.** Рационализация коммунального теплоснабжения: Территориальный опыт создания и тиражирования объектов энергоэффективности и энергосбережения // Новости теплоснабжения. – 2003. – № 5. – С. 44-49.
27. **Гашо Е.Г.** Степень централизации, распределённость и пути рационализации теплоэнергетической нагрузки территориальных промышленных узлов в России // Вестник МЭИ. – 2003. – № 4. – С. 34-39.
28. **Гашо Е.Г., Коваль А.В., Постельник М.И.** Комплексный подход и логистика территориального энергохозяйства: единство технических, организационно-экономических и информационных решений: Мат-лы открытого 49-го семинара "Экономические проблемы энергетического комплекса (семинар им. А.С. Некрасова). – М.: Изд-во ИНП РАН, 2004. – 152 с.
29. **Гагарин В.Г.** Экономические аспекты повышения теплосащиты ограждающих конструкций зданий в условиях «рыночной экономики» // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 1. – С. 3-12.
30. **Матросов Ю.А.** Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути её решения. – М.: НИИСФ, 2008. – 495 с.
31. **Гагарин В.Г.** Нормирование теплосащиты и потребления энергии в зданиях // М-ры семинара «Анализ и прогноз развития отраслей топливно-энергетического комплекса» (семинар А.С. Некрасова). – М.: ИПН, 2015. – С. 4-15.

32. **Матросов Ю.А.** Регионы России переходят на энергетический принцип проектирования и строительства зданий // Энергосбережение. – 2002. – № 2. – С. 44-47.

33. **Бочарников Д.А.** Особенности расчёта класса энергетической эффективности зданий по российским и финским стандартам // Светопрозрачные конструкции. – 2011. – С. 40-42.

34. **Матросов Ю.А.** Система нормативных документов по энергетической эффективности зданий // Энергосбережение. – 2004. – № 1. – С. 72-76.

35. ТСН 23-310-2000 Белгородской области. Энергетическая эффективность в жилых и общественных зданиях. Нормативы по теплозащите зданий. – Белгород, 2000. – 30 с.

36. Сертификация энергетической эффективности зданий. Анализ передового европейского и международного опыта и рекомендации для Беларуси / Сост. О.О. Кудревич – Минск: Департамент по энергоэффективности Госстандарта РБ, 2014. – 59 с.

37. **Матросов Ю.А.** Сравнительный анализ новых территориальных норм России по энергетической эффективности жилых зданий и нового постановления Германии // Энергосбережение. – 2002. – № 3. – С. 40-43.

38. **Гуткин А.** LEED – рейтинговая система для энергоэффективных и экологически чистых зданий // АВОК. – 2008. – № 6. – С. 32-43.

39. **Булгаков С.Н.** Энергоэффективные строительные системы и технологии // АВОК. – 1999. – № 2. – С. 16-13.

40. **Гурьянов Н.С.** Оценка и обеспечение тепловой надёжности наружных стен эксплуатируемых зданий: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.03. – Нижний Новгород: НГАСУ, 2003. – 232 с.

41. **Гагарин В.Г.** Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. – 2010. – № 3. – С. 8-16.

42. **Ливчак В.И.** Повышать ли уровень теплозащиты зданий? Ответ – «да» // АВОК. – 2009. – № 7. – С. 22-29.

43. В защиту отечественного строительства и промышленности строительных материалов / **О.И. Лобов, А.И. Ананьев, П.А. Вязовченко** и др. // Строительный эксперт. – 2001. – № 10 (101). – С. 4-5; № 11 (102). – С. 10-11.

44. **Гагарин В.Г.** Вентилируемые фасады. О некоторых теплотехнических ошибках, допускаемых при проектировании вентилируемых фасадов // АВОК. – 2005. – № 2. – С. 52-58.

45. О нормативных требованиях к тепловой защите зданий / **В.М. Бондаренко, Л.С. Ляхович, В.Р. Хлевчук** и др. // Строительные материалы. – 2001. – № 12. – С. 2-8.

46. **Перехоженцев А.Г.** О необходимости корректировки СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. – 2009. – № 11. – С. 2-6.

47. **Васильев Г.П., Колесова М.В.** Экономически и экологически целесообразный уровень теплозащиты зданий // Вестник МГСУ. – 2011. – № 8. – С. 293-302.

48. **Ярцев В.П., Мамонтов А.А., Мамонтов С.А.** Эксплуатационные свойства и долговечность теплоизоляционных материалов (минеральной ваты и пенополистирола) // Кровельные и теплоизоляционные материалы. – 2013. – № 1. – С. 8-11.

49. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Цыкановский Е.Ю. Теплозащита фасадов с вентилируемым воздушным зазором // АВОК. 2004. – Часть 1: № 2. – С. 20-26; Часть 2: № 3. – С. 20-27.

50. Козлов В.В. Влияние тарельчатого дюбеля на теплофизические свойства фасадной теплоизоляционной системы с наружным штукатурным слоем // СтройПРОФИЛЬ. – 2009. – №3 (73). – С. 28-31.

51. Машенков А.Н., Чебурканова Е.В. Проблемы пожарной безопасности навесных вентилируемых фасадов // АВОК. – 2007. – № 8. – С. 32-41.

52. Дамдинов Ц.Д. Оптимизация слоистых стеновых конструкции для повышения их теплозащитных свойств. Дисс ... канд. техн. наук: 05.23.01. – Улан-Удэ: ВСГТУ, 2002. – 133 с.

53. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина. – 4-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МЭИ, 2022. – 564 с. (серия «Теплоэнергетика и теплотехника»; Кн. 2).

54. ГОСТ 26602.1-2023. Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче. – М.: Стандартинформ, 2023. – 17 с.

55. Ушков Ф.В. Лабораторные теплотехнические испытания сборных железобетонных стен жилого дома // Материалы и конструкции в современной архитектуре. – № 4. – М.: Архиздат, 1949. – С. 36-45.

56. Васильев Б.Ф. Натурные исследования температурно-влажностного режима жилых зданий. – М.: Стройиздат, 1957. – 204 с.

57. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: ИД Спектр, 2013. – 542 с.

58. ВЕМО 04.00.00.000 ДМ. Методика диагностики и энергетических обследований наружных ограждающих конструкций строительных сооружений тепловизионным бесконтактным методом (с изм. 15-2004 ИИ); Св. атт.№ 09/442-2001.* ФР.1.32.2006.02.657. – М.: ВЕМО, 2001. – 46 с.

59. Вавилов В.П. Пессимистический аспект тепловизионного энергоаудита строительных сооружений // Дефектоскопия. – 2010. – № 12. – С. 49-54.

60. Вавилов В.П., Лариошина И.А. Методические погрешности тепловизионного энергоаудита строительных сооружений // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 5 (6). – С. 49-53.

61. Гашо Е.Г., Козлов С.А., Кожевников В.П. О некоторых способах повышения эффективности теплоснабжения: регулирование или автономное отопление? // Новости теплоснабжения. – 2007. – № 2. – С. 17-22.

62. Михеев Д.А., Ермилова Е.С. Однородность наружных ограждающих конструкций // Сб. материалов XXV регион. науч.-техн. конф. – Красноярск: СФУ, 2007. – С. 273-276.

63. Михеев Д.А. Повышение тепловой эффективности наружных стеновых ограждений на основе анализа тепловизионных исследований: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – Красноярск: СФУ, 2010. – 226 с.

64. Бегдай С.Н. Повышение тепловой эффективности одноэтажных зданий с гелиоколлектором: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03. – Волгоград: ВГАСУ, 2008. – 12 с.

65. Энергетическая стратегия России до 2035 года. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. URL: http://www.minenergo.gov.ru/upload/iblock/5b5/energeticheskaya-strategiya-2035_22.pdf.

66. Некрасов А.С., Воронина С.А., Семикашев В.В. Проблемы обеспечения населения России тепловой энергией // Проблемы прогнозирования. – 2012. – № 2. – С. 24-33.

67. Современное состояние теплоснабжения России / А.С. Некрасов, Ю.В. Синяк, С.А. Воронина, В.В. Семикашев / Проблемы прогнозирования. – 2011. – № 1. – С. 30-43.

68. Гашо Е.Г. Особенности развития и проблемы повышения эффективности систем энергообеспечения городов // Новости теплоснабжения. – 2007. – № 11. – С. 27-32.

69. Башмаков И.А. Повышение энергоэффективности в системах теплоснабжения. Часть 1. Проблемы российских систем теплоснабжения // Энергосбережение. – 2010. – № 2. – С. 46-51.

70. Целевая программа «Энергосбережение и повышение энергоэффективности городского округа «город Белгород» на 2010–2015 г.» // Разр. В.Н. Коваль, О.В. Веревкин, П.А. Трубаев. – Белгород, 2009. – 53 с.

71. Некрасов А.С., Синяк Ю.В., Воронина С.А. Перспективы развития теплоснабжения России // Проблемы прогнозирования. – 2011. – № 2. – С.37-54.

72. Гашо Е.Г. Особенности проведения работ по энергосбережению в распределённых системах теплоснабжения городов // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2008. – № 1. – С. 60-64.

73. Некрасов А.С., Воронина С.А. Состояние и перспективы теплоснабжения России // Энергетик. – 2004. – № 10. – С. 2-12.

74. Некрасов А.С., Семикашев В.В. Затраты на энергию в российских домашних хозяйствах // Экономический журнал ВШЭ. – 2006. – № 3. – С. 448-470.

75. Бухин В.Е. Предварительно изолированные трубопроводы для систем централизованного теплоснабжения // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 3. – С. 25-31.

76. Майзель И.Л., Булыгин Г.В. Применение предизолированных пенополиуретаном труб для теплоснабжения // Строительные материалы. – 2006. – № 1. – С. 57-59.

77. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. Утверждено распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 июня 2020 г. № 1523-р.

78. Теплоснабжение Российской Федерации. Пути выхода из кризиса: Национальный доклад. Книга 1. Реформа системы теплоснабжения и теплопотребления РФ. / Б.Ф. Реутов, А.Л. Наумов, В.Г. Семенов и др. – М.: РУСДЕМ-Энергоэффект, 2002. – 141 с.

79. Байдаков С.Л., Гашо Е.Г., Анохин С.М. ЖКХ России. – М. [б.и], 2004. – 157 с.

80. Семенов Б.А. Оптимизация параметров теплоиспользования в системах централизованного теплоснабжения городов: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.01. – Саратов: СГТУ, 2002. – 527 с.

81. Протасевич А.М. Энергосбережение в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. – Минск: Новое знание, 2013. – 286 с.

82. Экономическая эффективность энергосбережения в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Учебное пособие / А.И. Еремкин, Т.И. Королева, Г.В. Данилин и др. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 184 с.

83. Энергосбережение в ЖКХ: Учебно-практическое пособие / **Б.В. Башкин, А.Н. Брынцев, В.Л. Быков** и др.; Под ред. **Л.В. Примака, Л.Н. Чернышова**. – М.: Академический проект, 2020. – 622 с.

84. Перспективы централизованного отопления // Информационный промышленный вестник. – 2005. – № 4. – С. 40-42.

85. **Жила В.А., Маркевич Ю.Г.** Анализ перспективных систем теплоснабжения // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2003. – № 7. – С. 28-30.

86. **Автономов А.Б.** Положение в области систем централизованного теплоснабжения в странах Центральной и Восточной Европы // Электрические станции. – 2004. – № 7. – С. 66-69.

87. **Пузаков В.С.** О комбинированной выработке тепла и электроэнергии в странах Европейского союза // Новости теплоснабжения. – 2006. – № 6. – С. 18-26.

88. Методические указания по расчету регулируемых цен (тарифов) в сфере теплоснабжения (утв. Приказом ФСТ от 13 июня 2013 г. N 760-э).

89. Теплоснабжение / **А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов, В.Н. Братенков, Е.Н. Терлецкая**; под ред. А.А. Иониной. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

90. **Ковалев И.Н.** Особенности оценки экономической эффективности долгосрочных инвестиций в энергосберегающие мероприятия // Энергосбережение. – 2013. – № 2. – С. 52-58.

91. **Теличенко В.И., Гогина Е.С.** Комплексный подход к проведению энергоэффективной модернизации жилых зданий и систем теплоснабжения // Градостроительство. – 2012. – № 2 (18). – С. 72-74.

92. **Шайтар В.И.** Малая котельная – большой результат // С.О.К. (Сантехника. Отопление. Кондиционирование. Энергосбережение). – 2014. – № 6. URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/malaya-kotel-naya-bol-shoy-rezul-tat>.

93. **Картышев А.М.** Оценка экономической эффективности модернизации котлов НР-18 и ЗИО-60 // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 4. – С. 25-27.

94. **Гагарин В.Г.** Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // АВОК. – 2009: часть 1: № 1. – С. 10-16; часть 2: № 2. – С. 14-23; часть 3: № 3. – С. 62-66.

95. РД 153-34.1-09.321-2002. Методика экспресс-оценки экономической эффективности энергосберегающих мероприятий на ТЭС. – М.: СПО ОРГРЭС, 2003. – 71 с.

96. **Табунщиков Ю.А., Ковалев И.Н., Гегуева Е.О.** Основные принципы оценки экономической эффективности средств энергосбережения зданий // АВОК. – 2004. – № 5. – С. 36-47.

97. **Табунщиков Ю.А., Ковалев И.Н., Гегуева Е.О.** Оценка экономической эффективности инвестиционных средств энергосберегающих зданий // АВОК. – 2004. – № 7. – С. 36-40.

98. **Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В.** Оценка экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия // АВОК. – 2005. – № 7. – С. 10-21.

99. **Богуславский Л.Д.** Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции. – М.: Стройиздат, 1985. – 336 с.

100. **Богуславский Л.Д.** Экономия теплоты в жилых зданиях. 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1990. – 119 с.

101. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справ. пособие / **Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П. Титов** и др.; Под ред. Л.Д. Богуславского и В.И. Ливчака. – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.
102. **Ливчак И.Ф., Наумов А.Л.** Регулируемая вентиляция жилых многоэтажных зданий // АВОК. – 2004. – № 5. – С. 8-11.
103. **Бузова И.А., Маховика Г.А. Терехова В.В.** Коммерческая оценка инвестиций. – СПб.: Питер, 2003. – 432 с.
104. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция) / Под ред. В.В.Косова, В.Н. Лившица, А.Г. Шахназарова. – М.: Экономика, 2000. – 421 с.
105. Анализ сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций различного типа по результатам инструментальных измерений / **П.Н. Тарасюк, Д.А. Ващенко, П.А. Трубаев, В.В. Радченко** // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 2. – С. 142–147.
106. **Нестерук Д.А., Вавилов В.П.** Тепловой контроль и диагностика: Учебное пособие. – Томск: ТПУ, 2010. – 112 с.
107. Тепловые методы технической диагностики строительных материалов и изделий / **В.Н. Чернышов, В.Г. Однолько, А.В. Чернышов, В.М. Фокин**. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 208 с.
108. **Фокин В.М.** Теоретические основы оптимизации теплотехнических характеристик ограждающих конструкций. – Волгоград: ВолгГАСА, 2003. – 139 с.
109. **Фокин В.М., Бойков Г.П.** Основы строительной теплофизики. – Волгоград: ВолгГАСА, 2007. – 66 с.
110. **Фокин В.М., Бойков Г.П., Видин Ю.В.** Основы энергосбережения в вопросах теплообмена. – М.: Машиностроение-1, 2005. – 190 с.
111. **Gardek H.** Berechnung des Wandwärmeverlustes von Drehofen und muelhen. Teil 2. / H. Gardek, H. Ludwig // ZKG. – 1985. – № 3. – P. 144-149.
112. **Larose D.T.** Data mining methods and models. – Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons, 2006. – 322 p.
113. **Maldague X.** Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2001. – 684 p.
114. ГОСТ Р 56623-2015 Контроль неразрушающий. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. – М.: СтандартИнформ, 2016. – 16 с.
115. **Дёгтев И.А., Лаврик Г.И.** Малоэтажное эколого-экономичное жилище для массового строительства в условиях Белгородчины // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2008. – № 1. – С. 32-34.
116. Teaching Students About Two-Dimensional Heat Transfer Effects in Buildings, Building Components, Equipment, and Appliances Using THERM 2.0. / **C. Huizenga, D. K. Arasteh, E. Finlayson et al.** // ASHRAE Transactions. – 1999. – 105(2). – P. 488-502.
117. THERM 8: Program Description/ **C. Kohler, C. Curcija, R. Mitchell et al.** – Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2024. – 49 p.

118. **Борискина И.В., Плотников А.А., Захаров А.В.** Проектирование современных оконных систем гражданских зданий. – К.: Изд. Домашевская О.А., 2005. – 320 с.
119. **Абдурафиков Р.Н., Спиридонов А.В.** Как оценивать энергоэффективные окна // Энергосбережение. – 2013. – № 8. – С. 28-31.
120. **Спиридонов А.В.** Выгодно ли устанавливать энергосберегающие окна? // Энергосбережение. – 2013. – № 3. – С. 62-67.
121. **Спиридонов А.В.** Тенденции развития российского рынка светопрозрачных конструкций // Энергосбережение. – 2012. – №8. – С. 61-67.
122. **Шубин И.Л., Спиридонов А.В.** Проблемы энергосбережения в российской строительной отрасли // Энергосбережение. – 2013. – № 1. – С. 15-21.
123. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стандартинформ, 2013. – 12 с.
124. **Табунщиков Ю.А., Чернов В.А.** Совершенствование теплоизоляции световых проёмов зданий (в условиях Крайнего Севера) // Тепловой режим, теплоизоляция и долговечность зданий: Сб. тр. – М.: НИИСФ, 1981. – С. 5-7.
125. **Корепанов Е.В.** Сопротивление теплопередаче окна с двойным остеклением при селективном покрытии стёкол // Светопрозрачные конструкции. – 2008. – №3. – С. 61-64.
126. Ведомственная целевая подпрограмма «Энергосбережение на объектах образовательных учреждений города Белгорода на 2010-2015 годы» // Разр. **В.Н. Коваль, О.В. Вережкин, П.А. Трубаев** и др. – Белгород, 2009. – 38 с.
127. **Трубаев П.А., Ширриме К.Ж.** Анализ показателей энергоэффективности образовательных учреждений // Промышленная энергетика. – 2015. – № 3. – С. 6-11.
128. **Бочарников Д.А.** Анализ методик оценки энергоэффективности зданий; Российские и Финские нормативы // Вестник МГСУ. – 2011. – №7 – С. 46-49.
129. **Бочарников Д.А.** Оценка экологической безопасности эксплуатируемых жилых зданий с учётом факторов энергосбережения // Вестник СПбГАСУ. – 2013. – №5. – С. 144-146.
130. **Бочарников Д.А.** Анализ оценки теплопотерь здания // Сб. докл. 60-й Межд. научно-техн. конф. – СПб.: СПбГАСУ 2007. – С. 168-169.
131. **Бочарников Д.А.** Тепловизионное обследование ограждающих конструкций зданий и сооружений // Сб. докл. 60-й Межд. научно-техн. конф. – СПб.: СПбГАСУ, 2007. – С. 108-111.
132. **Миллер Ю.В.** Эффективность энергосберегающих мероприятий при рассмотрении здания как единой энергетической системы // Энергосбережение. – 2014. – № 1. – С. 36-39.
133. **Табунщиков Ю.А.** В поисках истины // АВОК. – 2014. – № 6. – С. 4-9.
134. **Ames W.M.** Nonlinear partial differential equations in engineering. – N.Y.: Academic Press, 2016. – 526 p.
135. **Семенова Э.Е., Думанова В.С.** Повышение энергоэффективности эксплуатируемых зданий // Инженерно-строительный Вестник Прикаспия. – 2020. – № 2(32). – С. 72-75.
136. **Ковалева А.А., Наумович Ю.И.** Повышение энергоэффективности зданий при реконструкции // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 1. – С. 129-132.

137. Thermoeconomic model of a building's thermal protection envelope and heating system / **D. Avsyukevich, E. Shishkin, N. Litvinova, A. Mirgorodskiy** // Magazine of Civil Engineering. – 2022. – No 5(113). – P. 11302.

138. Выявление основных дефектов теплотехнической защиты наружных ограждающих конструкций крупнопанельных зданий и определение наиболее эффективных методов их устранения / **Л.В. Косарев, П.Ю. Кузнецов, Н.Ю. Болдырев** и др. // Инновации и инвестиции. – 2021. – № 5. – С. 213-216.

139. **Гагарин В.Г., Дмитриев К.А.** Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 14-16.

140. **Малявина Е.Г., Фролова А.А.** Энергетическая и экономическая оценка теплозащиты офисного здания // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 8. – С. 64-69.

141. Разработка мероприятий обеспечивающих эффективную работу теплотехнической защиты ограждающих конструкций жилого дома / **Л.В. Косарев, В.И. Вавилов, Н.Ю. Болдырев** и др. // Инновации и инвестиции. – 2021. – № 12. – С. 189-192.

142. **Трубаев П.А., Гришко Б.М.** Анализ энергоэффективности зданий после капитального ремонта // Энергетические системы. – 2016. – № 1. – С. 161-168.

143. **Kirimtat A., Krejcar O.** A review of infrared thermography for the investigation of building envelopes: Advances and prospects // Energy and Buildings. – 2018. – Vol. 176. – P. 390–406.

144. **Lucchi E.** Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Vol. 82. – P. 3077-3090.

145. **El Masri Y., Rakha T.** A scoping review of non-destructive testing (NDT) techniques in building performance diagnostic inspections // Construction and Building Materials. – 2020. – Vol. 265. – P. 120542.

146. Quantification of heat energy losses through the building envelope: A state-of-the-art analysis with critical and comprehensive review on infrared thermography / **I. Nardi, T. De Rubeis, D. Ambrosini, E. Lucchi** // Building and Environment. – 2018. – Vol. 146. – P. 190-205.

147. In situ methodology for thermal performance evaluation of building wall: A review / **Y. Yang, Z. Chen, Wu.T. Vogt** et al. // International Journal of Thermal Sciences. – 2022. 107687.

148. Свод правил СП 23-101-2004. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование тепловой защиты зданий. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 139 с.

149. Свод правил СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (утв. пр. Минрегиона России от 30.06.2012 г. № 265; с изм. № 1, внес. пр. Минстроя России от 14.12.2018 г. № 807/пр; изм. № 2, внес. пр. Минстроя России от 15.12.2021 № 945/пр).

150. **Гашо Е.Г.** Применение функционально-диссипативного подхода к рационализации энергопотребления распределённых объектов и систем теплоэнергоснабжения. – М.: МЭИ(ТУ), 2004. – 50 с.

151. **Грановский В.Л.** Энергоэффективные системы отопления: тенденции, практика, проблемы // АВОК. – 2011. – № 8. – С. 40-44.

152. **Захарьин Е.Н.** Долговечность экструзионного пенополистирола. Оценка и прогнозирование теплопроводности. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. – Красноярск: СФУ, 2011. – 22 с.

153. Теплоизоляционные материалы и конструкции. Учебное пособие. / **Ю.Л. Бобров, Е.Г. Овчаренко, Б.М. Шойхет, Е.Ю. Петухова.** – М.: ИНФРА-М, 2024. – 266 с.

154. **Ярцев В.П.** Эксплуатационные свойства и долговечность теплоизоляционных материалов // Кровельные и изоляционные материалы. – 2013. – № 1. – С. 8-11.

155. **Ярцев В.П., Дорофеев А.М.** Влияние силовых и атмосферных воздействий на теплофизические характеристики минераловатных плит // Кровельные и изоляционные материалы. – 2010. – № 4. – С. 14-15.

156. Свод правил СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99* (утв. приказом Минстроя России от 24 декабря 2020 г. № 859/пр; с изм. № 1, утв. приказом Минстроя России от 30 мая 2022 г. № 430/пр; № 2, утв. приказом Минстроя России от 30 июня 2023 г. № 469/пр).

157. МДС 13-7.2000. Рекомендации по первоочередным малозатратным мероприятиям, обеспечивающим энергоресурсосбережение в ЖКХ города. Разр. АКХ им. К.Д. Панфилова. Утв. приказом Госстроя РФ от 17 января 2000 г. № 5.

158. **Шилкин Н.В.** Экономические аспекты внедрения индивидуальных тепловых пунктов // Энергосбережение. – 2007. – № 3. – С. 12-15.

159. Методические рекомендации по расчету эффектов от реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности: Справочно-аналитический документ; под общ. ред. **Е.Г. Гашо.** – М.: АЦ при Правительстве РФ, 2016. – 56 с.

160. Практическое пособие по повышению энергетической эффективности многоквартирных домов (МКД) при капитальном ремонте. Том I. – М.: ГК Фонд Содействия Реформированию ЖКХ, ОАО «Инсолар-инвест»), 2015. – 89 с.

161. Энергосбережение в жилищном фонде: проблемы, практика и перспективы. – М.: Депа, Фонд «Институт экономики города», 2004. – 108 с.

162. Практические результаты установки ИТП в типовом 9-этажном 4-подъездном панельном доме. URL: <http://dom-pogoda.ru/automation/primer-ekonomicheskogo-effekta-raboty> (дата обращения 10.11.2018 г.).

163. **Бутузов В.А.** Анализ опыта разработки и эксплуатации гелиоустановок в Краснодарском крае // Энергетическая эффективность. Бюллетень ЦЭНЭФ. – 2002. – № 34. – С. 17-21.

164. **Попель О.С.** Перспективы развития возобновляемых источников энергии для локального энергосбережения // Атомная энергия. – 2011. – № 5. – С. 304-307.

165. **Попель О.С.** Эффективность применения солнечных водонагревателей в климатических условиях средней полосы России // Энергосбережение. – 2001. – № 1. – С. 30-33.

166. **Попель О.С., Фрид С.Е.** Показатели солнечной водонагревательной установки в климатических условиях различных регионов России // Энергосбережение. – 2002. – №4. – С. 64-67.

167. Таблица показаний теплосчётчика в тестовой системе солнечного отопления в период с 10.02.2011г., состоящей из 2-х солнечных коллекторов по 20 термотрубок на широте 57, Ярославской области [Электронный документ]. URL: https://all-power.ru/uploads/user_upload/GELIO/testovaja_sistema/Tablica.doc (дата обр. 01.10.2024 г.)

168. **Огнева К.И., Лебедева Е.А.** Использование солнечной энергии с целью замещения органического топлива // Материалы V Межд. студ. электронной научной конф. «Студенческий научный форум» [Электронный документ]. URL: <http://www.scienceforum.ru/2013/59/2467> (дата обр. 01.10.2024 г.).

169. **Харченко Н.В.** Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.

170. **Гашо Е.Г., Тихоненко Ю.Ф.** Развенчивая мифы: энергосбережение // Промышленный вестник Карелии. – 2009. – № 7. – С. 12-14.

171. **Васильев А.В.** Опыт оптимальной организации водно-химического режима отопительных котельных малой и средней мощности // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 4. – С. 50-52.

172. **Майзель И.Л., Петров-Денисов В.Г.** Ещё раз об экономической и технической целесообразности применения труб пенополиуретановой изоляции для теплоснабжения // Новости теплоснабжения. – 2001. – № 4. – С. 18-20.

173. **Трембовля В.И., Фигнер Е.Д., Авдеева А.А.** Теплотехнические испытания котельных установок / 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 416 с.

174. **Янкелевич В.И.** Наладка газомазутных промышленных котельных. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 216 с.

175. **Козлов М., Чистяков А.** Эффективность внедрения систем с частотно-регулируемыми приводами // Современные технологии автоматизации. – 2001. – № 1. – С. 76-78.

176. **Куцев Л.А., Дронова Г.Л.** Пути снижения энергозатрат в жилищно-коммунальном хозяйстве // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2008. – № 2. – С. 24-25.

177. Один из вариантов математической модели управления приводом модифицированной системы отопления зданий и сооружений / **Федоров С.С., Кобелев Н.С., Тютюнов Д.Н.** и др. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 3. – С. 25-27.

178. **Трубаев П.А.** Методы автоматизации управления энергоэффективной работой насосов и насосных установок // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2015. – № 2. – С. 142-147.

179. **Некрасов А.С., Воронина С.А.** Состояние и перспективы теплоснабжения в России // Электрические станции. – 2004. – № 5. – С. 2-8.

180. Мониторинг цен на основные ресурсы промпотребления (газ, вода, электроэнергия, тепловая энергия, бензин, дизель). Аналитическая записка [Электронный ресурс] – Белгород: Корпорация развитие, 2013 г. – 14 с. URL: http://belgorodinvest.ru/upload/information_system_18/3/8/3/item_383/informati_on_items_property_178.pdf (дата обр. 15 мая 2018 г.).

Научное издание

Трубаев Павел Алексеевич

АНАЛИЗ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ
И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Монография

Подписано в печать 10.10.24. Формат 60×841/16. Усл. печ. л. 17,9. Уч.-изд. л. 16,9.

Тираж 500 экз. Заказ Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете
им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46