

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова»

На правах рукописи



Свирин Максим Валерьевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОТРЕБНОСТИ В ТЕПЛОВОЙ  
ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ ЖИЛЫХ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ  
ЗДАНИЙ В ПЕРЕХОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА**

2.1.3 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха,  
газоснабжение и освещение

Диссертация на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
кандидат технических наук  
Семенов Артём Сергеевич

Белгород – 2024

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	12
1.1 Обзор развития систем отопления и управления тепловыми режимами .....	12
1.2 Обзор методов и технических средств обеспечения теплоснабжения зданий .....	18
1.3 Характеристика существующих режимов систем теплоснабжения.....	21
1.4 Анализ способов и оборудования автоматизации систем отопления ....	26
1.5 Анализ уровня благоустроенности эксплуатируемых зданий.....	33
1.6 Количественная оценка уровня теплового комфорта. Условия комфортности теплового режима.....	40
1.7 Тепловой комфорт в переходные периоды года.....	49
1.8 Выводы по главе 1 .....	52
ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЯ.....	54
2.1 Описание математической модели.....	54
2.2 Дискретизация уравнения нестационарной теплопроводности .....	56
2.3 Входные параметры для работы математической модели.....	65
2.3.1 Геометрические и теплотехнические характеристики ограждающих конструкций .....	65
2.3.2 Температура наружного воздуха.....	72
2.4 Расчёт температурного поля стены .....	76
2.5 Расчёт показателей уровня теплового комфорта.....	80

2.6 Определение функциональной зависимости удельных бытовых тепловыделений от расчетной заселенности помещения .....	85
2.8 Выводы по главе 2.....	88
<b>ГЛАВА 3 ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ .....</b>	<b>90</b>
3.1 Исследование теплового режима .....	90
3.2 Тепловой комфорт людей разных возрастных групп.....	97
3.3 Оценка теплового комфорта детей.....	100
3.4 Влияние влажности на тепловой комфорт.....	109
3.5 Подтверждение адекватности модели.....	113
3.6 Выводы по главе 3.....	116
<b>ГЛАВА 4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>118</b>
4.1 Расчёт начала периода потребности в тепловой энергии в осеннее межсезонье .....	119
4.2 Методика определения начала периода потребности в тепловой энергии здания.....	124
4.3 Методика определения потребности в теплоте с учетом адаптивных запросов жильцов.....	127
4.4 Примеры применения методик.....	131
4.4.1 Определение температуры начала отопительного сезона здания ..	131
4.4.2 Определение потребности в теплоте с учетом адаптивных требований жильцов .....	136
4.5 Рекомендуемые схемы запуска центрального отопления вне официального отопительного сезона .....	140
4.5 Выводы по главе 4.....	143

ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	145
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	148
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	165
Приложение А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022682711 «Программа для анализа параметров отопительного сезона по архиву климатических данных» .....	165
Приложение Б. Программа для анализа параметров отопительного сезона по архиву климатических данных.....	166
Приложение В. Пример результата расчета девятого этажа многоквартирного дома .....	174
Приложение Г. Пример оформления покомнатного расчета.....	175
Приложение Д. Результаты расчета при температуре наружного воздуха - 1,9°С различных комбинаций заселенности .....	176
Приложение Е. Акт внедрения при выполнении НИР заказчика ООО «Застройщик Белогорья» .....	177
Приложение Ж. Акт внедрения в проектирование компанией ООО «Интелл-Сервис».....	178
Приложение К. Акт о внедрении в учебный процесс .....	179

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность избранной темы.** Проблема создания комфортных условий в жилых помещениях является одной из наиболее значимых и актуальных задач строительства. При этом распространенные в РФ централизованные системы отопления не всегда обеспечивают оптимальные условия для жильцов, что приводит к дискомфорту, низкому качеству труда и отдыха, ухудшению физического и психологического самочувствия людей.

Согласно данным Росстата за 2022 г., централизованным отоплением в Российской Федерации оборудовано 68,1% домохозяйств, из которых 29,2% используют дополнительные источники тепла. Согласно данным ВЦИОМ за 2022-2023 г., качество услуги по предоставлению тепловой энергии на отопление снизилось по мнению 10% респондентов, 61% не заметил изменений. При этом качеством жилищно-коммунальных услуг в той или иной мере недовольны 36% опрошенных.

Дискомфорт устраняется дополнительными источниками тепла, в основном электрообогревателями, которые менее энергоэффективны и приводят к повышенному риску пожаров. Согласно докладу МЧС России за 2022 год, общее число пожаров в жилом секторе составило 43,04%, из них 27,38% - в многоквартирных домах, из-за аварийного режима работы электрического оборудования в зданиях жилого назначения происходят 39,55% пожаров.

Согласно Постановлению Правительства РФ от 06.05.2011 №354, центральное отопление должно быть включено при среднесуточной наружной температуре воздуха ниже 8°C в течение 5 суток подряд. Тем не менее, региональные власти самостоятельно принимают решение о начале и окончании отопительного сезона местными законодательными актами. При этом не получают должного внимания различия в конструктивных особенностях зданий и индивидуальных потребностей жильцов в тепловой энергии, что приводит к нарушению их теплового комфорта.

Работа выполнена в рамках программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова, темы НИР «Системы мониторинга и анализа состояния инженерных систем и тепловоздушного режима эксплуатируемых зданий» (номер регистрации НИР № А-18/22 от 10 января 2022 г.), гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации НШ-25.2022.4 «Разработка научно-технических основ создания передовых технологий совершенствования и конструирования систем аспирации, вентиляции, теплогазоснабжения».

**Степень разработанности темы.** В вопросах повышения эффективности и качества отопления значительный вклад внесли Ливчак В.И., Соколов Е.Я., Зингер Н.М., Сканави А.Н., Туркин В.П., Андрющенко А.И., Богословский В.Н., Белинский С.Я., Табунщиков Ю.А. и др. Изучением способов повышения эффективности управления отоплением зданий занимались Панферов В.И., Табунщиков Ю.А., Шнайдер Д.А., Глухов В.Н., Тверской М.М., Казаринов Л.С., Dounis A.I., Mathews E.H., Fanger P.O. и др. Способы организации комфортного воздушно-теплого режима помещений изучали Богословский В.Н., Васильев Б.Ф., Батурин В.В., Ливчак И.Ф., Лицкевич В.Е., Поз М.Я., Титов В.П., Талиев В.Н. и другие. В области изучения теплового комфорта человека работали Горомосов М.С., Bedford T., Gagge A.P., McNall P.E., Olesen S., Nevins R.G., Fanger P.O. и др.

**Цель исследования** заключается в разработке методики расчета потребности в тепловой энергии на отопление жилых эксплуатируемых зданий в переходный период года.

**Гипотеза** состоит в том, что учет конструктивных особенностей зданий и адаптивных потребностей жильцов позволит удовлетворить потребность в тепловой энергии на отопление жилых эксплуатируемых зданий в переходный период года.

**Задачи исследования:**

1. Выполнить совокупный анализ развития систем теплоснабжения в России, включая текущие методы автоматизации и определение тенденций

развития инженерных сетей в жилых зданиях, а также возможностей количественной оценки уровня теплового комфорта.

2. Уточнить математическую модель расчета параметров микроклимата с учетом количественной оценки уровня теплового комфорта нестационарного теплового режима помещений.

3. Экспериментально подтвердить адекватность предложенной математической модели, применяя процедуру валидации и верификации результатов.

4. Разработать методики расчета определения начала периода потребности в тепловой энергии здания и тепловых потоков с учетом адаптивных запросов жильцов, провести анализ эффективности разработанных методик на реальных примерах.

5. Разработать техническое решение, позволяющее осуществлять подачу тепловой энергии до начала и после официального окончания отопительного сезона при нарушении условий теплового комфорта в жилых зданиях.

**Объект исследования** – микроклимат жилых помещений и его влияние на тепловой комфорт человека.

**Предмет исследования** – процессы формирования внутреннего микроклимата здания, прогнозирование параметров микроклимата помещений для определения уровня теплового комфорта людей.

**Научная новизна исследования** заключается в достижении следующих результатов:

1. Уточнена математическая модель расчета параметров микроклимата с учетом количественной оценки уровня теплового комфорта нестационарного теплового режима помещений, позволяющая учитывать изменения в параметрах микроклимата и их влияние на индивидуальное субъективное состояние теплового комфорта проживающих.

2. Разработано программно-алгоритмическое обеспечение для анализа параметров отопительного сезона по архиву климатических данных, которое

позволяет производить расчет среднесуточных, среднемесячных температур наружного воздуха, определять даты начала и окончания отопительного сезона и иные параметры.

3. Получена аналитическая зависимость внутренних бытовых тепловыделений от расчетной заселенности помещения, которая позволяет уточнить расчет тепловых нагрузок на систему отопления и способствует созданию более комфортных и энергоэффективных условий проживания.

4. Установлена зависимость начала периода потребности в тепловой энергии и индивидуальных особенностей здания: уровень теплоизоляции ограждающих конструкций, класс энергоэффективности зданий.

5. Разработан вычислительный алгоритм для определения требуемой тепловой энергии на отопление от индивидуальных особенностей людей с учетом пола, возраста (от 3 до 75+ лет) и степени их физической активности, который способствует более адаптивному подходу к обеспечению теплового комфорта, учитывая индивидуальные запросы жильцов.

**Методология и методы исследований** включали: аналитическое обобщение известных научных и технических результатов, а также глубоких фундаментальных исследований тепломассобменных процессов, происходящих в зданиях; прогнозирование изменений температур воздуха в помещениях; численное моделирование процессов в помещениях с применением ЭВМ. Также используются методы планирования эксперимента и статистической обработки данных экспериментальных методов.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 2.1.3 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение: п.1. «Климатологическое обеспечение зданий. Тепломассообмен и гидроаэромеханика систем теплогазоснабжения и вентиляции, тепло и холодогенерирующего оборудования, ограждающих конструкций. Исследования теплового, воздушного, влажностного режимов помещений, зданий и сооружений», п.4. «Разработка математических моделей, методов,

алгоритмов и компьютерных программ, использование численных методов, с проверкой их адекватности, для расчета, конструирования и проектирования систем теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений, повышения их надежности и эффективности».

**Теоретическая значимость работы** состоит в развитии методов прогнозирования состояния теплового комфорта в помещении, математического моделирования нестационарного теплового режима зданий с учетом количественной оценки уровня теплового комфорта, получении новых закономерностей температуры начала периода потребности в тепловой энергии от классов энергоэффективности зданий, термодинамически равновесных температур внутреннего воздуха от возраста человека, внутренних бытовых тепловыделений от расчетной заселенности помещения.

**Практическая значимость** диссертационного исследования состоит в разработке методики определения температуры начала периода потребности в тепловой энергии здания; разработке методики определения потребности в теплоте с учетом адаптивных запросов жильцов; разработке программного обеспечения для анализа параметров отопительного сезона по архиву климатических данных (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022682711); разработке улучшенной конструкции индивидуального теплового пункта четырёхтрубной системы теплоснабжения, позволяющей осуществлять подачу отопления в многоквартирных домах с центральной системой до начала и после официального окончания отопительного сезона.

**Апробация работы:** основные положения и результаты работы докладывались и получили положительную оценку на конференциях IV International Scientific and Technical Conference “Energy Systems” (2019), Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова (2020), Journal of Physics: Conference Series (2021), XV Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство» (2021), Международная научно-техническая конференция молодых ученых

БГТУ им. В.Г. Шухова (2022), научно-методические семинары кафедры теплогазоснабжения и вентиляции БГТУ им. В.Г. Шухова.

**Результаты исследований внедрены** в компании ООО «Интелл-Сервис», при выполнении НИР заказчика ООО «Застройщик Белогорья», в учебный процесс при подготовке студентов направления 08.03.01 «Строительство» профиля «Теплогазоснабжение и вентиляция», 08.04.01 «Строительство» профиля «Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий», «Системы обеспечения микроклимата зданий и сооружений» в лекционных занятиях и проведении практических работ.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Математическая модель расчета параметров микроклимата с учетом количественной оценки уровня теплового комфорта нестационарного теплового режима помещений, позволяющая учитывать изменения в параметрах микроклимата и их влияние на индивидуальное субъективное состояние теплового комфорта проживающих.

2. Программно-алгоритмическое обеспечение для анализа параметров отопительного сезона по архиву климатических данных, которое позволяет производить расчет среднесуточных, среднемесячных температур наружного воздуха, определять даты начала и окончания отопительного сезона и иные параметры.

3. Аналитическая зависимость внутренних бытовых тепловыделений от расчетной заселенности помещения, которая позволяет уточнить расчет тепловых нагрузок на систему отопления и способствует созданию более комфортных и энергоэффективных условий проживания.

4. Зависимость начала периода потребности в тепловой энергии и индивидуальных особенностей здания: уровень теплоизоляции ограждающих конструкций, класс энергоэффективности зданий.

5. Методики определения температуры начала периода потребности в тепловой энергии здания и определения потребности в теплоте с учетом адаптивных запросов жильцов, которые способствуют более адаптивному

подходу к обеспечению теплового комфорта, учитывая индивидуальные запросы жильцов.

6. Конструкция индивидуального теплового пункта, позволяющая осуществлять подачу тепловой энергии на отопление до начала и после официального окончания отопительного сезона при нарушении условий теплового комфорта в жилых зданиях.

**Достоверность результатов** обоснована использованием в основе методологии исследования законов термодинамических процессов, а также современной теории теплообмена и теплопередачи, а также достаточной степенью сходимости аналитических выводов и результатов экспериментов.

**Публикации.** Результаты исследований, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в 16 научных публикациях, из которых 3 опубликованы в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, 2 – в изданиях, индексируемых базой данных Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Личный вклад автора** состоит в определении цели и задач диссертационного исследования, осуществлении анализа научной литературы, выборе методологии и объектов исследования, разработке и теоретическом обосновании ключевых положений работы, проведении численных и натурных экспериментов, обработке экспериментальных данных, синтезе и интерпретации полученных результатов, подготовке и публикации материалов диссертационной работы.

**Объём и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Объём диссертационной работы составляет 178 страниц машинописного текста, который включает 27 таблиц, 31 рисунок и 8 приложений. Список использованной литературы состоит из 151 наименования, включая 44 на иностранных языках.

## ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В текущей главе представлен анализ уровней благоустроенности эксплуатируемых зданий и их влияние на тепловой комфорт, анализ возможности количественной оценки уровня теплового комфорта, приведены условия комфортности теплового режима, рассмотрена проблема соблюдения теплового комфорта в переходные периоды годы до начала и после окончания отопительного сезона, проведен литературный обзор развития систем теплоснабжения, обзор методов и технических средств обеспечения теплоснабжения зданий, приведена характеристика существующих режимов систем теплоснабжения, проведен анализ способов и оборудования автоматизации систем отопления. Рассмотрение описанных выше вопросов позволило выявить проблему нарушения теплового комфорта в переходные периоды года и отсутствие технического решения по запуску централизованного отопления по требованию.

Рассматриваемыми объектами в настоящем исследовании являются эксплуатируемые жилые многоквартирные здания, их системы отопления и горячего водоснабжения.

### **1.1 Обзор развития систем отопления и управления тепловыми режимами**

Со второй половины 20-го века начались обширные исследования в области теплоснабжения зданий. Российские ученые внесли значительный вклад в разработку и проектирование систем отопления, улучшая их эффективность и качество.

А.Н. Сканава в [1, 2] анализирует системы отопления различных типов зданий, исследуя возможности их улучшения и экономии тепловой энергии. В работе [1] описаны методы проектирования и регулирования современных систем отопления, работа [2] посвящена принципам выбора конструкции систем отопления и расчетам тепловой мощности.

В.Н. Богословский в [3] занимается практическими аспектами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, используя подходы теплофизики. Работа включает инженерные методы определения воздушного режима в зданиях, теплообмена и тепловлагодопердачи через ограждающие конструкции. В [4], написанной совместно с А.Н. Сканави, описываются различные конструкции и принципы работы систем отопления.

В работах [5-7] Е.Я. Соколов рассматривает различные режимы регулирования систем централизованного теплоснабжения. Автором подчеркивается необходимость дополнительного регулирования тепловой нагрузки на уровне групповых и локальных тепловых пунктов для улучшения качества теплоснабжения и снижения тепловых потерь, помимо центрального управления на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ).

В работе В.И. Ливчака [8] рассматривается автоматизация тепловых пунктов и учет тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения РФ. Он предложил комбинированный подход управления: регулирование температуры теплоносителя на основе температурного графика с коррекцией в случае значительных отклонений температуры воздуха в помещении. По его мнению, внедрение автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов в сочетании с установкой приборов учета тепловой энергии является эффективным и быстро окупаемым решением.

В исследовании [9] Н.М. Зингер анализирует теплогидравлические режимы в системах водяного отопления, предлагая методы для их расчета. В работе исследуются различные схемы подключения потребителей к теплосетям, выявляя значительное влияние этих схем на теплогидравлические режимы. Автор делает вывод, что управление системой отопления в зданиях с центральным теплоснабжением, которое регулируется в соответствии с температурой внешнего воздуха и контролируется с помощью инерционного датчика, обеспечивает минимизацию ежедневных колебаний температуры в помещениях по сравнению с заданными плановыми значениями.

Н.М. Зингер в работах [10-12] провел исследования автоматизированных тепловых пунктов, где регулируется подача тепла для отопления и ГВС. Исследование фокусируется на влиянии управляющих воздействий и возмущений на температурный режим зданий. В работе описывается математическая модель статических и динамических режимов отопления, анализируются различные способы регулирования, включая отклонение и возмущающее воздействие. В работе отмечается, что температура теплоносителя на входе и выходе из здания не может быть использована в качестве регулируемого параметра, так как это препятствует использованию теплоаккумулирующих свойств здания для выравнивания тепловых колебаний.

М.М. Бродач и Ю.А. Табунщиков в [13] предложили методологию синтеза математических моделей для теплового режима здания, включающую в себя внешнюю среду, внутренний объем здания с его конструкциями и энергетическими источниками, а также энергоемкие ограждающие конструкции. Они исследуют устойчивость зданий к теплу в разные периоды года, предлагают методы для оптимизации защиты помещений от теплового и солнечного воздействия и сравнивают разные системы отопления с точки зрения энергетических затрат. В исследовании представлен подход к проектированию энергоэффективных зданий с использованием методов системного анализа.

Н.К. Громовым в [14-16] исследуются схемы и принципы построения тепловых сетей, их регулирования и надежности. Он акцентирует внимание на необходимости изменения температурных и гидравлических режимов тепловых сетей для оптимального взаимодействия и функционирования различных объектов системы теплоснабжения. Автор подчеркивает сложности управления крупными и разветвленными тепловыми сетями без обратной связи, особенно при переменных гидравлических режимах, требующих быстрой обратной связи для передачи данных в реальном времени.

В работе [17] В.С. Фаликова и В.П. Витальева обсуждаются принципы комплексной автоматизации городских систем централизованного теплоснабжения. В ней исследуются вопросы автоматического регулирования отпуска тепла на тепловых пунктах, предлагаются схемы управления гидравлическими режимами и даются рекомендации для проектирования и эксплуатации автоматизированных тепловых пунктов.

В.П. Туркин в работах [18-20] подробно изучает процессы нагревания и охлаждения нагревательных приборов и ограждающих конструкций, а также функционирование систем отопления с автоматическим регулированием. Особо подчеркивается важность количественно-качественного регулирования для оптимального теплогидравлического режима.

В.И. Панферов в [21-24] занимается вопросами математического моделирования и оптимального управления тепловым режимом зданий. В [21] обсуждаются преимущества упрощенных моделей управления, в [22] - неточности эмпирических зависимостей при определении графиков количественно-качественного регулирования, в [23] предлагается метод оптимального управления тепловым режимом в нерабочее время, включающий прерывистое отопление, и демонстрируется его эффективность по сравнению с непрерывным отоплением, а в [24] представлены модели нестационарного теплообмена теплопроводов, используемые для определения предельно допустимого времени отключения участков тепловых сетей в зимнее время года.

О.Ф. Гавеем и С.А. Голяком в работе [25] анализируются вопросы оптимальной температуры теплоносителя в системах отопления с точки зрения экономии энергоресурсов, а в [26, 27] исследователи совместно с В.И. Панферовым исследуют низкотемпературные системы теплоснабжения в России.

С.В. Панферов в исследованиях [28, 29] рассматриваются стратегии количественно-качественного управления тепловым режимом зданий, включая отопление и комбинированную нагрузку (отопление и ГВС). В [28]

автор приходит к выводу об ограниченной эффективности управления тепловым режимом здания исходя из температуры воздуха в отдельно выбранном контрольном помещении. В [29] представлена концепция адаптивного управления тепловым режимом здания, учитывающая изменения его характеристик в течение жизненного цикла и необходимость корректировки теплотехнических параметров на основе эксплуатационных данных.

В исследованиях [30-32] В.И. Шарапов оценивает различные способы управления тепловой нагрузкой. Он изучает количественные и качественно-количественные методы управления, включая автоматическое регулирование и гидравлическую защиту местных систем отопления, а также рассматривает международный опыт в сфере энергосбережения.

В исследовании [33] П.В. Ротовой и В.И. Шарапова, проводится анализ температурных режимов централизованных систем теплоснабжения и разработка стратегий для эффективного управления тепловой нагрузкой. Они критически изучают некоторые аспекты российского теплоснабжения и предлагают методы для настройки температурных графиков для использования качественного регулирования.

Г.А. Круглов в работе [34] излагает основы технической термодинамики и теории тепломассообмена, а также затрагивает практические вопросы отопления и вентиляции.

L. Arvastson в работе [35] исследует эффективность автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов в зданиях, рассматривая их как с теоретической, так и с практической точки зрения. Он изучает работу этих систем в разных условиях и подчеркивает важность прогнозирования тепловых нагрузок для оптимального управления, в том числе в пиковых режимах.

Использование нечеткой логики и нейронных сетей в управлении изучалось L.A. Zadeh, T. Takagi, M. Sugeno, G. Decher, K.T. Atanassov и др., представляет собой современную тенденцию. Однако использование нейро-

нечетких сетей, примерами которых могут служить POPFNN [36] и ANFIS [37], в системах отопления сталкивается с ограничениями, связанными с риском заморозки системы и сложностью обучения нейронной сети в таких условиях. В [38] указываются проблемы, связанные с методами машинного обучения, такими как нечеткая логика и нейронные сети, включая их неэффективность для оптимизационных задач, отсутствие связи с физической структурой управляемых объектов и снижение качества управления при изменениях в поведении пользователей или характеристиках здания.

Для управления климатом в зданиях исследователи рекомендуют использовать метод "Model predictive control" (MPC), который популярен за рубежом и базируется на прогнозирующих моделях. F. Oldewurtel в [39] анализирует использование стохастических прогнозирующих моделей для прогнозирования погоды, направленных на повышение энергоэффективности при управлении микроклиматом зданий. P.D. Moroşan в [40] применяет распределенный подход в модели MPC, используя метод Бендерса для разделения переменных при управлении микроклиматом в зданиях с одной зоной и несколькими источниками тепла.

Тем не менее, методы, разработанные в 1980-1990-х годах и основанные на прогнозирующих моделях, дают следующую проблему: более точные модели улучшают качество управления, но требуют больше данных и усложняют настройку системы. В [38] исследователи E. Žáčková, S. Prívara и Z. Váňa анализируют эту дилемму, формулируя требования к структуре и представлению моделей, а также их частотным характеристикам для различных реализаций MPC и методов идентификации инженерных систем зданий, включая статистические методы. Работа также охватывает результаты применения различных реализаций MPC.

Следует отметить, что использование точных моделей целесообразно для управления уникальными сложными объектами, но может быть менее эффективным при массовом внедрении. Следовательно, существует

актуальная задача разработки модели, которая бы использовала ограниченный набор данных, доступных для измерения.

## **1.2 Обзор методов и технических средств обеспечения теплоснабжения зданий**

В Российской Федерации 68,1% жилых объектов обеспечивается централизованным теплоснабжением [41]. Человек проводит значительную часть времени в жилых помещениях, поэтому микроклиматические условия должны способствовать комфорту и здоровому тепловому состоянию организма. Одной из основных задач теплоснабжения является поддержание оптимального температурно-влажностного режима в зданиях.

На территории России применяются две разновидности водяного теплоснабжения: открытые и закрытые системы (также известные как разомкнутые и замкнутые) [42]. В контексте закрытых систем, циркулирующая по теплосетям вода выступает исключительно в роли теплоносителя и не подается потребителям для водоразбора. В отличие от них, в открытых системах обратная вода используется для горячего водоснабжения, являясь частично или полностью предоставленной абонентам.

Системы теплоснабжения также классифицируются по количеству труб, используемых для теплообмена, включая однотрубные, двухтрубные, трехтрубные и многотрубные варианты [43]. Трехтрубные системы наиболее подходят для промышленных объектов с высоким уровнем тепловой нагрузки. Несмотря на простоту и перспективность однотрубных систем для транспортировки тепла на большие расстояния, в городских условиях чаще применяются двухтрубные системы [44].

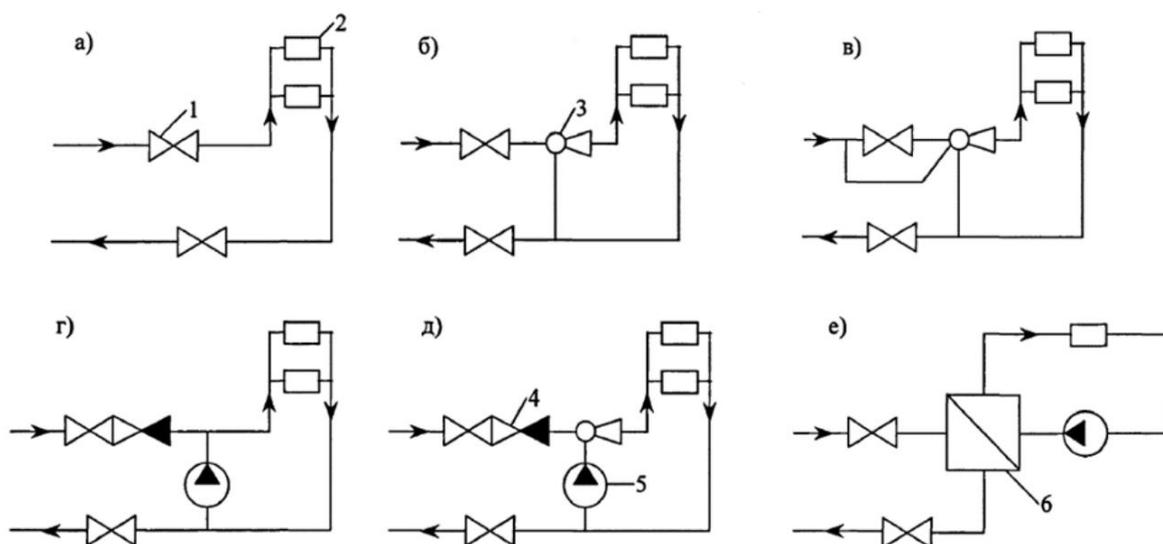
В современной теплофикации используются две основные схемы подключения абонентских установок отопления к тепловым сетям: зависимая и независимая [45]. Выбор между ними определяется режимом работы теплосети и характером абонентской установки. Зависимая схема, предложенная В.М. Чаплиным [46] и использующая насос, считается

несложной и недорогой при вводе в эксплуатацию, но неэкономичной, поскольку затруднено погодное регулирование [47].

В системах отопления и горячего водоснабжения без накопительных баков существует два метода подачи тепла: нормальная и связанная подача. Нормальная подача гарантирует, что система отопления получает тепло независимо от горячего водоснабжения, и изменения в его потреблении не влияют на отопление. В то же время, связанная подача делает количество тепла для отопления зависимым от потребления тепла в системе горячего водоснабжения. Это может вызвать колебания температуры воздуха в помещении и обратной сетевой воды, что в свою очередь снижает эффективность тепловой энергии, отпускаемой тепловыми электростанциями [48]. Тем не менее, в течение суток в отапливаемых помещениях обычно обеспечивается заданная температура.

В водяных тепловых сетях наибольшее количество тепла используют установки для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Эффективность теплоснабжения, потребление сетевой воды и температура в обратном трубопроводе напрямую зависят от способа подключения этих установок к тепловым сетям и применения авторегуляторов [49]. Рисунок 1.5 демонстрирует примеры схем подключения систем отопления к тепловым сетям [50, 51].

Система отопления может подключаться непосредственно к центральному тепловому пункту (рис. 1.1, а) при условии, что расчетные температуры теплоносителя совпадают. В жилых и общественных зданиях также используется элеваторная схема (рис. 1.1, б, в), где элеватор выполняет функции смешивания и циркуляции воды. Элеваторы с регулируемым соплом позволяют менять коэффициент смешения, что расширяет их возможности использования.



**Рисунок 1.1** – Схемы присоединения системы отопления к тепловым сетям: 1 - задвижка; 2 - отопительный прибор; 3 - элеватор; 4 - обратный клапан; 5 - насос; 6 – теплообменник

В настоящее время взамен элеватору применяют смесительные насосы [52] (рис. 1.1, г, д), что делает схему более гибкой. В последнее время стали распространены схемы независимого присоединения системы отопления через водо-водяные теплообменники (рис. 1.1, е) благодаря повышенным требованиям к надежности теплоснабжения и увеличению строительства высотных зданий. Такая схема является наиболее надежной, энергетически эффективной и гибкой [51].

Важными показателями качества тепловой энергии являются параметры теплоносителя, такие как его температура и давление. В зависимости от типа теплоносителя (пар или горячая вода), определяются соответствующие качественные характеристики [53]:

— при эксплуатации пара как теплоносителя показателями качества становятся температура, давление и теплосодержание пара на границе балансовой (эксплуатационной) принадлежности тепловых сетей теплоснабжающей организации и потребителя тепловой энергии;

— при использовании воды в качестве теплоносителя для нужд отопления, вентиляции и кондиционирования показателями качества тепловой

энергии являются температура в подающем трубопроводе по температурному графику регулирования отпуска теплоты в зависимости от температуры наружного воздуха, а также перепад давления в подающем и обратном трубопроводах и предельные значения давления в обратном трубопроводе на границе балансовой (эксплуатационной) принадлежности;

— применение воды для обеспечения горячего водоснабжения параметрами определения качества является минимально допустимая температура воды в подающем трубопроводе на границе балансовой (эксплуатационной) принадлежности в зависимости от схемы горячего водоснабжения [54].

### **1.3 Характеристика существующих режимов систем теплоснабжения**

Регулирование отпуска тепла включает комплекс мероприятий, направленных на корректировку теплоотдачи оборудования с учетом изменения потребности в тепле. Существуют различные методы регулирования, основанные на изменении начальной температуры, расхода теплоносителя или коэффициента продолжительности работы среды [55]:

1. Качественное регулирование - метод, основанный на изменении начальной температуры теплоносителя для достижения оптимального теплоснабжения. Оно позволяет поддерживать комфортные условия в помещении, изменяя температуру подачи теплоносителя, но не затрагивает его расход.

2. Количественное регулирование – метод, в основе которого лежит изменение расхода теплоносителя в системе, что позволяет регулировать тепловую мощность. Это достигается путем изменения скорости насосов, управления клапанами или других средств регулирования расхода в системе.

3. Качественно-количественное регулирование - метод, сочетающий принципы качественного и количественного регулирования, что позволяет одновременно контролировать и температуру, и расход теплоносителя в

системе. Он обеспечивает более точное и гибкое управление теплоснабжением, адаптируясь к различным условиям и потребностям.

4. Прерывистое регулирование - метод, заключающийся в периодическом включении и выключении системы теплоснабжения для поддержания заданной температуры в помещении. Он основан на коэффициенте продолжительности работы среды, который определяет время работы и простоя системы. Этот метод может быть менее эффективным с точки зрения энергосбережения, но в некоторых случаях он может быть подходящим вариантом для определенных видов помещений или систем.

Регулирование может осуществляться на разных уровнях: центральном (на тепловых электростанциях), групповом (на групповых тепловых подстанциях), местном (на местных подстанциях) и индивидуальном (на отдельных устройствах потребления). Чтобы обеспечить оптимальное качество теплоснабжения, рекомендуется использовать комбинированный подход к регулированию, сочетающий как минимум три уровня: центральный, групповой или местный, и индивидуальный [56]. В настоящее время в системах централизованного теплоснабжения применяются как индивидуальное, так и групповое регулирование.

В рамках централизованной системы регулирования отпуска тепла учитывается стандартная тепловая нагрузка, состоящая из одного или двух видов, например, отопления и горячего водоснабжения [57, 58]. Широко используется комбинированное регулирование для удовлетворения потребностей в горячей воде без увеличения расхода воды по сравнению с расчетным потреблением на отопление. Неравномерность суточного графика нагрузки выравнивается благодаря теплоаккумулирующим свойствам зданий или установке аккумуляторов [57, 59].

В случае неоднородной тепловой нагрузки в районе, групповое или локальное регулирование должно применяться ко всем видам нагрузки, независимо от централизованного регулирования. Температура воды в теплосети не должна опускаться ниже уровня, предусмотренного нормами

горячего водоснабжения. В соответствии с пунктом 84 СанПиН 2.1.3684-21 температура горячей воды в местах водоразбора централизованной системы горячего водоснабжения должна быть не ниже 60 °С и не выше 75 °С.

Централизованное качественное регулирование для комбинированной нагрузки определяется условием поддержания постоянного расхода сетевой воды для удовлетворения ежедневной потребности абонентов в тепле и горячей воде при типичной относительной нагрузке горячего водоснабжения в районе [60].

В настоящее время централизованное регулирование потребления тепла осуществляется, как правило, по отопительному графику, который составляется в результате совместного решения уравнений теплового баланса отопительного прибора и отапливаемого помещения [61].

Режим регулирования в соответствии с этим графиком имеет ряд серьезных недостатков: отсутствует учет различных возмущающих факторов, действующих в системе теплоснабжения, а также сложных статических и динамических характеристик этой системы; не учитываются технико-экономические показатели. Это делает систему теплоснабжения слабоманевренной, негибкой, так как затрудняет передачу тепла из одного района в другой, устранение аварий в сетях, параллельную работу источников теплоты в единой сети [45].

В течение многих лет велась работа по совершенствованию этого режима. Так, чтобы более полно учитывать влияние погоды на тепловой режим отапливаемых зданий, И.Я. Неусихин в работе [62] предложил осуществлять централизованное регулирование не только по температуре наружного воздуха, но и по скорости ветра. Это предложение получило дальнейшее обоснование в работах [63] Л.А. Мелентьева и К.И. Мичуриной. В тепловых сетях некоторых городов влияние ветра уже несколько лет учитывается при централизованном регулировании.

Исследования ряда авторов (Е.Я. Соколов, С.Ф. Копьев, Н.К. Громов и др.) привели к разработке так называемых «повышенных» или

«скорректированных» температурных графиков [55, 64, 65]. Их отличие от обычных отопительных графиков заключается во внесении соответствующих поправок для учета влияния нагрузки на горячее водоснабжение.

Стремление снизить затраты электроэнергии на перекачку теплоносителя, облегчить условия гидравлического режима тепловых сетей в переходный период отопительного сезона, улучшить распределение теплоносителя между отопительными приборами привело к разработке количественно-качественного регулирования потребления тепла [57].

Дальнейшее совершенствование методов централизованного регулирования становится возможным только при широком использовании автоматизации и компьютерных технологий. Использование этих средств на объектах источников выработки тепла (на тепловой электростанции, в районной котельной) в центральном диспетчерском пункте теплосети в сочетании с локальным «активным» регулированием у потребителей позволяет осуществлять централизованное регулирование в соответствии с гораздо более сложными законами, которые обеспечивают значительное повышение качества, надежности и эффективности теплоснабжения [66].

Как уже отмечалось, в городских системах теплоснабжения существует три основных вида тепловой нагрузки — на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. В связи с этим вместо обычно используемого графика отопления следует использовать балансовый график, который рассчитан для покрытия этих нагрузок [67].

При определении режимов централизованного регулирования необходимо учитывать динамику тепловых процессов объекта. В связи с этим целесообразно дифференцированно учитывать быстрые и медленные теплопотери зданий.

В крупных системах теплоснабжения транспортные и емкостные задержки при передаче управляющего воздействия играют существенную роль. Поэтому необходимо внедрить в автоматизированный алгоритм

управления тепловыделением компонент, учитывающий прогнозируемые значения погодных воздействий на тепловой режим зданий.

При регулировании тепловыделения желательно не исходить из принципа стабилизации температур воздуха в отапливаемых помещениях, а допускать изменения этих температур в течение суток с учетом требуемых условий теплового комфорта, т.е. осуществлять программное регулирование тепловыделения [68]. Программное регулирование позволяет оптимизировать режимы отпуска тепловой энергии с тепловой электростанции или районной котельной, иными словами, выдавать тепло в таком количестве, чтобы обеспечивались наиболее благоприятные условия работы системы электроснабжения в соответствии с интересами потребителей тепла.

Вторая задача оптимизации состоит в том, чтобы найти оптимальные сочетания температур и расхода сетевой воды для каждого значения тепловыделения, т.е. построить наиболее эффективные температурные графики и расхода воды для данной системы.

Следует также иметь в виду, что в автоматизированных системах теплоснабжения с локальным автоматическим регулированием потребления тепла значения температуры воды, возвращаемой из абонентских установок, определяются каждый раз в зависимости от величины их потребления тепла. В связи с этим для условий центрального тепловыделения температуру обратной воды в данном случае можно рассматривать как возмущающее воздействие.

Режим программного регулирования, допускающий некоторые периодические колебания температуры внутреннего воздуха, позволяет решать ряд задач технического, экономического и санитарно-гигиенического значения. Например, сокращение теплоснабжения учреждений в нерабочее время позволяет снизить затраты на топливо для отопления этих зданий на 15-20% [69].

## **1.4 Анализ способов и оборудования автоматизации систем отопления**

Автоматизация систем централизованного отопления оказывает значительное влияние на улучшение эффективности, сокращение потребления энергии и повышение уровня комфорта жителей. Важную роль в исследованиях этой темы сыграли работы таких ученых, как В.И. Ливчак, Е.Я. Соколов, О.А. Мухин, Е.А. Потапенко, В.И. Манюк, Я.И. Каплинский и других.

В [70] О.А. Мухин указывает, что система автоматизации включает в себя несколько уровней:

1. Централизованное регулирование: на уровне источника теплоты, такого как теплоэлектроцентрали или котельные, где происходит основное регулирование всей системы;
2. Групповое регулирование: на уровне центральных тепловых пунктов и узлов распределения;
3. Местное регулирование: включает малые тепловые пункты и микрокотельные;
4. Зональное регулирование: включает пофасадное, поэтажное и секционное в зданиях)
5. Индивидуальное регулирование: у нагревательных приборов в отдельных помещениях и малых зданиях.

В работе [70] рассматриваются четыре основных принципа управления автоматизацией тепловых режимов: по возмущению, по отклонению, комбинированном и программном. В качестве представительных величин используют: температуры наружного и внутреннего воздуха, температуры прямого и обратного теплоносителя, скорость и направление ветра, уровень инсоляции, расход сетевой воды и др.

Автоматизация тепловых вводов в зданиях зависит от схемы присоединения к тепловой сети и может включать поддержание постоянного

расхода и давления теплоносителя, регулирование температуры, а также защиту системы от повышения давления и опорожнения.

В исследованиях [71-74] Е.А. Потапенко изучаются следующие ключевые методы управления системой отопления в здании:

- Регулирование температуры путём контроля подачи теплоносителя в индивидуальном тепловом пункте, который может быть подключен к внешним тепловым сетям как зависимым, так и независимым образом;

- Индивидуальное управление температурой путём регулирования подачи теплоносителя в каждый отопительный прибор, оснащённый собственным регулятором;

- Управление подачей теплоносителя на уровне каждого фасада здания, где каждому фасаду предоставляется отдельная система автоматического регулирования отопления. Эта система может быть подключена к централизованному теплоснабжению по зависимой или независимой схеме;

- Управление расходом теплоносителя с одним теплообменником на уровне фасада, при этом температура теплоносителя для системы отопления северного фасада регулируется в ответ на внешние изменения (возмущения), а температура для системы отопления южного фасада — в ответ на отклонения температуры.

В работе [75] В.И. Манюк, Я.И. Каплинский и др. указывают, что управляющие воздействия на систему отопления можно классифицировать следующим образом:

1. Изменение температуры теплоносителя:

- Регулировка температуры теплоносителя путем управления тепловой энергией, подаваемой в систему в теплосети.

- Снижение температуры теплоносителя в прямом трубопроводе за счет добавления охлажденной воды.

- Повышение температуры теплоносителя в системе отопления путем добавления более горячей воды.

- Охлаждение теплоносителя перед его входом в систему отопления для управления теплоотдачей с помощью предвключенного теплообменника.

## 2. Изменение расхода теплоносителя:

- Управление объемным потоком теплоносителя через изменение давления в теплосети.

- Регулирование потока через изменение сопротивления в теплообменнике или системе.

- Контроль тепловой мощности за счет циклического отключения подачи теплоносителя.

- Обход определенных участков системы для регулирования потока и температуры.

- Управление потоком теплоносителя на входе в систему с помощью насосов или регулировочных устройств.

## 3. Изменение поверхности нагрева: регулирование тепловой мощности путем изменения активной поверхности нагрева в теплообменнике.

## 4. Изменение условий теплообмена:

- Временное снижение теплоотдачи за счет улучшения изоляционных свойств поверхности теплообменника.

- Замедление потока теплоносителя для изменения режима теплообмена.

- Уменьшение теплопередачи путем защиты поверхностей от прямого контакта с теплоносителем через экранирование теплообменных поверхностей.

Для автоматизации используется следующее оборудование:

- Умные термостаты и датчики - эти устройства измеряют и контролируют температуру воды и окружающей среды в здании.

- Программируемые логические контроллеры (ПЛК) - используются для автоматизации управления системой отопления, включая насосы, клапаны и другие механические компоненты.
- Преобразователи частоты (ЧПУ) - используются для управления скоростью электродвигателей, таких как насосы, для регулировки расхода воды в зависимости от потребления.
- Системы управления зданиями (СУЗ) - эти системы интегрируют различные службы здания, включая отопление, освещение и безопасность, для централизованного контроля и повышения эффективности.
- Инструменты аналитики данных – используются для предиктивного обслуживания и оптимизации эффективности, а также анализируют данные о производительности системы.

Преимущества автоматизации заключаются в следующем:

- Энергоэффективность - автоматизированные системы оптимизируют использование энергии, что приводит к значительному сокращению энергетических расходов и углеродного следа.
- Снижение затрат на обслуживание - предиктивное обслуживание может выявлять проблемы до того, как они станут серьезными, снижая потребность в аварийных ремонтах.
- Увеличение срока службы системы - эффективная работа и своевременное обслуживание могут увеличить срок службы системы отопления.
- Повышение комфорта - последовательное и отзывчивое отопление повышает комфорт жителей здания.

Дальнейшее развитие систем автоматизации отопления будет связано с интеграцией с системами "умного дома", что улучшит управление энергопотреблением и повысит комфорт проживания. Умный дом может автоматически адаптироваться к привычкам и предпочтениям жильцов, эффективно управляя отоплением в зависимости от времени суток, погоды и других факторов. Применение технологий искусственного интеллекта и

машинного обучения в системах отопления может также повысить их эффективность. ИИ может анализировать большие объемы данных, предсказывать потребности в отоплении и автоматически оптимизировать работу системы для достижения наилучшего баланса между комфортом и энергоэффективностью.

Интеллектуальная система автоматизации дома — это современное технологическое решение, позволяющее домовладельцам управлять и автоматизировать различные устройства и системы дома с помощью центрального узла, используя смартфон, голосовые команды и устройства интернета вещей (IoT) [76]. Классическая система включает в себя такое оборудование, как умные термостаты, системы освещения, замки, системы безопасности и развлечений. С увеличением распространения IoT, умные дома стали более популярными, а системы автоматизации стали ключевой технологией для управления различными домашними приборами и системами [77].

Для автоматизации дома используются различные беспроводные технологии, включая GSM, Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi и другие для удаленного управления носимыми гаджетами и другими приборами [78]. Кроме того, применяются голосовые помощники, датчики, программируемые контроллеры и системы беспроводной автоматизации, обеспечивающие управление энергией, безопасностью, микроклиматом и другими функциями. Основными проблемами автоматизации авторы публикаций по теме выделяют сложности с совместимостью устройств [79], а также сбор и хранение конфиденциальной информации, которые могут снижать доверие и желание к использованию таких систем [80].

Для автоматизации «умных домов» используются следующие беспроводные технологии:

- GSM (Global System for Mobile Communications) – обеспечивает связь на большие расстояния, но является самой медленной [81]. Модуль GSM может использоваться для достижения домашней автоматизации, что является

недорогим решением. Он также требует микроконтроллер и реле. Технология GSM также используется для отправки SMS и предоставления удаленного доступа, а также для обеспечения безопасности дома.

- Bluetooth предоставляет лучшую точность и скорость по сравнению с GSM и эквивалентен Wi-Fi, однако обладает короткой дальностью связи [81]. Является экономичным и энергоэффективным решением.

- IEEE 802.15.4 – это стандарт беспроводной сети ZigBee, поддерживающий низкую мощность и низкие скорости передачи данных, используемый в основном для двусторонней связи между датчиками и системами управления [82]. Затраты на установку и эксплуатацию меньше в сравнении вышеперечисленными стандартами связи.

- Wi-Fi (Wireless Fidelity) позволяет оборудованию и устройствам подключаться к интернету. Системы автоматизации на основе Wi-Fi также могут управляться удаленно и обладают лучшими возможностями шифрования [83].

- IoT (Интернет вещей) позволяет управлять и контролировать бытовую технику с помощью мини-веб-сервера, мобильных приложений и управляющего оборудования [84].

Компоненты систем автоматизации включают датчики температуры, влажности, газа, освещенности, движения и контактные датчики, а также системы управления на базе IoT. Это позволяет создавать универсальные и удобные для пользователя решения. Из них популярны следующие модели датчиков:

- Датчик температуры LM35 – это очень точный интегрированный датчик температуры, и его выходное напряжение линейно коррелирует с температурой в градусах Цельсия. LM35 широко используется в системах автоматизации [76].

- Четырехконтактный DHT11 – наиболее распространенный датчик влажности, регистрирующий количество паров в воздухе помещения [85].

– Газовый датчик MQ2 – датчик для определения концентрации ряда газов, таких как пропан, метан, а также определения уровня задымленности помещения. Это недорогой датчик с широким диапазоном чувствительности к газам, который часто используется для обнаружения утечек газа. Датчик прост в использовании, может быть подключен к Arduino UNO [86].

– Фоторезисторы являются наиболее популярным типом датчиков освещенности, используемых в схемах «умных» домов. Фоторезисторы измеряют относительные уровни света в течение дня и определяют, включен ли свет или нет [87].

– Инфракрасные датчики используются для обеспечения работы датчика движения и датчика обнаружения человеческого тела [88].

– Магнитные контактные датчики используются для целей безопасности дверей и окон, реагирующие на открытие или закрытие [88].

– Датчики присутствия используются с целью экономии энергии в домах. Система ОВК будет выключаться, когда в доме никого нет, для экономии энергии [89].

Автоматизация достигается следующими распространёнными контроллерами:

– ATmega328P - микроконтроллер, встроенный в Arduino UNO. Это открытая платформа, предназначенная для создания проектов в области электроники. Эта плата содержит кнопку сброса, заголовок ICSP, USB-соединение, разъем питания, кварцевый кристалл и имеет аналоговые и цифровые контакты. Плата может быть запрограммирована с использованием языка программирования Arduino, который основан на C и C++, и IDE [90]. Arduino Uno широко используется в различных областях, таких как робототехника, автоматизация, IoT и многих других.

– Raspberry Pi – это универсальный компьютер, который может использоваться для многих типов задач, включая использование в качестве контроллера для различных умных устройств и систем. Это

энергоэффективный многоядерный процессор, созданный как система на чипе [91].

– Node MCU - микроконтроллер, построенный на платформе Arduino, который также включает в себя чипсет Wi-Fi ESP8266. Он часто используется для одного приложения Интернета вещей или для устранения необходимости в центральном процессоре. Node MCU имеет значительное экономическое преимущество перед конкурентными системами [92].

В достижении автоматизации также помогают программные агенты. Программные агенты, известные как голосовые помощники, могут понимать разговорную речь и отвечать на запросы голосом [93]. Самыми известными примерами являются Alexa от Amazon, Cortana от Microsoft, Siri от Apple, помощник Google и Алиса от Яндекса. Все они встроены в смартфоны или домашние колонки. Эти устройства также могут быть интегрированы в управление IoT.

Комфорт в умных домах включает управление температурой и влажностью, освещением, а также качеством воздуха. Применение машинного обучения, IoT и искусственного интеллекта позволяет наблюдать за комфортом и оптимизировать его [94].

Энергоэффективность умных домов заключается в использовании технологий для снижения энергопотребления и улучшения энергетической производительности, обеспечивая при этом комфорт и удобство для жильцов [95].

### **1.5 Анализ уровня благоустроенности эксплуатируемых зданий**

Статья №40 Конституции Российской Федерации закрепляет право каждого человека на достойное жилье [96]. Развитие жилищного вопроса и повышение стандартов жилья – ключевые задачи для социально-экономического прогресса регионов России. Большая часть жилого фонда России было построено в период с 60-х по 80-е годы XX века, отражая градостроительные идеи эпохи плановой экономики СССР [97]. Современное

жилье, оснащенное всеми необходимыми коммуникациями, способствует комфортному проживанию.

Уровень благоустройства жилья (оснащенности внутренними инженерными сетями) - важный показатель общего уровня жизни, оказывающий значительное влияние на качество жизни, психологическое благополучие и формирование личности [98]. Чтобы жилье считалось благоустроенным, каждое жилое помещение должно быть обеспечено водопроводом, отоплением, водоотведением, горячим водоснабжением, газом (сетевым или сжиженным) и электрическими плитами, включая встроенные варочные панели. Обеспеченность основными элементами благоустройства важнее размера жилых помещений, поскольку определяют комфортность и безопасность проживания, внося вклад в создание благоприятной среды для жителей [99].

В последнее время благодаря развитию инфраструктуры и улучшению жизненных условий наблюдается существенное улучшение показателей благоустройства жилья. Из данных Федеральной службы государственной статистики [100] следует, что в этой сфере прослеживается положительная тенденция, и уровень оснащенности жилых помещений коммунальными удобствами значительно увеличился как в городских, так и в сельских районах (таблица 1.1).

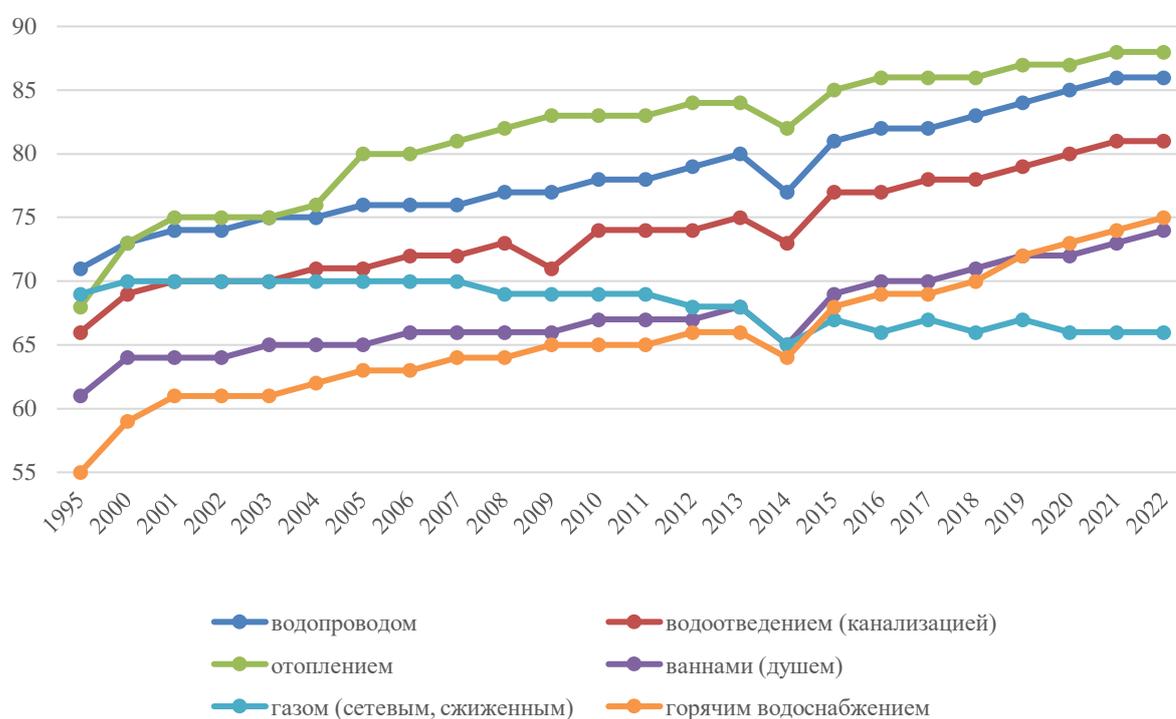
**Таблица 1.1** – Благоустройство жилищного фонда (на конец года), %

Год	Удельный вес общей площади, оборудованной						
	водопроводом	водоотведением (канализацией)	отоплением	ваннами (душем)	газом (сетевым, сжиженным)	горячим водоснабжением	напольными электрическими плитами
Жилищный фонд, всего							
2000 г.	73	69	73	64	70	59	16
2022 г.	86	81	88	74	66	75	26
Городской жилищный фонд							
2000 г.	86	84	87	79	69	75	21

### Продолжение таблицы 1.1

2022 г.	93	90	94	84	63	85	32
Сельский жилищный фонд							
2000 г.	39	30	37	24	74	19	3
2022 г.	67	55	73	44	74	45	8

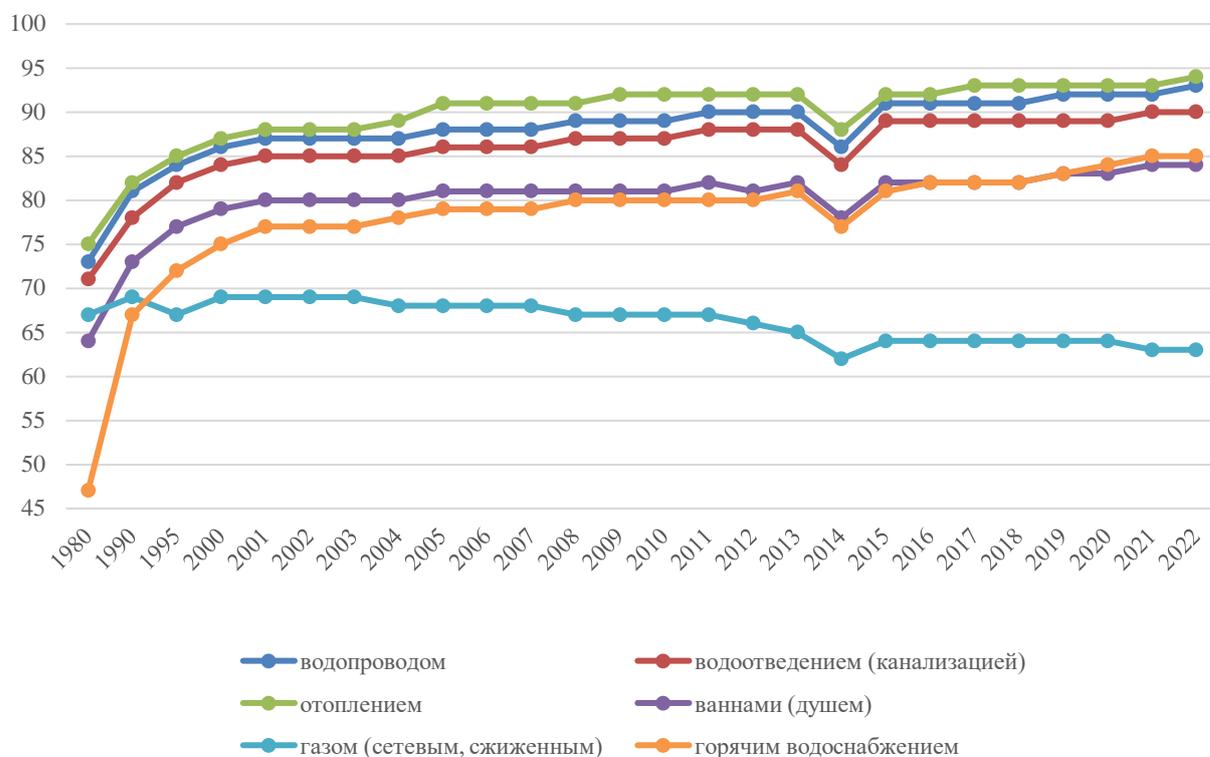
По данным [100] построен график, отражающий динамику удельного веса общей площади жилых фондов РФ, оборудованных элементами благоустройства (рисунок 1.2).



**Рисунок 1.2** – Удельный вес общей площади жилищного фонда РФ, оборудованной элементами благоустройства, %

Из анализа графика отметим, что площади, оснащенные сетевым или сжиженным газом, уменьшились. Это может быть обусловлено ростом популярности напольных электроплит. В то же время по другим элементам благоустройства наблюдается устойчивое увеличение. Основываясь на этих данных, можно заключить о высоком уровне внутреннего благоустройства жилья.

Построим график, отражающий динамику удельного веса общей площади городского жилищного фонда РФ, оборудованных элементами благоустройства (рисунок 1.3).

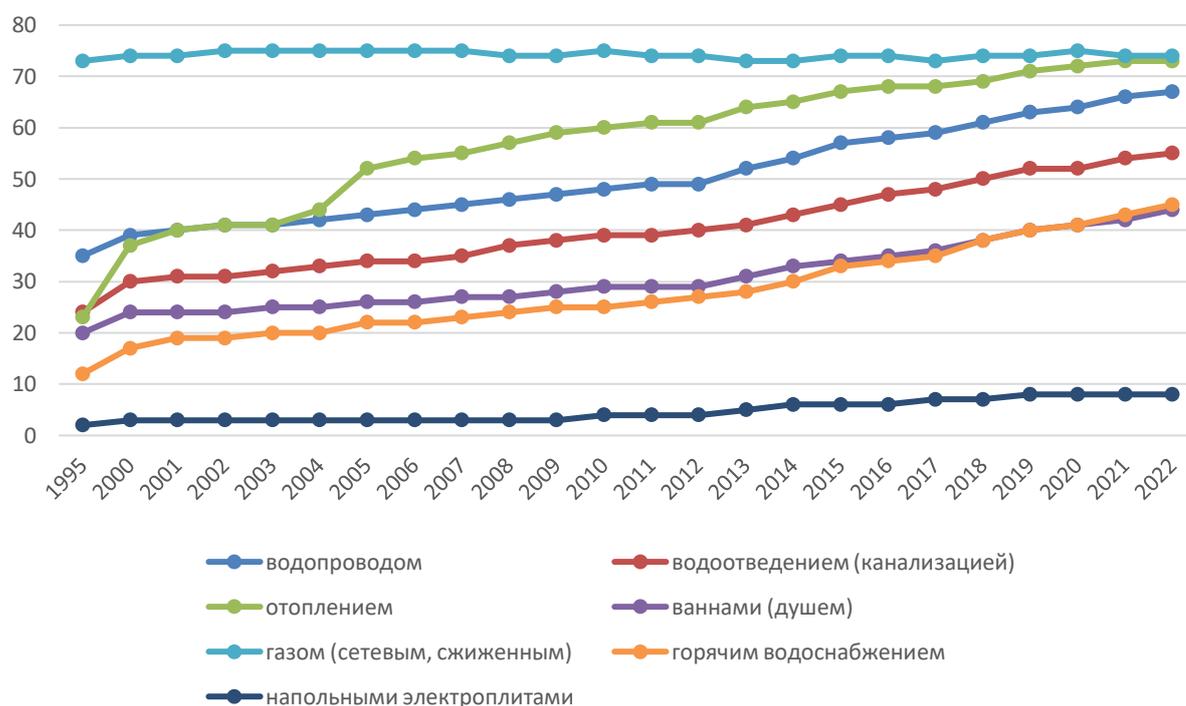


**Рисунок 1.3** – Удельный вес общей площади городского жилищного фонда РФ, оборудованной элементами благоустройства, %

Анализ графика демонстрирует тенденции, схожие с наблюдаемыми в общем жилищном фонде России. На этом графике заметно снижение доли площадей, оборудованных сетевым или сжиженным газом, а также постепенное увеличение других показателей благоустройства. Значительно выше среднего уровня по всей России оценивается уровень благоустройства городского жилищного фонда.

В регионах РФ прослеживаются значительные различия в уровне и соотношении благоустройства между городскими и сельскими жилищными фондами. Несмотря на то, что сельское население часто лучше обеспечено жильем, уровень благоустройства в сельских поселениях остается ниже городского [101]. Построенный график по сельскому жилищному фонду

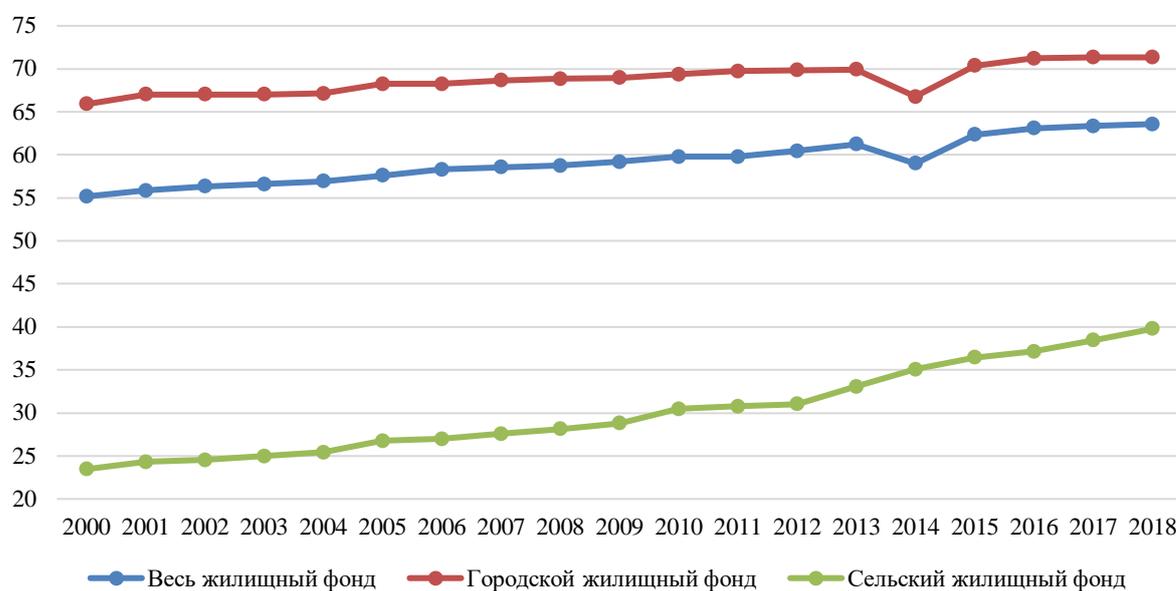
(рисунок 1.4) показывает низкий уровень благоустройства в конце 1990-х – начале 2000-х годов. Однако, в настоящее время виден рост благоустройства в сельской местности, что, возможно, связано с увеличением покупок загородных домов более обеспеченными гражданами и общим улучшением уровня жизни вне городов. Тем не менее, эти показатели все еще значительно уступают городским, что коррелирует с разницей в уровнях доходов городского и сельского населения.



**Рисунок 1.4** – Удельный вес общей площади сельского жилищного фонда РФ, оборудованной элементами благоустройства, %

Для более комплексной оценки уровня благоустройства жилищного фонда был предложен показатель, отражающий долю жилищного фонда, оборудованного полным набором современного коммунального оборудования [102]. Этот показатель рассчитывается как среднее геометрическое значение уровней обеспеченности различными видами коммунального оборудования.

Результаты расчетов по данным Федеральной службы государственной статистики [100] комплексной оценки уровня благоустройства жилого фонда, выраженные в процентах, представлены на рисунке 1.5.



**Рисунок 1.5** – Комплексные показатели оценки уровня благоустроенности жилищного фонда РФ, %

Помимо оценки уровня благоустроенности зданий с точки зрения количественной обеспеченности элементами благоустройства, не менее важной является оценка эффективности использования этих элементов. Одним из способов такой оценки является анализ зданий по классам энергоэффективности.

Класс энергоэффективности - система оценки энергетической эффективности зданий, которая позволяет определить, насколько рассматриваемое здание эффективно использует энергию для обеспечения комфорта жильцов или работников. Одной из задач применения классификации является снижение расходов энергии для владельцев и жильцов зданий, что способствует улучшению качества жизни внутри зданий. Классы энергоэффективности зданий повышают комфорт жильцов за счёт лучшей теплоизоляции здания, более стабильного микроклимата и

качественного воздуха в помещениях, а также снижают расходы на отопление и электроэнергию.

К концу 2020 года доля многоквартирных жилых домов (МКД) в России, имеющих класс энергетической эффективности от высочайшего (А++) до повышенного (С), увеличилась до 4,9%, что на 0,4% больше по сравнению с концом 2019 года. Процент МКД в категориях D, E, F, G также вырос с 3,7% до 4,5%. Одновременно уменьшилась доля МКД, не имеющих класса энергоэффективности, с 91,7% до 90,6% [103].

При этом количество новых МКД с присвоенным классом энергоэффективности возросло на 5,6%, достигнув 4216, причем 3943 из них (93,5%) соответствовали или превышали класс С [103].

В 2020 году МКД без класса энергоэффективности составили около 13% от всех введенных в эксплуатацию объектов, снижение с 14% в 2019 году. Большинство из них относятся к классу В (высокий), доля которого возросла с 41% в 2019 году до 44% в 2020 [103].

В Российской Федерации наблюдается увеличение доли энергоэффективных МКД, а также снижение доли МКД без класса энергоэффективности. При этом класс В (высокий) оказался наиболее распространенным. Эти данные отражают положительную тенденцию в области энергоэффективного строительства в России, хотя и демонстрируют необходимость дальнейшего развития в этом направлении.

Таким образом, уровень благоустройства жилья по оснащению элементами благоустройства в городах РФ приближается к максимальному. Однако, несмотря на количественный рост, существуют ряд препятствий, ограничивающих дальнейшее повышение уровня благоустройства до полного насыщения. В связи с этим, количественный рост уровня благоустройства жилья должен переориентироваться в пользу качественного улучшения уже имеющихся элементов благоустройства.

## **1.6 Количественная оценка уровня теплового комфорта. Условия комфортности теплового режима**

Внутренний микроклимат определяется как совокупность физических, химических и биологических условий внутри помещения, влияющих на комфорт, здоровье и производительность человека. ГОСТ 30494-2011 [104] устанавливает показатели, характеризующие микроклимат помещений: температура внутреннего воздуха, результирующая температура помещения, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, локальная асимметрия результирующей температуры. Эти параметры варьируются в зависимости от типа помещений и требуемого уровня комфорта.

Согласно [104], параметры микроклимата подразделяются на следующие категории:

- оптимальные - сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80% людей, находящихся в помещении;
- допустимые - сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызывать общее и локальное ощущение дискомфорта, умеренное напряжение механизмов терморегуляции, не вызывающих повреждений или нарушений состояния здоровья.

Также [104] устанавливает параметры микроклимата. Данные для холодного периода года представлены в таблице 1.2.

Комфорт в помещении – субъективное восприятие, формирующееся под воздействием разнообразных физических и психологических факторов [105, 106]. Это подчеркивает необходимость индивидуального подхода к созданию комфортных условий для каждого жильца.

**Таблица 1.2** – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий для холодного периода года согласно ГОСТ 30494-2011

Наименование помещения или категория	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая
Жилая комната	20-22	18-24	19-20	17-23	30-45	60	0,15	0,2
То же, в районах с -31°С и ниже	21-23	20-24	20-22	19-23	30-45	60	0,15	0,2

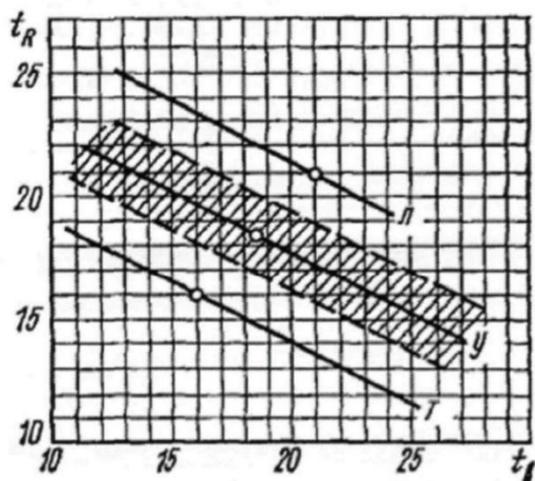
В оценке комфортности микроклимата помещения Богословский В.Н. в работе [68] рекомендует использование двух основных условий комфортности.

Первое условие комфортности температурной обстановки, как показано на рисунке 1.6, устанавливает диапазон приемлемых сочетаний температуры внутреннего воздуха ( $t_{в}$ ) и радиационной температуры помещения ( $t_{р}$ ), обеспечивающих условия, при которых человек в центре обслуживаемой зоны не испытывал ни перегрева, ни переохлаждения.

Второй критерий комфортности, представленный на рисунке 1.7, определяет приемлемые температуры нагретых и охлажденных поверхностей вблизи человека [107].

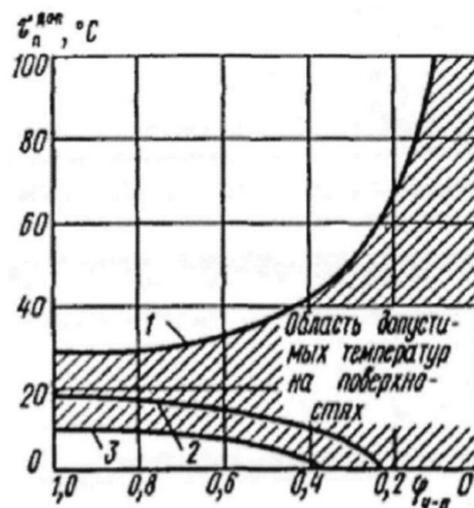
Исследования, проведенные Кононовичем Ю.В. [108-109], позволяют выделить три зоны температурных условий, проиллюстрированные на рисунке 1.8. В зоне I изменение температуры в узком диапазоне не влияет на тепловое комфортное ощущение большинства людей. Зона II определяется как область, где тепловые условия, хотя и могут вызывать небольшие субъективные отклонения от теплового комфорта, все же остаются приемлемыми. В зоне III допускаются более значительные отклонения внутренней температуры, но такие, которые все еще считаются допустимыми

для людей, пребывающих в помещении длительное время. Эти зоны позволяют определить оптимальные температурные условия для создания комфортной среды в помещениях.



**Рисунок 1.6** – Первое условие комфортности:

Т – при тяжелой работе; У – при умеренной работе (штриховкой указана область допустимых отклонений); Л – при легкой работе

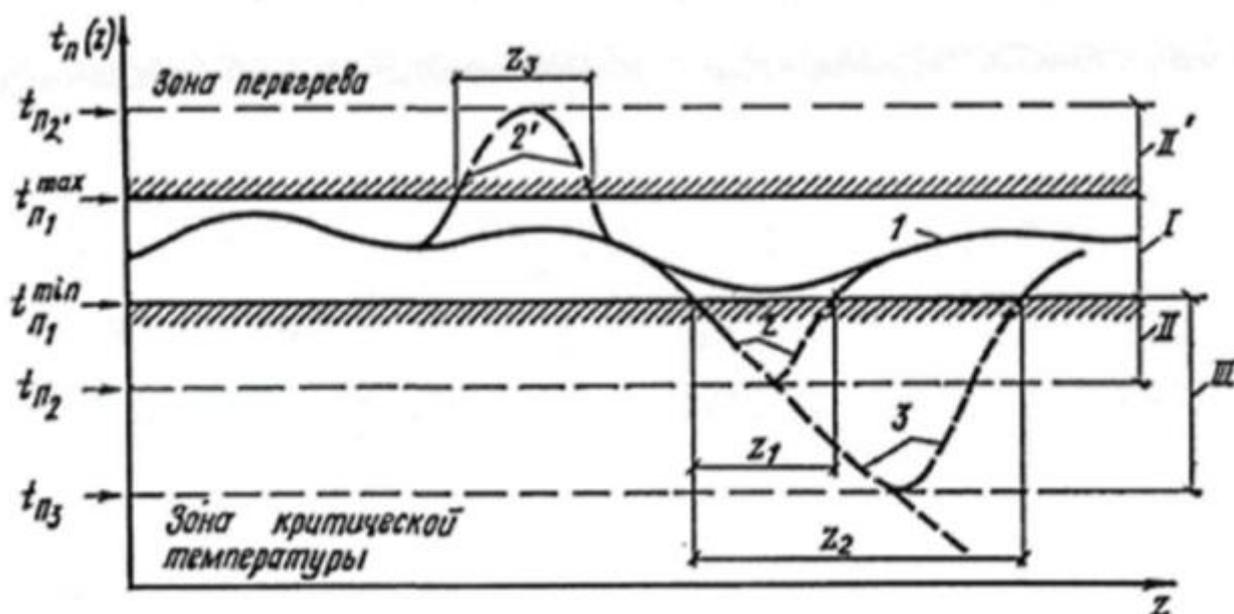


**Рисунок 1.7** – Второе условие комфортности:

1 – нагретые поверхности, 2 – охлажденные поверхности, 3 – поверхности окон

Исследования Ю.В. Кононовича [108-109] показали, что комфортные условия с допустимыми отклонениями (зона I) достигаются при температуре внутреннего воздуха  $t_{в} = 20 \pm 1,7$  °С. Ряд нормативов, таких как СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» и СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов», предусматривают амплитуду колебания температуры от  $\pm 1$  до  $\pm 2$  °С. Однако стоит учесть, что индивидуальные представления о комфортной температуре могут отличаться от нормируемых значений. ГОСТ 30494-2011 учитывает микроклиматические потребности примерно 80% людей в помещении. В связи с этим, для обеспечения комфортных условий, отвечающих индивидуальным предпочтениям жильцов, необходимо

предоставить им возможность адаптации микроклимата своих жилых помещений, даже если здания оснащены центральным теплоснабжением.



**Рисунок 1.8** – Зоны, определяющие заданные температурные условия отапливаемых помещений: I - комфортная; II, II' - допустимая при редких отклонениях в течение отопительного периода; III- допустимая при вероятном отклонении один раз в несколько лет

Брух С.В. в своей работе [110] вводит третье условие комфортности, которое заключается в необходимости предоставления возможности индивидуальной настройки параметров внутреннего микроклимата, чтобы соответствовать субъективному ощущению комфорта конкретного пользователя. Автор отмечает, что на комфортную для организма температуру внутреннего воздуха влияют тип одежды и величина метаболизма. Уровень метаболизма, в свою очередь, определяется рядом параметров: степенью активности, весом, ростом, режимом питания, возрастом и так далее. Поэтому сложно точно установить эту величину для каждого человека с точки зрения медицины. Также проблематично заранее предположить, какую одежду человек решит надеть или каковы будут его рост и вес, а также особенности телосложения.

В случае изменений в метаболизме человека, выбора более плотной одежды или увеличения уровня его физической активности по сравнению с обычным, возможна ситуация, когда, даже если будут соблюдены первый и второй условия комфортности, температура помещения окажется некомфортной. Для обеспечения комфорта необходимо, чтобы индивидуальный уровень тепловыделения телом человека соответствовал теплопотерям в окружающую среду, что требует индивидуальной регулировки параметров микроклимата помещения.

С.И. Бурцев и Ю.Н. Цветков в работе [111] также отмечают важность учета индивидуальных особенностей человека при проектировании систем кондиционирования воздуха. В работе освещается проблема проектирования систем кондиционирования воздуха, которые традиционно основываются на нормативах, рассчитанных для "среднего" человека, не учитывая индивидуальные особенности людей. Критика "среднего" уровня комфорта приводит к предложению о пересмотре ГОСТ 30494-96 с его разделением на отдельные нормы для жилых и общественных зданий. Акцентируется важность личного контроля над тепловым комфортом и качеством воздуха, основываясь на различиях в метаболизме, активности и физиологических потребностях людей. Это подтверждается исследованиями, указывающими на несоответствие "стандартных" параметров потребностям всех людей.

Стоит отметить, что на смену ГОСТ 30494-96 пришел ГОСТ 30494-2011 "Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях", введенный в действие с 1 января 2013 года. Стандарт уточняет требования к микроклимату в помещениях различного типа, включая жилые здания и детские дошкольные учреждения, а также к качеству воздуха в этих помещениях, устанавливая общие требования к оптимальным и допустимым показателям микроклимата и качества воздуха [104]. Однако проблема обеспечения адаптивного микроклимата по-прежнему остается актуальной.

Исследования Р.О. Fanger, А.Р. Gagge и других зарубежных ученых были посвящены определению тепловых ощущений человека в зависимости

от вида деятельности и показателей комфорта. Основным инструментом для оценки комфортности тепловых условий стало уравнение теплового баланса между телом человека и окружающей его средой, разработанное П.О. Фангером [112]:

$$M + W - E - RES = K_{cl} + R + C, \quad (1.1)$$

где  $M$  – скорость метаболизма человека, Вт/м<sup>2</sup>;  $W$  – теплообмен в результате внешней работы, Вт/м<sup>2</sup>;  $E$  – теплообмен в результате испарения пота, Вт/м<sup>2</sup>;  $RES$  – теплообмен в результате дыхания, Вт/м<sup>2</sup>;  $K_{cl}$  – кондуктивный теплообмен через одежду, Вт/м<sup>2</sup>;  $R$  – лучистый теплообмен, Вт/м<sup>2</sup>;  $C$  – конвективный теплообмен, Вт/м<sup>2</sup>.

П.О. Фангер обнаружил, что комфортное тепловое состояние человека определяется балансом между температурой его кожи и интенсивностью потоотделения. В ходе экспериментов в климатической камере он установил, что этот комфорт зависит от сочетания скорости метаболизма человека, характеристик окружающей его среды и носимой одежды. Это послужило основой для разработки стандартов ISO 7730, ANSI/ASHRAE 55-2020 и EN 15251, которые используются в мировой практике для оценки теплового комфорта [113].

Наиболее предпочтительным является стандарт ISO 7730, который широко применяется по всему миру, утвержден и введен в действие на территории Российской Федерации [113]. Он может быть использован в сочетании с другими смежными стандартами для расчета нестандартных условий теплового комфорта, например, для людей с ограниченными возможностями или в различных климатических условиях.

PMV обозначает среднее значение голосов группы жителей по семибалльной шкале ощущений температуры. PMV равно 0 соответствует идеальному равновесию, значение +3 указывает на чрезмерную жару, а значение -3 на чрезмерный холод (таблица 1.3).

**Таблица 1.3** – Шкала психофизиологического субъективного теплоощущения

Оценка в баллах	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
Ощущение человека	Жарко	Тепло	Немного тепло	Нейтрально	Немного прохладно	Прохладно	Холодно

Стандарт ISO 7730 устанавливает допустимый диапазон значений PMV (Predicted Mean Vote) от -2 до +2. Для зданий, которые уже эксплуатируются, этот диапазон составляет от -0,7 до +0,7, а для новых зданий - от -0,5 до +0,5 [113]. Несмотря на то, что PMV дает понимание об общем тепловом ощущении жителей, этот показатель не является достаточным. Для получения более полного понимания микроклимата здания также важно учитывать уровень удовлетворенности людей, находящихся внутри. В связи с этим П.О. Фангер разработал уравнение, которое определяет зависимость PMV от PPD [112].

Прогнозируемый процент недовольных (PPD) – это индикатор, который количественно оценивает долю жильцов, неудовлетворенных температурой в помещении. PPD показывает процент людей, испытывающих местный дискомфорт, например, от сквозняков, больших разниц в температурах разных частей тела, чрезмерно низкой или высокой температуры пола и других факторов. Согласно ISO 7730, значение PPD не должно превышать 20% [113].

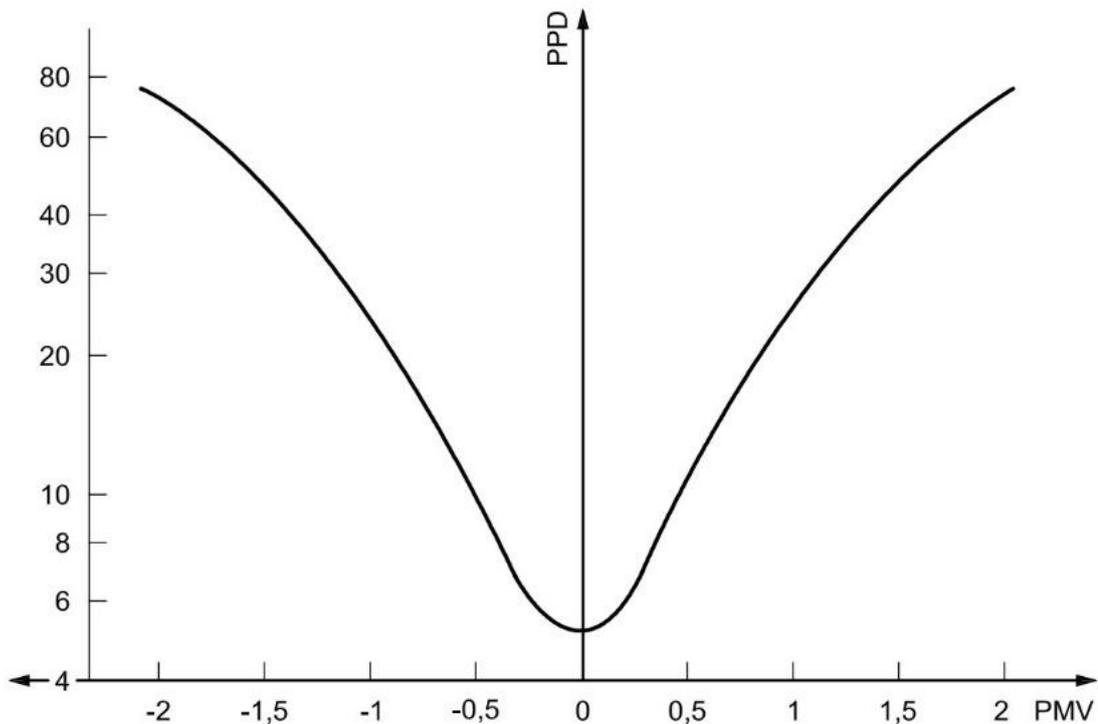
Зависимость показателей PPD и PMV указана в формуле (1.2) и на рисунке 1.9:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2), \quad (1.2)$$

Внутренняя температура воздуха в зданиях постоянно меняется под воздействием различных эксплуатационных факторов. Однако при допустимых отклонениях температурных параметров люди чувствуют себя комфортно, и поэтому стремление к «жесткой» стабилизации температуры не всегда необходимо.

Для улучшения условий комфортности в эксплуатируемых зданиях критически важно гарантировать потребителям тепловой энергии высокое

качество, которое является основным регулируемым параметром. Одной из приоритетных задач является контроль качества отопления, решение которой принесет экономический, социальный и экологический эффекты.



**Рисунок 1.9** – Зависимость показателя прогнозируемого индекса процента недовольных (PPD) от прогнозируемой средней оценки (PMV)

Для количественной оценки уровня комфорта условий микроклимата в помещениях используются индексы теплового комфорта [114], наиболее распространенными из которых являются:

- PMV (Predicted Mean Vote) – прогнозируемая средняя оценка. Этот индекс разработан по результатам исследований П.О. Фангера и представляет собой количественную оценку теплового комфорта на шкале от -3 (очень холодно) до +3 (очень жарко) [112]. PMV учитывает такие параметры, как температура воздуха, температура радиационного окружения, скорость движения воздуха, относительная влажность, метаболический режим и одежда человека.

- PPD (Percentage of People Dissatisfied) – прогнозируемый процент недовольных. Этот индекс связан с PMV и показывает процент людей,

которые могут быть недовольны тепловыми условиями в данной ситуации. PPD рассчитывается на основе PMV и служит для определения допустимого уровня дискомфорта в помещении. Обычно рекомендуется поддерживать PPD на уровне не выше 20% для обеспечения комфортных условий [112].

– Adaptive Comfort Model – включен в стандарты ASHRAE 55. Модель учитывает адаптацию к местному климату и сезонным изменениям [115]. Она предполагает, что люди, живущие в определенных климатических условиях, со временем адаптируются к ним, и поэтому их ощущения комфорта могут отличаться от людей, живущих в других условиях [116].

– Индекс SET (Standard Effective Temperature) - разработан ASHRAE и представляет собой меру теплового комфорта, учитывающую все шесть основных факторов, влияющих на тепловой комфорт человека: температуру воздуха, скорость воздуха, среднюю радиационную температуру, относительную влажность воздуха, тепловые характеристики одежды и интенсивность метаболизма человека [117].

– UTCI (Universal Thermal Climate Index) — индекс, который использует модель теплообмена человека для оценки воздействия различных условий окружающего теплового климата на человека. Он был разработан для оценки воздействия теплового климата на людей в общественных пространствах, но его также можно использовать для оценки теплового комфорта внутри помещений [118].

Модель с использованием индексов теплового комфорта PMV и PPD обладает определенными преимуществами для оценки удовлетворенности жильцов внутренним микроклиматом:

1. Модель прогнозируемого среднего значения голосов (PMV) входит в число наиболее признанных моделей теплового комфорта, что указывается в работах L. Yang, S. Carlucci, R. de Dear, L. Bai [119]. PMV был одобрен различными национальными и международными стандартами, например,

ASHRAE 55 (США), EN 15251 (Европа), GB/T 50785 (Китай) и ISO 7730 (международный). В Российской Федерации использование модели закреплено в стандарте ГОСТ Р ИСО 7730-2009.

2. Согласно работам Р.О. Fanger [112], модель разработана с использованием принципов теплового баланса и экспериментальных данных, собранных в контролируемой климатической камере в стационарных условиях, и учитывает широкий спектр факторов, влияющих на тепловой комфорт, включая температуру воздуха, скорость воздуха, среднюю температуру, относительную влажность воздуха, тепловые характеристики одежды и интенсивность метаболизма человека.

3. Модель была дополнена на основе сотен полевых исследований, в том числе в работах R. de Dear, G.S. Brager, J.F. Nicol, M. Humphreys [120, 121], исходя из идеи, что жильцы динамически взаимодействуют с окружающей средой. Жильцы контролируют свою тепловую среду с помощью одежды, работающих окон, вентиляторов, персональных обогревателей и солнцезащитных козырьков.

4. В стандарте ANSI/ASHRAE [122] указывается, что модель PMV может применяться в том числе к зданиям с кондиционерами, в то время как адаптивная модель может применяться только к зданиям, где не установлены механические системы.

5. Индекс PPD, являющийся частью модели [112, 113], представляет возможность оценить процент людей, которые могут быть недовольны имеющимся микроклиматом. Это может быть особенно полезно при регулировке параметров микроклимата жилых помещений, чтобы минимизировать дискомфорт жителей.

### **1.7 Тепловой комфорт в переходные периоды года**

В 1960 году М.В. Крыжановская в работе [123] обозначила проблему установления оптимальных сроков начала и окончания отопительного сезона. Автор указывает на недостаточность стандартов Госплана СССР 1946 года из-

за неучета местных климатических особенностей. Результаты исследований 1954—1955 годов, включающих анализ температурных режимов в жилых зданиях и опросы населения, показали, что установленная температура начала и окончания отопительного сезона, равная  $4,5^{\circ}\text{C}$ , не является подходящей для определения сроков отопительного сезона. М.В. Крыжановская предложила установить пороговые значения в  $7—8^{\circ}\text{C}$  и подчеркнула необходимость периодического подогрева зданий при падении температуры ниже этого порога для повышения комфорта проживания.

Следовательно, при проектировании и обслуживании систем отопления необходимо учитывать характеристики климатического периода, которые включают следующие элементы:

- отопительный период года, когда системы отопления работают при средней суточной температуре наружного воздуха ниже  $10$  или  $8^{\circ}\text{C}$ , в зависимости от типа здания (согласно ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [104]);

- весенний переходный период года, который характеризуется климатическим потеплением и продолжается с момента отключения системы отопления здания до выравнивания температур наружного и внутреннего воздуха;

- осенний переходный период года, характеризующийся климатическим похолоданием и продолжающийся с момента равенства температур наружного и внутреннего воздуха до включения системы отопления здания. Эти факторы важны для оптимального функционирования системы отопления и обеспечения комфортных условий в зданиях.

Централизованное теплоснабжение иногда не может обеспечить тепловой комфорт потребителей и не всегда ориентировано на их нужды. Это особенно заметно в осеннее межсезонье, когда температура в помещениях может быть некомфортной для жильцов или не соответствовать требованиям ГОСТ 30494-2011 [104]. В этот период отопление часто не включается,

поскольку среднесуточная температура воздуха не опускается ниже уровня, установленного Постановлением Правительства РФ от 06.05.2011 №354 [48].

Основная проблема заключается в невозможности регулирования центрального отопления "по требованию" потребителя и в неэффективной работе существующих систем. Это приводит к "перетопам" и "недотопам".

Ф.Р. Мухамедшарипов в [124] указывает, что перетопом считается превышение фактического количества теплоты ( $Q_{\text{факт}}$ ) над базовым ( $Q_{\text{баз}}$ ), а недотопом – когда  $Q_{\text{факт}} < Q_{\text{баз}}$ . Если потребитель не изменяет базовые значения расхода и температуры теплоносителя, он несет ответственность за недоиспользование тепловой энергии. В случае несоответствия расхода или температуры теплоносителя вина лежит на теплоснабжающей организации. Самый серьезный случай недотопа – это полное отсутствие отопления, за что могут быть ответственны как потребитель, так и теплоснабжающая организация.

Автор также подчеркивает, что проблему отопления в доотопительный период можно решить, разработав методы повышения эффективности систем теплоснабжения и определив рациональные режимы работы. Одно из возможных решений – это корректировка температурного графика в период начала и окончания отопительного сезона с целью перераспределения потребляемой тепловой энергии, включая тепловую энергию для горячего водоснабжения.

В большинстве жилых эксплуатируемых зданий в РФ потребление горячего водоснабжения имеет неравномерность в течение суток [125]. Наиболее заметное снижение потребления обычно происходит в ночные часы, что представляет собой один из самых длительных периодов низкого потребления. В жилых зданиях коэффициент часовой неравномерности водопотребления в системах ГВС обычно принимается на уровне не менее 2,4 [126], а при среднем числе жителей около 500–1000 чел. он будет выше и составит около 3,5 [127].

В ночное время часто происходит понижение температуры как наружного, так и, соответственно, внутреннего воздуха в помещениях. Этот аспект особенно актуален в периоды до начала отопительного сезона. Не редки ситуации, когда потребители тепловой энергии ощущают дискомфорт из-за отсутствия отопления и невозможности его регулирования.

Проблему нарушения теплового комфорта в эксплуатируемых зданиях с системами централизованного теплоснабжения в переходные периоды года можно решить за счет изменения конструкции индивидуального теплового пункта, которое позволит подавать тепловую энергию на отопление до начала и после официального окончания отопительного сезона.

### **1.8 Выводы по главе 1**

1. Тенденции развития систем теплоснабжения в России демонстрируют прогресс в автоматизации и управлении тепловыми пунктами, а также в методах расчета теплогидравлических режимов. Эффективное управление тепловой нагрузкой и применение современных методов, включая математическое моделирование процессов, способствуют повышению энергоэффективности и обеспечению комфортного микроклимата в зданиях.

2. Используемые методы и технические средства обеспечения теплоснабжения указывают на необходимость разработки технического решения, позволяющего удовлетворить потребность в отоплении многоквартирных зданий при нарушении нормативных параметров микроклимата.

3. Существующие режимы систем теплоснабжения демонстрируют значимость выбора оптимальных методов регулирования теплоснабжения для обеспечения эффективного и экономичного использования тепловой энергии. Особое внимание следует уделить разработке и внедрению гибких и адаптивных методов регулирования, что поможет достичь оптимального баланса между энергосбережением, уровнем комфорта и экономической эффективностью системы теплоснабжения.

4. Анализ способов автоматизации систем отопления и их интеграции с интеллектуальными системами указывает на необходимость разработки модели теплового режима здания, целью которой является обеспечение адаптивности микроклимата зданий. Такая модель будет способствовать более эффективному и точному регулированию подачи тепловой энергии в здание, учитывая потребности жильцов, теплотехнические и геометрические особенности конкретных зданий. В свою очередь, это повысит уровень теплового комфорта и удовлетворенность жителей.

5. Данные ВЦИОМ за 2018-2019 гг. показывают неудовлетворенность ЖКУ в размере 36% опрошенных, анализ жилого фонда РФ по Росстату показал значения комплексных показателей уровня благоустроенности равными 71% - городского жилого фонда, 40% - сельского, 64% - всего жилого фонда. Показатели близки к насыщению, требуется качественное улучшение систем внутреннего теплоснабжения с вниманием на адаптивность.

6. Оценка удовлетворенности людей внутренним микроклиматом и исследование его параметров выявили ключевую роль теплового комфорта в жилых зданиях. Выявлено, что в отличие от рассмотренных моделей, использование модели количественной оценки уровня теплового комфорта П.О. Фангера, основанной на ряде параметров внутреннего микроклимата и индивидуальных характеристик человека, позволяет оценить уровень комфорта и процент недовольных состоянием установившегося микроклимата.

7. Централизованное теплоснабжение в полной мере не обеспечивает комфорт и не адаптировано к индивидуальным потребностям жителей, что не соответствует третьему условию комфортности, особенно в переходные периоды. Проблемы связаны с отсутствием технической возможности подачи тепла до начала отопительного сезона и после его окончания по требованию потребителей для компенсации суточных перепадов наружной температуры воздуха.

## ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЯ

### 2.1 Описание математической модели

В текущей главе рассматривается математическая модель, описывающая тепломассообменные процессы здания, позволяющая определить тепловой режим здания и его потребления тепловой энергии на нужды отопления и горячего водоснабжения. Основу модели составляют уравнения балансов тепловых потоков на поверхностях ограждающих конструкций и в объемах помещения.

Математическая модель учитывает геометрические и теплотехнические свойства здания, наружную температуру, рассчитывая погодные условия для конкретного промежутка времени, рассматриваемого в задаче.

Цель использования модели – определение температур и прогнозирование динамического изменения температур внутреннего воздуха в помещении при изменении погодных условий и иных факторов, влияющих на внутренний микроклимат, с дальнейшей возможностью оценки уровня теплового комфорта человека в этом помещении.

Результат использования модели представляет собой график температур внутреннего воздуха с течением времени (с указываемым вручную интервалом расчета), график изменения индексов теплового комфорта PMV и PPD с течением времени.

Математическая модель использует следующие методы расчета: метод конечных элементов - численный метод, используемый для моделирования теплопередачи в помещении, который основывается на разбиении исследуемой области на конечное число элементов, для которых решаются уравнения теплопередачи; методы, основанные на теории теплообмена - позволяют рассчитывать теплообмен между воздухом в помещении, стенами, окнами и другими элементами.

Для нахождения температурного поля стены применяется метод решения уравнения нестационарной одномерной теплопроводности:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right); \quad (2.1)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha(T_{\text{ср}} - T), \quad (2.2)$$

где  $\rho$  – плотность кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С);  $\tau$  – время, сек.;  $T$  – температура, °С;  $T_{\text{ср}}$  – температура среды, °С;  $x$  – шаг сетки, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, кВт/(м·°С);  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, кВт/(м<sup>2</sup>·°С).

Объектом исследования являются жилые помещения и температуры внутреннего воздуха в них. Процесс разработки математической модели температур направлен на получение более точных данных о температурах внутри помещения в зависимости от внешних и внутренних факторов, которые могут влиять на уровень комфортности помещения для человека. Таким образом, исследование направлено на улучшение условий проживания людей и повышение уровня комфорта в жилых помещениях.

Для функционирования математической модели требуются следующие исходные данные: скорость движения воздуха, относительная влажность воздуха, скорость обмена веществ рассматриваемого человека (связана с видом деятельности, полом и возрастом), теплоизоляция комплекта одежды, геометрические размеры помещения, степень остекленности, материал ограждающих конструкций (или их коэффициенты теплопроводности), коэффициенты, наружный и внутренний коэффициенты теплоотдачи, временной интервал между расчетами, данные погодных условий

## 2.2 Дискретизация уравнения нестационарной теплопроводности

Для решения дифференциального уравнения теплопроводности (2.1), (2.2) требуется провести дискретизацию этого уравнения. Дискретизация заключается в замене дифференциальных функций рядом значений в определенных точках - узлах пространственной сетки [128]. Для создания пространственной сетки координаты разбиваются на конечное количество точек, где расстояние между ними называется шагом сетки.

Пространственная сетка является ключевым элементом при дискретизации дифференциального уравнения теплопроводности. При этом, для достижения необходимой точности решения, важно выбрать оптимальное количество точек сетки и соответствующий шаг сетки.

После того, как пространственная сетка сформирована, значения функций в узлах сетки заменяются на численные значения. Это позволяет представить дифференциальное уравнение в виде системы линейных алгебраических уравнений, которые могут быть решены численными методами.

Таким образом, дискретизация дифференциального уравнения теплопроводности является необходимым шагом при численном решении этой задачи. Создание пространственной сетки и выбор оптимального шага сетки - это ключевые этапы в этом процессе, которые позволяют достичь необходимой точности решения.

Пространственные сетки могут быть одномерными (включающие координату  $x$  или время  $t$ ), двумерными (координаты  $x$  и  $y$ ), трехмерными (координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Сетка может также быть декартовой, цилиндрической, сферической и т.д. в зависимости от вида координат.

Для определения значений температуры в узлах пространственной сетки применяется последовательный расчет температуры в каждом узле с использованием значения температуры в предыдущем узле. Этот процесс

продолжается до тех пор, пока значения температуры в узлах не сойдутся к стабильному решению.

Для достижения более высокой точности расчета можно использовать различные методы дискретизации, такие как метод конечных разностей, метод балансов и другие. Эти методы могут учитывать различные факторы, такие как изменение теплового потока, теплопроводность материала и другие факторы, что позволяет получать более точные результаты.

Однако, для моделирования теплопроводности обычно используют двухточечные краевые задачи, где условия теплообмена задаются на левой и правой границах [129]. Это означает, что температура на границах системы остается постоянной в течение всего процесса расчета, что упрощает моделирование и позволяет получать результаты с высокой точностью.

Для дискретизации дифференциальных уравнений, таких как уравнение теплопроводности, широко используется метод конечных разностей. Этот метод основывается на замене дифференциала на приращения, рассчитываемые на основе разницы температур в соседних точках:

$$q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} = \lambda \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta x}. \quad (2.3)$$

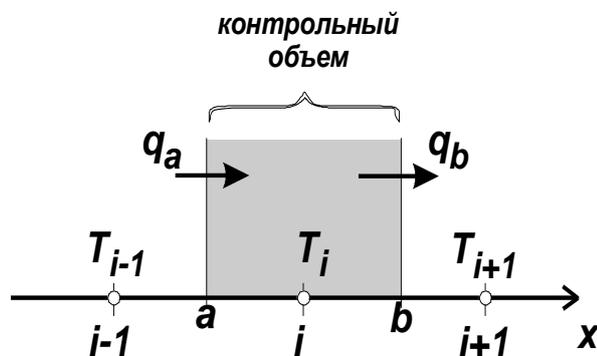
Для использования метода конечных разностей необходимо разбить пространство на сетку узлов, где будут вычисляться значения функций. Затем, в каждом узле вычисляются приращения функции, используя значения функции в соседних узлах. Эти приращения затем используются для вычисления дискретных значений функции в каждом узле.

Для каждой пары соседних узлов сетки записывается дискретное уравнение, где величина  $q$  остается неизменной в соответствии с законом сохранения энергии. В результате получается система из  $n$  уравнений с  $n+2$  неизвестными:  $q$  и температурами в узлах сетки  $T_0, T_1, \dots, T_n$ :

$$q = \lambda \frac{T_1 - T_0}{\Delta x}; \quad q = \lambda \frac{T_2 - T_1}{\Delta x}; \quad \dots; \quad q = \lambda \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta x}; \quad \dots; \quad q = \lambda \frac{T_n - T_{n-1}}{\Delta x}. \quad (2.4)$$

Метод балансов широко используется при моделировании теплообмена и состоит в составлении теплового баланса для контрольного объема, который выделен вокруг узла сетки (см. рисунок 2.1). Границы контрольных объемов обозначаются как  $a$  и  $b$  и находятся посередине между соседними узлами с шириной, равной шагу сетки (обозначаемой как  $\Delta x$ ). Для узлов, находящихся на границе области, одна из границ контрольного объема проходит через этот узел. При этом для граничных узлов ширина граничных контрольных объемов (для узлов  $0$  и  $n$ ) равна половине шага сетки (то есть  $\Delta x/2$ ).

Если использовать метод конечных разностей, то возникает проблема наличия дополнительной неизвестной  $q$ . Поэтому для этого метода обычно задают значения для двух неизвестных величин - температур на границах области  $T_0, T_n$  или одна из них и тепловой поток  $q$ . Кроме того, можно записать дополнительные уравнения для левой и правой границ, которые определяют теплообмен между границей и окружающей средой.



**Рисунок 2.1** – Контрольный объем, выделенный вокруг узла сетки

Для получения дискретного аналога в методе балансов существуют два способа:

1) интегрирование дифференциального уравнения по контрольному объему:

$$\int_a^b \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) \right] dx = 0 \quad \Rightarrow \quad \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right)_b - \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right)_a = 0; \quad (2.5)$$

2) метод теплового баланса:

$$q_b - q_a = 0 \quad \Rightarrow \quad \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right)_b - \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right)_a = 0. \quad (2.6)$$

Для расчета значения  $\partial T$  на границе  $a$  используется разность температур в точках  $i$  и  $i-1$ , а для границы  $b$  - разность температур в точках  $i+1$  и  $i$ . Значение  $\Delta x$  определяется как расстояние между точками сетки. В результате получаем формулу:

$$\lambda_b \frac{T_{i-1} - T_i}{\Delta x} + \lambda_a \frac{T_i - T_{i+1}}{\Delta x} = 0, \quad (2.7)$$

где  $\lambda_b$  и  $\lambda_a$  - коэффициенты теплопроводности материала на правой и левой границах контрольного объема соответственно, кВт/(м·°С).

Коэффициенты теплопроводности  $\lambda_b$  и  $\lambda_a$  могут быть вычислены на основе температуры на границах области. В качестве температуры на границах области принято среднее арифметическое от температур двух соседних узлов:

$$\lambda_b = \lambda \left( \frac{T_{i+1} + T_i}{2} \right); \quad \lambda_a = \lambda \left( \frac{T_i + T_{i-1}}{2} \right). \quad (2.8)$$

Для всех  $n+1$  узлов записываются дискретные выражения, при этом необходимо сохранять знак разности при замене дифференциала на приращения, вычитая из температуры узла с большей координатой температуру узла с меньшей координатой. Количество уравнений и неизвестных определяется граничными условиями, включая уравнения для первого и последнего узлов в методе балансов.

Для определения граничных условий в задачах теплопереноса используются различные способы, которые можно классифицировать на граничные условия первого, второго и третьего рода [98]:

*Граничные условия I рода* определяются заданием температуры на границах области  $T_0$  и/или  $T_n$ . Использование таких граничных условий приводит к тому, что уравнение для соответствующего граничного узла отсутствует. Следовательно, при использовании граничных условий первого

рода для одной границы общее количество уравнений уменьшается на одно, а для обеих границ - на два.

*Граничные условия II рода* задают плотность теплового потока на границе  $q_a$  (для узла 0) или  $q_b$  (для узла n). В случае отсутствия внутренних источников тепла, тепловой поток в любой точке остается постоянным. Поэтому для второй границы необходимо использовать граничные условия первого или третьего рода.

*Граничные условия III рода* определяются законом передачи тепла на границе области и задаются уравнениями:

$$q_a = \alpha(T_{гр1} - T_0); \quad (2.9)$$

$$q_b = \alpha(T_n - T_{гр2}), \quad (2.10)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $T_{гр1}$  и  $T_{гр2}$  – температура среды на соответствующей границе, °С.

Из-за того, что граничные условия первого и второго рода считаются идеализированными и не отражают реальные условия, они редко используются в практических задачах. Обычно для решения задач теплопереноса применяют граничные условия третьего рода.

Для решения нестационарного дифференциального уравнения, необходимо получить температурное поле через определенные интервалы времени. В начальный момент времени температура во всех точках должна быть задана. Для получения дискретного аналога этого процесса необходимо интегрировать дифференциальное уравнение по временному и пространственным интервалам:

$$\rho c \int_a^b \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{\Delta T}{\Delta \tau} d\tau dx = \rho c \int_{\tau_0}^{\tau} \int_a^b \frac{\Delta T}{\Delta \tau} dx d\tau. \quad (2.11)$$

Обозначив температуру в начальный момент времени индексом «0» как  $\tau_0$ , получаем:

$$\rho c \Delta x (T_i - T_i^o) = \int_{\tau_0}^{\tau} \left( \lambda_a \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta x} - \lambda_b \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta x} \right) d\tau. \quad (2.12)$$

Формула (2.12) содержит правую часть, которую можно рассматривать как усреднение температуры в интервале времени  $[\tau_0, \tau]$ . Для этого необходимо использовать значения температуры на границах интервала. При этом значения температуры известны только в дискретных точках, поэтому происходит их усреднение. Для реализации усреднения применяются два следующих способа:

1. Явная схема. Принимаем  $\int_{\tau_0}^{\tau} T d\tau = T^o$ . Дискретный аналог будет иметь

следующий вид:

$$\rho c \frac{\Delta x}{\Delta \tau} (T_i - T_i^o) = \lambda_b \frac{T_{i+1}^o - T_i^o}{\Delta x} - \lambda_b \frac{T_i^o - T_{i-1}^o}{\Delta x}. \quad (2.13)$$

2. Неявная схема. Принимаем  $\int_{\tau_0}^{\tau} T d\tau = T$ . Дискретный аналог можно

представить следующим образом:

$$\rho c \frac{\Delta x}{\Delta \tau} (T_i - T_i^o) = \lambda_b \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta x} - \lambda_b \frac{T_i - T_{i+1}}{\Delta x}. \quad (2.14)$$

3. Схема Кранка – Николсона. Принимаем  $\int_{\tau_0}^{\tau} T d\tau = \frac{T + T^o}{2}$ . Дискретный

аналог имеет вид:

$$\rho c \frac{\Delta x}{\Delta \tau} (T_i - T_i^o) = \frac{1}{2} \left( \lambda_b \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta x} - \lambda_a \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta x} \right) + \frac{1}{2} \left( \lambda_b \frac{T_{i+1}^o - T_i^o}{\Delta x} - \lambda_a \frac{T_i^o - T_{i-1}^o}{\Delta x} \right) \quad (2.15)$$

Метод решения нестационарного уравнения заключается в нахождении значений температуры  $T_i$  на следующий момент времени, исходя из известных

значений температуры  $T_i^o$  на текущий момент времени. Величина шага по времени  $\Delta\tau$  выбирается таким образом, чтобы изменение температуры по времени было меньше, чем изменение температуры между соседними узлами сетки:

$$\Delta\tau < \rho c \frac{\Delta x^2}{2\lambda}. \quad (2.16)$$

Для решения нестационарного уравнения существуют различные методы, включая неявную схему и схему Кранка-Николсона, которые используют итерационный подход к вычислениям. Расчет начинается с задания начального значения температуры  $T_i$ , которое может быть задано как  $T_i^o$  или получено при использовании явной схемы. Затем производится итерационный расчет, используя  $T_i$ , полученное в предыдущей итерации. Расчет заканчивается, когда разница между полученными  $T_i$  и результатами предыдущей итерации становится незначительной.

Схема Кранка-Николсона считается наиболее точной из рассмотренных методов, однако, при использовании больших шагов по времени, может происходить колебание решения, что может привести к погрешностям в расчетах [130].

В отличие от этого, неявная схема лишена данной проблемы, но обычно дает более неточные результаты, что может приводить к ускоренному остыванию здания при расчетах.

Стоит отметить, что при расчете применяются приграничные контрольные объемы, которые имеют длину равную половине шага сетки (то есть  $\Delta x/2$ ), что приводит к следующему дискретному аналогу:

$$\begin{aligned} \rho c \frac{\Delta x}{2 \Delta\tau} (2 \cdot (T_i - T_i^o)) = \frac{1}{2} \left( \lambda_b \frac{2 \cdot (T_{i+1} - T_i)}{\Delta x} - \lambda_a \frac{2 \cdot (T_i - T_{i-1})}{\Delta x} \right) + \\ + \frac{1}{2} \left( \lambda_b \frac{2 \cdot (T_{i+1}^o - T_i^o)}{\Delta x} - \lambda_a \frac{2 \cdot (T_i^o - T_{i-1}^o)}{\Delta x} \right) \end{aligned} \quad (2.17)$$

При проведении дискретизации дифференциальных уравнений возникает система линейных уравнений, в которой неизвестными являются

значения температур в узлах сетки. Каждое уравнение представляет собой линейное выражение с неизвестными и коэффициентами, пронумерованными от 0 до k. Если заданы граничные условия второго и третьего рода, то количество уравнений равно количеству узлов в сетке, а если заданы граничные условия первого рода, то число уравнений меньше. Результатом является система уравнений, которая включает уравнения для каждой точки, левой и правой границы.

Для нахождения решения этой системы линейных уравнений применяется метод прогонки. Предполагается, что область разбита на узлы с номерами от 0 до n, а для левой и правой границ заданы граничные условия второго или третьего рода. В этом случае число уравнений и неизвестных равно  $n+1$ , и система представляется в виде формулы (2.18):

$$\begin{cases} a_0 T_1 + b_0 T_0 + d_0 = 0 \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ a_i T_{i+1} + b_i T_i + c_i T_{i-1} + d_i = 0 \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ b_n T_n + c_n T_{n-1} + d_n = 0 \end{cases} \quad (2.18)$$

Метод прогонки заключается в том, что сначала находятся коэффициенты прогонки для всех узлов, а затем по этим коэффициентам вычисляются значения температуры во всех узлах.

Выразим температуру  $T_0$  из первого уравнения:

$$T_0 = -\left(\frac{a_0}{b_0}\right) T_1 - \left(\frac{d_0}{b_0}\right) \quad \text{или} \quad T_0 = f_0 T_1 + g_0, \quad (2.19)$$

$$\text{где } f_0 = -\left(\frac{a_0}{b_0}\right); \quad g_0 = -\left(\frac{d_0}{b_0}\right).$$

Подставляя  $T_0$  во второе уравнение, получаем:

$$a_1 T_2 + b_1 T_1 + c_1(f_0 T_1 + g_0) + d_1 = 0. \quad (2.20)$$

Выражая температуру  $T_1$  из этого уравнения, имеем:

$$T_1 = -\left(\frac{a_1}{b_1+c_1 \cdot f_0}\right) T_2 - \left(\frac{d_1+c_1 \cdot g_0}{b_1+c_1 \cdot f_0}\right) = f_1 T_2 + g_1. \quad (2.21)$$

Проводя аналогичные преобразования и подстановки для следующих уравнений, получаем:

$$T_i = f_i T_{i+1} + g_i, \quad (2.22)$$

$$\text{где } f_i = -\left(\frac{a_i}{b_i+c_i \cdot f_{i-1}}\right), \quad g_i = -\left(\frac{d_i+c_i \cdot g_{i-1}}{b_i+c_i \cdot f_{i-1}}\right).$$

Таким образом, можно вычислить температуру в узле  $n$ , используя только значения коэффициентов  $f$  и  $g$  в предыдущих узлах, без необходимости нахождения значения температур в узлах. Для этого подставляем выражение, полученное из предпоследнего уравнения ( $i = n - 1$ ):

$$T_{n-1} = f_{n-1} T_n + g_{n-1}, \quad (2.23)$$

в последнее уравнение с номером  $n$  и находим искомую температуру в узле  $n$ :

$$T_n = \left(\frac{d_n+c_n \cdot g_{n-1}}{b_n+c_n \cdot f_{n-1}}\right). \quad (2.24)$$

После того, как были определены коэффициенты  $f$  и  $g$  для всех узлов от 0 до  $n-1$  и значение  $T_n$ , можно рассчитать температуру в остальных узлах, двигаясь от последнего узла к начальному.

Расчёт методом прогонки выполняется следующим образом:

1. Расчет коэффициентов  $f_0$  и  $g_0$ :

$$f_0 = -\left(\frac{a_0}{b_0}\right); \quad g_0 = -\left(\frac{d_0}{b_0}\right). \quad (2.25)$$

2. Расчет коэффициентов  $f_i$  и  $g_i$ :

$$f_i = -\left(\frac{a_i}{b_i+c_i \cdot f_{i-1}}\right), \quad g_i = -\left(\frac{d_i+c_i \cdot g_{i-1}}{b_i+c_i \cdot f_{i-1}}\right), \quad i = 1 \dots n. \quad (2.26)$$

3. Расчет температуры в последнем узле сетки:

$$T_n = -\left(\frac{d_n+c_n \cdot g_{n-1}}{b_n+c_n \cdot f_{n-1}}\right). \quad (2.27)$$

4. Расчет температур в узлах сетки:

$$T_i = f_i T_{i+1} + g_i, \quad i = n - 1 \dots 0. \quad (2.28)$$

При моделировании теплообмена температура может быть задана как в абсолютных единицах, так и в градусах Цельсия.

### **2.3 Входные параметры для работы математической модели**

Для функционирования математической модели требуются следующие исходные данные: скорость движения воздуха, относительная влажность воздуха, скорость обмена веществ рассматриваемого человека (связана с видом деятельности, полом и возрастом), теплоизоляция комплекта одежды, геометрические размеры помещения, степень остекленности, материал ограждающих конструкций (или их коэффициенты теплопроводности), коэффициенты, наружный и внутренний коэффициенты теплоотдачи, временной интервал между расчетами, данные погодных условий

#### **2.3.1 Геометрические и теплотехнические характеристики ограждающих конструкций**

Энергоэффективность здания определяется с помощью удельных затрат на отопление, основанных на таких факторах, как [131]:

- архитектурное решение, используемые строительные материалы
- соотношение между объемом тепловой энергии, подаваемой в здание, и реально требуемым количеством.

Основные характеристики ограждающих конструкций, влияющие на их способность удерживать тепло, включают сопротивление теплопередаче и теплоаккумулирующую способность объекта, что позволяет им эффективно использовать и сохранять тепловую энергию.

Сопротивление теплопередаче, или термическое сопротивление ( $R$ ), напрямую зависит от теплоизоляционных характеристик материалов, используемых в строительстве. Этот показатель определяется на основе коэффициента теплопроводности ( $\lambda$ ) материала и толщины его слоя ( $\delta$ ) в

метрах. Таким образом, сопротивление теплопередаче показывает, насколько эффективно материалы и конструкции удерживают тепло внутри здания:

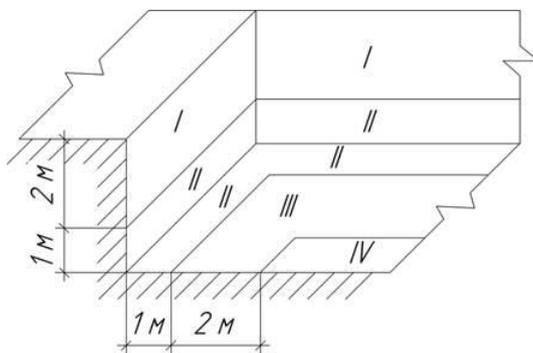
$$R = \delta/\lambda. \quad (2.29)$$

В случае многослойных ограждающих конструкций, сопротивление теплопередаче определяется с учетом каждого слоя материала, а также коэффициентов теплоотдачи на наружной и внутренней поверхностях:

$$R = 1/\alpha_n + \sum \delta_i/\lambda_i + 1/\alpha_v, \quad (2.30)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности ограждающей конструкции в окружающую среду (принимается равным 23 согласно СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»), Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_v$  – коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности ограждающей конструкции от внутреннего объема помещения (принимается равным 8,7 согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»), Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\delta_i$  – толщина слоёв, м;  $\lambda_i$  – коэффициенты теплопроводности слоёв, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Полы на грунте рассчитываются по методике, применение которой состоит в разделении поверхности пола на участки шириной 2 метра, начиная от наружной поверхности стены во внутрь здания с условно постоянной температурой в каждой зоне. В результате формируются зоны I, II, III и IV. Для каждой из этих зон устанавливаются нормативные значения сопротивления теплопередаче, что позволяет точнее оценить теплоизоляционные свойства конструкции.



Зона I – 2,1 м<sup>2</sup>·°С/Вт;

Зона II – 4,3 м<sup>2</sup>·°С/Вт;

Зона III – 8,6 м<sup>2</sup>·°С/Вт;

Зона IV – 14,2 м<sup>2</sup>·°С/Вт.

**Рисунок 2.2** – Расчетная схема зон пола

По формуле определяется термическое сопротивление теплопередаче отдельных зон полов  $R_{пл}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ :

$$R_{пл}^i = \frac{1}{0,85} (R_{ин}^i + \sum R_{ус}) \quad (2.31)$$

где  $R_{пл}^i$  – значение термического сопротивления теплопередаче отдельных зон неутеплённых полов,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ;  $\sum R_{ус}$  – сумма значений термического сопротивления теплопередаче утепляющего слоя,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ .

Величину  $\sum R_{ус}$  вычисляют по уравнению

$$\sum R_{ус} = R_{ен} + \frac{\delta_{ум}}{\lambda_{ум}}, \quad (2.32)$$

где  $R_{ен}$  – термическое сопротивление воздушной прослойки,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ ;  $\delta_{ум}$  – толщина слоя утепления, м;  $\lambda_{ум}$  – коэффициент теплопроводности материала,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ .

Определение термического сопротивления светопрозрачных конструкций, таких как окна, может быть выполнено с использованием двух подходов. Первый подход основан на СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий», который учитывает такие параметры, как материал окон, количество камер стеклопакета и его толщину. Второй подход основан на сертификатах завода-изготовителя, полученных в результате лабораторных испытаний. Если в здании присутствуют разные типы окон, рассчитывается среднее значение термического сопротивления.

Документация предлагает методы расчета сопротивления теплопередачи, учитывающие различные факторы и поправочные коэффициенты [132]. Это включает в себя учет неоднородности ограждающих конструкций, термическое сопротивление чердаков, подвалов, покрытий и перекрытий над проездами, а также вентилируемых воздушных прослоек.

В нормативной литературе для зданий также предусмотрен расчет приведенного коэффициента теплопередачи через наружные ограждающие конструкции. Этот коэффициент представляет собой трансмиссионный

коэффициент теплопередачи или удельную теплозащитную характеристику здания,  $k_{пл}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К) или  $k_{об}$ , Вт/(м<sup>3</sup>·К):

$$k_{пл} = \frac{1}{A} \sum n_i \frac{A_i}{R_i}; k_{об} = K_k k_{пл}, \quad (2.33)$$

где  $A$  – сумма площадей всех элементов наружных ограждений оболочки здания (стен, окон, чердачных и подвальных перекрытий и др.), м<sup>2</sup>;  $A_i$  и  $R_i$  – площадь элементов и их приведённое термическое сопротивление;  $n_i$  – 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  $V_{от}$ ).

Важным показателем для дальнейшего анализа является теплоаккумулирующая способность ограждающих конструкций здания. Этот параметр показывает, насколько хорошо конструкции удерживают тепло. Для расчета теплоаккумулирующей способности отдельных элементов ограждающих конструкций, таких как стены, чердачные и подвальные перекрытия, используется соответствующая формула:

$$q_i = c_i \cdot \rho_i \cdot V_i, \quad (2.34)$$

где  $q_i$  – теплоаккумулирующая характеристика элемента здания (стены, чердачное перекрытие, подвальное перекрытие),  $\frac{\text{кДж}}{\text{К}}$ ;  $c_i$  – теплоемкость элемента здания,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ;  $\rho_i$  – плотность элемента здания,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $V_i$  – объем элемента здания, м<sup>3</sup>

Для определения общей теплоаккумулирующей способности здания необходимо провести расчеты для всех составляющих его ограждающих конструкций:

$$q_{акк.зд.} = k_{мас} \cdot \sum q_i = k_{мас} \cdot (q_{ст} \cdot q_{чер} \cdot q_{подв}) \quad (2.35)$$

$$Q_{акк.зд.} = q_{акк.зд.} \cdot \Delta t, \quad (2.36)$$

где  $q_{\text{акк.зд.}}$  – показатель теплоаккумулирующей способности здания,  $\frac{\text{кДж}}{\text{К}}$ ;  $q_i$  – теплоаккумулирующая способность каждого отдельного элемента здания (стен, чердачного и подвального перекрытий),  $\frac{\text{кДж}}{\text{К}}$ ;  $k_{\text{мас}}$  – поправочный коэффициент для массы внутреннего объема;  $Q_{\text{акк.зд.}}$  – количество теплоты, которое может аккумулироваться зданием, кДж;  $\Delta t$  – разница температур между внутренней и наружной средами, К.

Важный аспект определения энергоэффективности здания – это расчет тепловых потерь через элементы ограждающих конструкций, включая стены, окна, двери, чердачные перекрытия, подвалы или полы. Для этого используются уравнения теплопроводности в стационарных условиях:

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}, \quad (2.37)$$

где  $q$  – тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), который является показателем теплофизических свойств материала, и обратно пропорционален его теплозащитным свойствам;  $t$  – температура, К (°С);  $x$  – координата, м.

Для расчета теплового потока через стены используется следующая формула:

$$Q_{ст} = q_{ст} \cdot A_{ст}, \quad (2.38)$$

где  $q_{ст}$  – удельный тепловой поток через стены, Вт/м<sup>2</sup>;  $t_{вн.ст}$  – внутренняя температура стенки, °С;  $t_{вн}$  – температура внутри помещения, °С;  $\alpha_{вн}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}$ .

Тепловой поток через чердачное перекрытие, подвал и окна находится по формуле:

$$q_{кр/подв/окн} = \frac{(t_{вн} - t_{нар})}{R_{кр/подв/окн}}, \quad (2.39)$$

где  $q_{кр/подв/окн}$  – удельный тепловой поток через чердачное перекрытие/подвальное помещение/окна, Вт/м<sup>2</sup>;  $t_{вн}$  – внутренняя температура помещения, °С;  $t_{нар}$  – наружная температура окружающей среды, °С;  $R_{кр/подв/окн}$  – термическое сопротивление чердачного перекрытия/подвального помещения/окна,  $\frac{м^2 \cdot °С}{Вт}$ .

Потери теплоты через описанные выше ограждающие конструкции могут быть найдены через произведения тепловых потоков на площади соответствующих им ограждающих конструкций:

$$Q = q \cdot A, \quad (2.40)$$

где  $Q$  – потери теплоты через ограждающую конструкцию, кВт;  $q$  – удельный тепловой поток через ограждающую конструкцию, Вт/м<sup>2</sup>;  $A$  – площадь ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>.

Потери теплоты через воздух системы вентиляции могут происходить из-за нескольких причин, таких как недостаточная утепленность вентканалов, утечки воздуха через стыки и двери, и неэффективность вентиляционных устройств.

Одним из методов расчета объема воздуха для компенсации потерь теплоты является метод расчета теплового баланса. Этот метод основывается на том, что тепловые потери должны быть компенсированы воздухом, который пропускается через систему вентиляции. Таким образом, расчет объема воздуха осуществляется на основе измерения тепловых потерь и коэффициента теплоотдачи, который зависит от материала стенок вентканалов и вентиляционных устройств.

Другой метод расчета объема воздуха - метод расчета воздухообмена. Этот метод основывается на измерении скорости воздуха и объема воздуха, который пропускается через систему вентиляции. Объем воздуха, необходимый для компенсации потерь теплоты, рассчитывается на основе

удельного теплового потока, который зависит от температуры воздуха на входе и выходе из системы вентиляции.

После определения расхода воздуха рассчитывается удельная вентиляционная характеристика здания  $k_{\text{вент}}$ , Вт/(м<sup>3</sup>·К), которая имеет ту же размерность, что и приведенный коэффициент теплопередачи  $k_{\text{об}}$ . Для расчета потерь теплоты через вентиляцию необходимо учитывать кратность воздухообмена, теплоемкость воздуха, разность температур внутри и снаружи помещения и его отапливаемый объем.

Потери теплоты определяются по следующей формуле:

$$Q_{\text{вент}} = c_{\text{возд}} \cdot \frac{k_{\text{возд}}}{3600} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) \cdot V_{\text{от}} \cdot 1000 \quad (2.41)$$

где  $Q_{\text{вент}}$  – потери теплоты через вентиляцию, кВт;  $c_{\text{возд}}$  – удельная теплоемкость воздуха,  $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$ ;  $V_{\text{от}}$  – отапливаемый объем здания, м<sup>3</sup>;  $k_{\text{возд}}$  – кратность воздухообмена здания, 1/ч;  $t_{\text{вн}}$  – внутренняя температура помещения, °С;  $t_{\text{нар}}$  – наружная температура окружающей среды, °С.

Суммируя отдельные виды потерь, можно определить общее количество потерь теплоты:

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{кр}} + Q_{\text{подв}} + Q_{\text{окн}} + Q_{\text{вент}} \quad (2.42)$$

где  $Q_{\text{пот}}$  – потери тепла, кВт;  $Q_{\text{вент}}$  – потери теплоты через вентиляцию, кВт;  $Q_{\text{кр}}$  – потери теплоты через чердачное перекрытие, кВт;  $Q_{\text{подв}}$  – потери теплоты через подвальное помещение, кВт;  $Q_{\text{окн}}$  – потери теплоты через окна, кВт;  $Q_{\text{ст}}$  – потери теплоты через стены, кВт.

Для расчета необходимого количества теплоты для отопления здания можно использовать тепловой баланс, который может быть представлен следующим образом:

$$Q_o = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{окн}} + Q_{\text{кр}} + Q_{\text{под}} + Q_{\text{вент}} - Q_{\text{инс}} - Q_{\text{вн}}, \quad (2.43)$$

где  $Q_o$  – расход тепловой энергии на отопление;  $Q_{\text{ст}}$  – потери теплоты через стены;  $Q_{\text{окн}}$  – потери теплоты через окна и двери;  $Q_{\text{кр}}$  – потери теплоты через

чердачное перекрытие или совмещённую с перекрытием крышу;  $Q_{\text{под}}$  – потери теплоты через подвал или пол;  $Q_{\text{вент}}$  – потери теплоты с вентиляцией;  $Q_{\text{инс}}$  – поступление теплоты от солнечной радиации;  $Q_{\text{вн}}$  – внутренние тепловыделения в здании от людей, электроприборов, освещения.

Для пересчета затрат тепловой энергии на отопление можно использовать текущую наружную температуру воздуха и расчетную температуру воздуха:

$$q_{\text{ГС ОП}} = q_{\text{от}} \cdot \frac{(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар.тек.}})}{(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар.расч.}})}, \quad (2.44)$$

где  $q_{\text{ГС ОП}}$  – пересчитанная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление, Вт/(м<sup>3</sup>·К);  $q_{\text{от}}$  – расчётная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление, Вт/(м<sup>3</sup>·К);  $t_{\text{вн}}$  – внутренняя температура помещения, °С;  $t_{\text{нар.тек.}}$  – текущая наружная температура окружающей среды, °С;  $t_{\text{нар.расч.}}$  – расчетная наружная температура окружающей среды, °С.

### 2.3.2 Температура наружного воздуха

Для расчета параметров внутреннего микроклимата используются общедоступные базы данных погодных условий. Для расчета температуры наружного воздуха на более короткие промежутки времени, необходимо найти нелинейные зависимости изменения погодных условий. Эти зависимости можно использовать для автоматизации расчета.

Для обработки данных погодных условий используется разработанное программно-алгоритмическое обеспечение [133] в рамках исследования (Приложение А), которое предназначено для обработки массивов данных архива температур.

Программно-алгоритмическое обеспечение (Приложение Б) обеспечивает выполнение следующих функций:

- вычисление среднедневной температуры наружного воздуха;
- вычисление дней с пропущенными температурными данными;

- сохранение датасета с усредненной температурой;
- вывод списка среднемесячных температур наружного воздуха;
- сохранение датасета со среднемесячной температурой наружного воздуха;
- определение дат начала и окончания отопительного периода при вводе интересующего интервала дат;
- определение продолжительности отопительного периода;
- определение минимальной температуры суток за отопительный период;
- определение наиболее холодной пятидневки за отопительный период;
- определение средней температуры отопительного периода;
- определение реальных ГСОП.

Программно-алгоритмическое обеспечение внедрено в учебный процесс при подготовке студентов в лекционных занятиях и проведении практических работ (Приложение К).

Метод аппроксимации полиномом - один из способов моделирования зависимостей между переменными. При использовании этого метода для анализа изменений погодных условий, можно создать уравнение, которое будет отражать эти изменения с течением времени.

В данном случае, метод аппроксимации полиномом был использован для нахождения среднемесячных температур в определенные промежутки времени с октября 2022 года по апрель 2023 года. Для создания уравнения, были использованы данные, содержащие среднемесячные температуры в эти периоды. Данные представлены в таблице 2.1.

**Таблица 2.1** – Среднемесячные температуры наружного воздуха в г. Белгороде

Месяц	0:00	3:00	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00
Январь	-5.76	-6.13	-6.27	-6.54	-5.38	-4.69	-5.32	-5.69
Февраль	-6.42	-6.90	-7.10	-7.08	-5.26	-4.01	-4.89	-5.79
Март	-1.60	-2.34	-2.86	-2.19	0.66	1.97	1.39	-0.42
Апрель	7.57	6.21	5.00	7.91	11.41	13.19	12.57	9.81

### Продолжение таблицы 2.1

Октябрь	5.51	4.71	4.07	5.13	7.54	8.64	7.48	6.06
Ноябрь	0.01	-0.39	-0.61	-0.44	0.70	1.07	0.39	0.16
Декабрь	-2.10	-2.29	-2.40	-2.42	-1.61	-1.19	-1.52	-1.72

Выбор степени полинома, которая должна использоваться, зависит от структуры данных и требует выполнения критериев, таких как устойчивость полинома, надежность прогноза и качество аппроксимации.

После выбора степени полинома, уравнение может быть решено и коэффициенты полинома могут быть определены. Эти коэффициенты могут быть использованы для прогнозирования будущих температур в течение определенных периодов времени.

Полученные значения используются для получения уравнения графика функции. В процессе расчетов было установлено, что достаточная точность достигается при использовании полинома 5 или 6 степени. В данном случае используется полином 6 степени, который записывается следующим образом:

$$f(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + a_4t^4 + a_5t^5 + a_6t^6, \quad (2.45)$$

где  $a_i$  – искомые коэффициенты,  $t$  – температура наружного воздуха, °C.

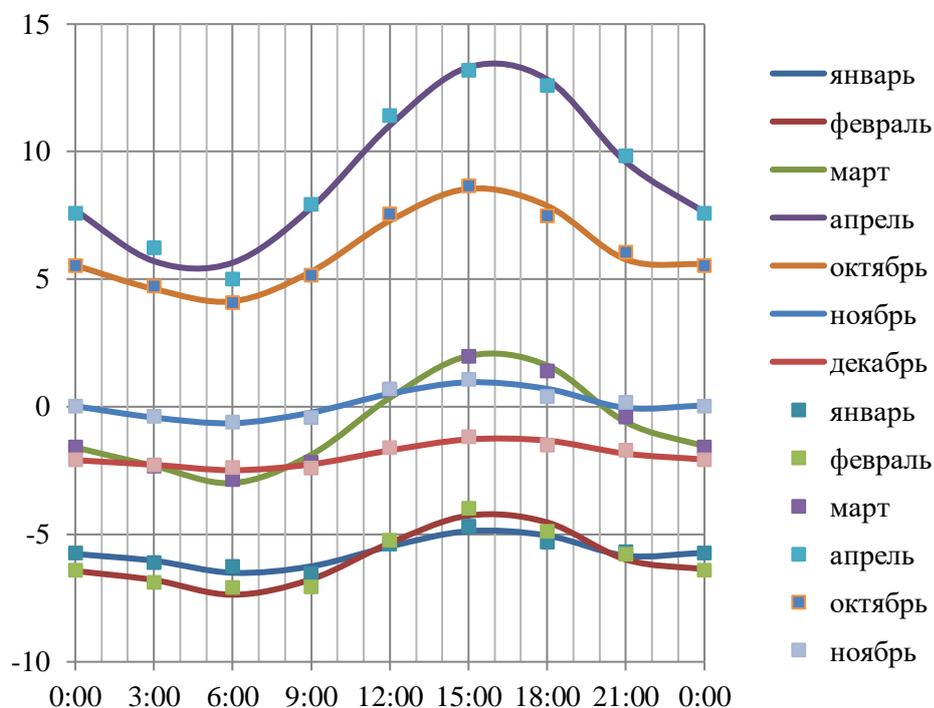
Результаты расчета коэффициентов  $a_i$  для каждого месяца представлены в таблице 2.2.

**Таблица 2.2** – Температурные коэффициенты методом аппроксимации

Месяц	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$
Январь	-5.8	4.4	-85.9	316.7	-405.2	170.1	-
Февраль	-6.4	6.9	-129.8	491.0	-633.0	264.9	-
Март	-1.6	5.5	-158.8	650.8	-860.6	363.2	-
Апрель	7.7	-19.8	8.4	206.8	-178.7	-210.0	193.2
Октябрь	5.5	0.0	-115.7	541.1	-757.7	332.3	-
Ноябрь	0.0	-1.1	-40.5	199.8	-284.2	126.0	-
Декабрь	-2.1	1.7	-43.5	170.1	-219.9	91.5	-

После получения коэффициентов с использованием метода аппроксимации полиномом, были построены графики зависимости, отражающие изменение температур в определенные периоды времени. Эти

графики представлены на рисунке 2.3. Результаты аппроксимации, отображенные на графиках, показали высокую сходимость с ранее рассчитанными среднемесячными температурами.



**Рисунок 2.3** – Зависимости температуры наружного воздуха от времени суток методом аппроксимации полиномом

При расчете температуры внутренней и внешней поверхности ограждающих конструкций необходимо учитывать множество факторов, таких как температурное поле внутри конструкции, теплопередачу через стены и окна, теплопроводность материалов и другие факторы. Эта задача может быть решена с использованием системы дифференциальных уравнений.

Для решения этой задачи была использована система дифференциальных уравнений, решение которых было найдено методом обратной прогонки. Этот метод основывается на применении формулы обратной прогонки к матрицам, связанным с системой уравнений. Он позволяет решать системы линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.

## 2.4 Расчёт температурного поля стены

При решении задачи дифференциального уравнения теплопроводности, была применена дискретизация на пространственной сетке, которая содержит 10 точек.

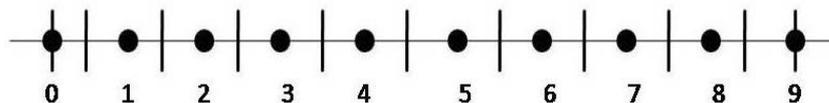


Рисунок 2.4 – Пространственная сетка

Для границ сетки задаются граничные условия третьего рода, определяющие закон передачи тепла между границей и окружающей средой:

для левой границы:

$$q = \alpha_{\text{вн}} \cdot (T_0^1 - T_{\text{вн}}^1), \quad (2.46)$$

где  $\alpha_{\text{вн}}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;  $T^1$  – температура в соответствующей точке в текущий момент времени, °С;  $T_{\text{с}} (1; \text{вн})$  – температура внутри помещения в соответствующей точке в момент времени предыдущей итерации, °С.

для правой границы:

$$q = \alpha_{\text{нар}} \cdot (T_{\text{нар}} - T_n^1), \quad (2.47)$$

где  $\alpha_{\text{нар}}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;  $T_{\text{нар}}$  – наружная температура, °С;  $T^1$  – температура в соответствующей точке в текущий момент времени, °С.

На основе сетки, представленной на рисунке 2.4, была проведена дискретизация уравнения (2.1), в результате которой получены уравнения для точек с номерами 0,  $i$  и  $n$ .

Уравнение теплопроводности для нулевой точки,  $T_0$ :

$$\frac{\rho c}{\Delta \tau} \cdot (T_0^1 - T_0^0) = \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot (T_1^1 - T_0^1) - \alpha_{\text{вн}} \cdot (T_0^1 - T_{\text{вн}}^1), \quad (2.48)$$

где  $\rho$  – плотность материала,  $\text{кг/м}^3$ ;  $c$  – удельная теплоёмкость материала,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;  $\Delta\tau$  – шаг по времени, сек;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  $\Delta x$  – шаг сетки, м;  $\alpha_{\text{вн}}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$ ;  $T^1$  – температура в соответствующей точке в текущий момент времени,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T^0$  – температура в соответствующей точке в момент времени предыдущей итерации,  $^{\circ}\text{C}$ .

Уравнение теплопроводности для  $i$  ( $i=1-8$ ) точки,  $T_i$ :

$$\frac{\rho c}{\Delta\tau} \cdot (T_i^1 - T_i^0) = \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot (T_{i+1}^1 - T_i^1) - \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot (T_i^1 - T_{i-1}^1), \quad (2.49)$$

Уравнение теплопроводности для  $n$  точки,  $T_n$ :

$$\frac{\rho c}{\Delta\tau} \cdot (T_n^1 - T_n^0) = \alpha_{\text{нар}} \cdot (T_{\text{нар}} - T_n^1) - \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot (T_n^1 - T_{n-1}^1), \quad (2.50)$$

где  $\rho$  – плотность материала,  $\text{кг/м}^3$ ;  $c$  – удельная теплоёмкость материала,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;  $\Delta\tau$  – шаг по времени, сек;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  $\Delta x$  – шаг сетки, м;  $\alpha_{\text{нар}}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$ ;

В результате получается система, состоящая из  $n+1$  уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\rho c}{\Delta\tau} \cdot (T_0^1 - T_0^0) = \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot (T_1^1 - T_0^1) - \alpha_{\text{вн}} \cdot (T_0^1 - T_{\text{вн}}^1) \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{\rho c}{\Delta\tau} \cdot (T_i^1 - T_i^0) = \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot (T_{i+1}^1 - T_i^1) - \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot (T_i^1 - T_{i-1}^1) \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{\rho c}{\Delta\tau} \cdot (T_n^1 - T_n^0) = \alpha_{\text{нар}} \cdot (T_{\text{нар}} - T_n^1) - \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot (T_n^1 - T_{n-1}^1) \end{array} \right. \quad (2.51)$$

или

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot T_1^1 + \frac{\rho c \Delta x}{2 \Delta \tau} + \alpha_{\text{вн}} + \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot T_0^1 + \left( -\frac{\rho c \Delta x}{2 \Delta \tau} \cdot T_0^0 + \alpha_{\text{вн}} \cdot T_{\text{вн}}^1 \right) = 0 \\ \left( -\frac{\lambda}{\Delta x} \right) \cdot T_{i+1}^1 + \left( \frac{\rho c \Delta x}{\Delta \tau} + 2 \frac{\lambda}{\Delta x} \right) \cdot T_i^1 + \left( -\frac{\lambda}{\Delta x} \right) \cdot T_{i-1}^1 + \left( -\frac{\rho c \Delta x}{\Delta \tau} \cdot T_i^0 \right) = 0 \\ \left( \frac{\rho c \Delta x}{2 \Delta \tau} + \alpha_{\text{нар}} + \frac{\lambda}{\Delta x} \right) \cdot T_n^1 + \left( -\frac{\lambda}{\Delta x} \right) \cdot T_{n-1}^1 + \left( -\frac{\rho c \Delta x}{2 \Delta \tau} \cdot T_n^0 + \alpha_{\text{нар}} \cdot T_{\text{нар}} \right) = 0 \end{array} \right. \quad (2.52)$$

Для решения полученной системы уравнений методом прогонки необходимо представить её в стандартном виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_0 \cdot T_1^1 + b_0 \cdot T_0^1 + d_0 = 0 \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ a_i \cdot T_2^1 + b_i \cdot T_1^1 + c_i \cdot T_0^1 + d_i = 0 \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ b_n \cdot T_n^1 + c_n \cdot T_{n-1}^1 + d_n = 0 \end{array} \right. \quad (2.53)$$

$$\text{где } a_0 = \left( -\frac{\lambda}{\Delta x} \right); \quad b_0 = \left( \frac{\rho c \Delta x}{2 \Delta \tau} + \alpha_{\text{вн}} + \frac{\lambda}{\Delta x} \right); \quad d_0 = \left( -\frac{\rho c \Delta x}{2 \Delta \tau} \cdot T_0^0 - \alpha_{\text{вн}} \cdot T_{\text{вн}}^1 \right);$$

$$a_i = \left( -\frac{\lambda}{\Delta x} \right); \quad b_i = \left( \frac{\rho c \Delta x}{\Delta \tau} + \frac{2\lambda}{\Delta x} \right); \quad c_i = \left( -\frac{\lambda}{\Delta x} \right); \quad d_i = \left( -\frac{\rho c \Delta x}{\Delta \tau} \cdot T_i^0 \right);$$

$$b_n = \left( \frac{\rho c \Delta x}{2 \Delta \tau} + \alpha_{\text{нар}} + \frac{\lambda}{\Delta x} \right); \quad c_n = \left( -\frac{\lambda}{\Delta x} \right); \quad d_n = \left( -\frac{\rho c \Delta x}{2 \Delta \tau} \cdot T_n^0 - \alpha_{\text{нар}} \cdot T_{\text{нар}} \right)$$

Температурное поле через слой утепления рассчитывается аналогичным способом.

Уравнение теплопроводности для нулевой точки,  $T_0$ :

$$\frac{\rho_1 c_1}{\Delta \tau} \cdot (T_0^1 - T_0^0) = \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \cdot (T_1^1 - T_0^1) - \alpha_{\text{вн}} \cdot (T_0^1 - T_{\text{вн}}^1) \quad (2.54)$$

Уравнение теплопроводности для  $i$  ( $i=7-9$ ) точки,  $T_i$ :

$$\frac{\rho_1 c_1}{\Delta \tau} \cdot (T_i^1 - T_i^0) = \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \cdot (T_{i+1}^1 - T_i^1) - \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \cdot (T_i^1 - T_{i-1}^1) \quad (2.55)$$

Уравнение теплопроводности для  $n$  точки,  $T_n$ :

$$\frac{\rho_1 c_1}{\Delta \tau} \cdot (T_n^1 - T_n^0) = \alpha_{\text{нар}} \cdot (T_{\text{нар}} - T_n^1) - \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \cdot (T_n^1 - T_{n-1}^1) \quad (2.56)$$

В итоге была получена система уравнений:



$$\text{где } a = \left(-\frac{\lambda_1}{\Delta x_1}\right); b = \left(0,5 \cdot \frac{\rho c \Delta x}{2 \Delta \tau} + 0,5 \cdot \frac{\rho_1 c_1 \Delta x_1}{2 \Delta \tau} + 2 \cdot \left(0,5 \cdot \frac{\lambda}{\Delta x} + 0,5 \cdot \frac{\lambda_1}{\Delta x_1}\right)\right);$$

$$c_i = \left(-\frac{\lambda}{\Delta x}\right); d = \left(-\left(0,5 \cdot \frac{\lambda}{\Delta x} + 0,5 \cdot \frac{\rho_1 c_1 \Delta x_1}{\Delta \tau}\right) \cdot T_i^0\right)$$

Для анализа динамики изменения температуры воздуха в помещении, необходимо учитывать такие факторы, как теплоемкость воздуха, отапливаемый объем помещения, рассматриваемый временной интервал и количество тепловой энергии, поступающей и расходуемой. Расчет динамики изменения температуры воздуха может быть выполнен с помощью соответствующей формулы, учитывающей все указанные параметры:

$$t_{i+1} = \frac{c_{\text{возд}} \cdot V_{\text{от}} \cdot t_i - \Delta \tau \cdot (Q_{\text{вент}} + Q_{\text{кр}} + Q_{\text{подв}} + Q_{\text{окн}} + Q_{\text{ст}} - Q_{\text{быт}} - Q_{\text{от}})}{c_{\text{возд}} \cdot V_{\text{от}}}, \quad (2.62)$$

где  $t_{i+1}$  – температура внутри помещения в следующий момент времени, °С;  
 $c_{\text{возд}}$  – удельная теплоемкость воздуха,  $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$ ;  $V_{\text{от}}$  – отапливаемый объем здания,  $\text{м}^3$ ;  $t_i$  – температура внутри помещения в предыдущий момент времени, °С;  $\Delta \tau$  – шаг по времени, сек.;  $Q_{\text{вент}}$  – потери теплоты через вентиляцию, кВт;  $Q_{\text{кр}}$  – потери теплоты через чердачное перекрытие, кВт;  $Q_{\text{подв}}$  – потери теплоты через подвальное помещение, кВт;  $Q_{\text{окн}}$  – потери теплоты через окна, кВт;  $Q_{\text{ст}}$  – потери теплоты через стены, кВт;  $Q_{\text{быт}}$  – поступления теплоты от тепловыделений, кВт;  $Q_{\text{от}}$  – поступления теплоты от системы теплоснабжения здания, кВт.

## 2.5 Расчёт показателей уровня теплового комфорта

В современной эргономике термальной среды, стандарт ISO 7730, разработанный П.О. Фангером, является международным методом оценки теплового комфорта. На его основе был создан ГОСТ Р ИСО 7730-2009. Этот метод учитывает такие параметры, как температуру воздуха, скорость его движения, влажность, энергозатраты жильцов, теплоизоляционные характеристики и площадь поверхности одежды, а также и другие факторы, влияющие на тепловое состояние людей в помещении.

Тепловой баланс между человеческим телом и окружающей средой описывается уравнением (1.1). В системе СИ метаболизм измеряется в ваттах (Вт) или в ваттах на квадратный метр ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ), учитывая среднюю площадь поверхности кожи человека в  $1,8 \text{ м}^2$ . Метаболизм выражается в единицах "met", где 1 met эквивалентен уровню метаболизма сидящего человека в состоянии покоя ( $1 \text{ met} = 68,12 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ). Уровень метаболизма в зависимости от физической активности человека указан в ГОСТ Р ИСО 7730-2009.

В контексте энергетического баланса человека, внешняя работа, которая ассоциируется с выполнением работы человеком, обычно учитывается с положительным знаком. Тем не менее, в некоторых случаях, Часть потенциальной энергии преобразуется в тепловую энергию в мышцах, а величина внешней работы рассматривается с отрицательным знаком (например, когда человек тормозит в процессе движения вниз по склону).

Эффективность преобразования внутренней энергии метаболизма во внешнюю работу (КПД человека) не превышает 20%.

Теплообмен, возникающий в результате внешней работы  $W$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , вычисляется по формуле:

$$W = 0,2 \cdot (M - 88 \div 1,8) \quad (2.63)$$

Теплообмен, происходящий в результате испарения, возникает из-за диффузии паров воды через кожу ( $E_d$ ) и из-за испарения пота на поверхности кожи ( $E_{sw}$ ).

Теплообмен через диффузию паров воды через кожу  $E_d$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , может быть вычислен по формуле:

$$E_d = 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot (5733 - 6,99 \cdot (M - W) - P_a) \quad (2.64)$$

При этом, парциальное давление водяного пара в атмосферном воздухе  $P_a$ , Па рассчитывается с использованием формулы:

$$P_a = \exp(16,6536 - 4030,183 \div (t_a + 235)) \cdot 1 \cdot \varphi \quad (2.65)$$

где  $\varphi$  – относительная влажность воздуха, %.

Теплообмен, возникающий из-за испарения пота,  $E_{sw}$ , Вт/м<sup>2</sup>, может быть вычислен при помощи формулы:

$$E_{sw} = 0,42 \cdot (M - W - 58,15) \quad (2.66)$$

Обычно теплопотери, вызванные диффузией влаги через кожу, составляют около 10 Вт/м<sup>2</sup>. Эти потери происходят непрерывно и не регулируются организмом.

Испарение пота с поверхности кожи ( $E_{sw}$ ) является эффективным методом терморегуляции организма при поддержании внутренней температуры в условиях тяжелой физической нагрузки, варьируясь от 0 (в состоянии покоя) до 400 Вт/м<sup>2</sup> при выполнении тяжелой работы в сухой и жаркой среде.

Теплопотери при дыхании включают:

– теплообмен, связанный с разницей давлений водяного пара в вдыхаемом и выдыхаемом воздухе  $E_{res}$ , Вт/м<sup>2</sup>

$$E_{res} = 1,72 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - P_a) \quad (2.67)$$

– теплообмен, связанный с разницей температур вдыхаемого и выдыхаемого воздуха  $L$ , Вт/м<sup>2</sup>

$$L = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \quad (2.68)$$

Обычно при отсутствии внешней работы и в нормальных условиях потери тепла при дыхании не превышают 2 - 5 Вт/м<sup>2</sup>, и в расчете ими можно пренебречь.

Теплообмен, который происходит через одежду  $K_{cl}$ , Вт/м<sup>2</sup>, может быть определен при помощи формулы:

$$K_{cl} = (t_s - t_{cl}) / 0,155 I_{cl} \quad (2.69)$$

где  $t_s$  – средняя температура кожи, °С,  $t_{cl}$  – температура наружной поверхности одежды, °С,  $I_{cl}$  – теплоизоляция (термическое сопротивление) одежды, кло (clo).

Средняя температура кожи может быть определена по формуле:

$$t_s = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) \quad (2.70)$$

Температура наружной поверхности одежды зависит от условий теплообмена с окружающей средой, таких как естественная и вынужденная конвекция, излучение, а также от температуры поверхности одежды. Следовательно, температура наружной поверхности одежды может быть определена с помощью метода последовательных приближений в итерационном цикле, учитывая взаимосвязь между параметрами теплообмена и температурой поверхности одежды.

Термическое сопротивление комплекта одежды измеряется в системе СИ в  $\text{м}^2\text{К}/\text{Вт}$  или в единицах clo, где 1 clo соответствует  $0,155 \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт}$ . Данные о термическом сопротивлении отдельных элементов одежды и различных комбинаций одежды доступны в ГОСТ Р ИСО 7730-2009.

Расчет теплообмена излучением  $R_{\text{рад}}$ , также известного как радиационный теплообмен, осуществляется в соответствии с законом Стефана-Больцмана. Для расчета применяется следующая формула:

$$R_{\text{рад}} = 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot ((t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4) \quad (2.71)$$

где  $f_{cl}$  – коэффициент площади одежды (отношение площади поверхности тела в одежде к площади поверхности обнаженного тела);  $t_r$  – средняя радиационная температура (средняя температура окружающих поверхностей).

Коэффициент  $f_{cl}$  является функцией от параметров одежды и может быть вычислен с помощью соответствующих формул:

$$\begin{cases} f_{cl} = 1,00 + 0,2 \cdot I_{cl}, \text{ если } I_{cl} \leq 0,5 \text{ кло,} \\ f_{cl} = 1,05 + 0,1 \cdot I_{cl}, \text{ если } I_{cl} > 0,5 \text{ кло.} \end{cases} \quad (2.72)$$

Теплообмен  $C$ , вызванный конвекцией, определяется с использованием формулы:

$$C = f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \quad (2.73)$$

где  $t_a$  – температура воздуха,  $t_{cl}$  – температура поверхности одежды,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $f_{cl}$  – коэффициент площади одежды;  $h_c$  – коэффициент теплоотдачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ .

Коэффициент теплоотдачи свободной конвекции  $h_c$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , зависит от температурной разности между поверхностью одежды  $t_{cl}$  и окружающим воздухом  $t_a$ :

$$h_c = 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} \quad (2.74)$$

Значение коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции  $h_c$ , Вт/(м<sup>2</sup>К), зависит от относительной скорости движения воздуха:

$$h_c = 12,1\sqrt{\vartheta_{ar}} \quad (2.75)$$

где  $\nu_{ar}$  – относительная скорость движения воздуха.

Конвекция определяется как свободная в случае, если будет выполнено условие:

$$12,1\sqrt{\vartheta_{ar}} < 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} \quad (2.76)$$

В противном случае конвекция определяется как вынужденная.

При расчете вынужденной конвекции необходимо учитывать алгебраическую сумму скорости движения тела и скорости движения воздушного потока.

Значение показателя теплового комфорта  $PMV$  рассчитывается с использованием формул (2.78-2.80):

$$PMV = [0,303 \exp(-0,036M) + 0,028(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99(M - W) - p_a] - 0,42[(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5}M(5867 - p_a) - 0,0014M(34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] \cdot f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a) \quad (2.77)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl} - \{3,96 \cdot 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)\} \quad (2.78)$$

где  $M$  - скорость обмена веществ, Вт/м<sup>2</sup>;  $W$  - эффективная механическая энергия, Вт/м<sup>2</sup>;  $I_{cl}$  - коэффициент теплоизоляции одежды, м<sup>2</sup>·К/Вт;  $f_{cl}$  - коэффициент площади поверхности одежды;  $t_a$  - температура воздуха, °С;  $\bar{t}_r$  - средняя температура излучения, °С;  $\nu_{ar}$  - скорость движения воздуха, м/с;  $p_a$  - парциальное давление водяного пара, Па;  $h_c$  - коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $t_{cl}$  - температура поверхности одежды, °С.

Значение показателя  $PPD$  вычисляется с использованием уравнения, которое зависит от значения  $PMV$ :

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (2.79)$$

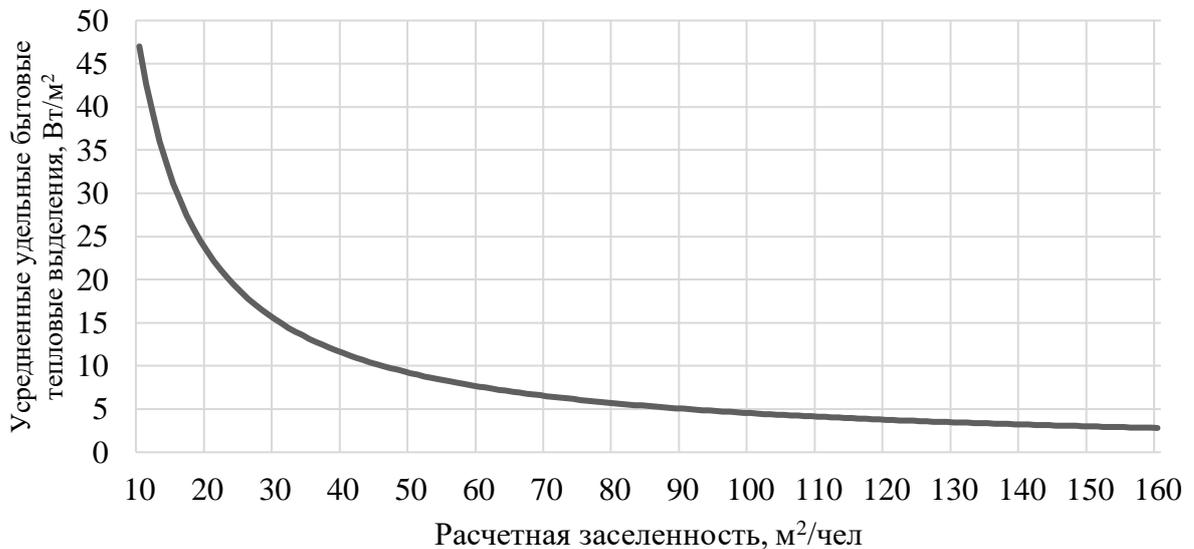
Метод оценки теплового комфорта учитывает различные параметры, включая энергозатраты жильцов, теплоизоляцию одежды, температуру воздуха, скорость движения, влажность и другие факторы, оказывающие влияние на тепловое состояние человека. Расчет теплового комфорта включает анализ теплового баланса между телом человека и окружающей средой, учитывая метаболизм, теплообмен через дыхание, испарение пота, теплообмен через одежду и теплообмен излучением.

## **2.6 Определение функциональной зависимости удельных бытовых тепловыделений от расчетной заселенности помещения**

При расчете энергопотребления здания необходимо учитывать тепловые поступления, которые генерируются в результате хозяйственной деятельности пользователей [134]. В соответствии со СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», принимаются следующие значения: а) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир менее 20 м<sup>2</sup> общей площади на человека  $q_{\text{быт}} = 17$  Вт/м<sup>2</sup>; б) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир 45 м<sup>2</sup> общей площади и более на человека  $q_{\text{быт}} = 10$  Вт/м<sup>2</sup>; в) других жилых зданий – в зависимости от расчетной заселенности квартир по интерполяции величины  $q_{\text{быт}}$  между 17 и 10 Вт/м<sup>2</sup>; г) для общественных и административных зданий бытовые тепловыделения учитываются по расчетному числу людей (90 Вт/чел), находящихся в здании, освещения (по установочной мощности) и оргтехники (10 Вт/м<sup>2</sup>) с учетом рабочих часов в неделю [135].

При расчете отопительной нагрузки здания необходимо учитывать количество регулярных тепловыделений от различных источников тепла внутри здания, таких как электрические приборы, освещение, технологическое оборудование, трубопроводы, люди и другие. Однако методика расчета теплоступлений от внутренних источников тепла требует уточнения. Исследования А.Ю. Неклюдова показали, что при большой плотности заселения происходит некоторое снижение удельных бытовых тепловыделений, а при низкой плотности заселения (менее социальной

нормы) происходит резкий скачок в сторону увеличения [136]. Подробнее данные по удельным бытовым тепловыделениям представлены на рисунке 2.5.



**Рисунок 2.5** – Удельные бытовые тепловыделения в зависимости от расчетной заселенности для расчетов потребления энергии

На графике показана зависимость удельных бытовых тепловыделений от жилой площади квартиры. При расчетной заселенности, которая равна или превышает 45 м<sup>2</sup>/чел, удельные тепловые выделения на жилую площадь составляют 10 Вт/м<sup>2</sup> и меньше. Однако при более высокой расчетной заселенности, такой как 75 м<sup>2</sup>/чел, удельные бытовые тепловыделения снижаются до 6 Вт/м<sup>2</sup>, а при расчетной заселенности 110 м<sup>2</sup>/чел - до 4 Вт/м<sup>2</sup>.

При расчетах тепловых режимов зданий важно учитывать не только расчетную заселенность конкретной квартиры, но и общую плотность заселения в городе или районе. В больших городах можно ожидать снижения расчетной заселенности квартир ниже социальной нормы, а при этом удельные бытовые тепловыделения значительно возрастают.

Хотя исследования А.Ю. Неклюдова не содержат аналитической зависимости удельных бытовых тепловыделений от расчетной заселенности, было получено уравнение степенной регрессии, которое позволяет упростить

расчеты тепловых режимов зданий в математических моделях. В общем виде оно может быть записано следующим образом:

$$\hat{y} = a \cdot x^b \quad (2.80)$$

Коэффициент  $a$  рассчитывается как:

$$a = \exp \left( \frac{1}{n} \sum \ln y_i - \frac{b}{n} \sum \ln x_i \right) \quad (2.81)$$

Коэффициент  $b$  найден по формуле:

$$b = \frac{n \sum (\ln x_i \cdot \ln y_i) - \sum \ln x_i \cdot \sum \ln y_i}{n \sum \ln^2 x_i - (\sum \ln x_i)^2}$$

В результате была получена функциональная зависимость усредненных удельных бытовых тепловыделений от расчетной заселенности:

$$q_{\text{бт}} = 487,8 \cdot n^{-1,016}, \quad (2.82)$$

где  $n$  – расчетная заселенность, м<sup>2</sup>/чел,  $q_{\text{бт}}$  – удельные бытовые тепловыделения, Вт/м<sup>2</sup>.

Коэффициент корреляции полученной формулы составляет 0,99983, что говорит о высокой взаимосвязи между переменными. Для расчета коэффициента корреляции использовалась следующая формула:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}}, \text{ где} \quad (2.83)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i \quad (2.84)$$

Коэффициент детерминации (квадрат коэффициента корреляции  $R^2$ ) равен 0,99966.

Средняя ошибка аппроксимации, которая определяется как среднее отклонение данных по графику от рассчитанных по формуле, составляет 0,55275%. Этот параметр свидетельствует о высокой точности результатов расчета. Параметр рассчитан следующим образом:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\% \quad (2.85)$$

Используя полученную аналитическую зависимость, можно более точно рассчитывать усредненные удельные бытовые тепlopоступления в помещениях и упростить расчет тепловых режимов зданий, включая период

осеннего межсезонья, когда внутренние теплопоступления играют важную роль в поддержании теплового комфорта в жилых помещениях [137]. Эти результаты особенно актуальны для технических специалистов, занимающихся проектированием и эксплуатацией зданий, поскольку позволяют более точно учитывать тепловые потоки и оптимизировать работу систем отопления и вентиляции.

## 2.8 Выводы по главе 2

1. Сформулированы основные положения математической модели расчета параметров микроклимата с учетом количественной оценки уровня теплового комфорта нестационарного теплового режима помещений.

2. Решение дифференциального уравнения теплопроводности заключается в его дискретизации, т.е. замене величины, задаваемой дифференциальной функцией, на ряд значений в узлах пространственной сетки. Нахождение значений температур в узлах сетки производится последовательным расчетом температуры в каждом узле с использованием значения температуры в предыдущем узле.

3. Определены входные параметры для работы математической модели, необходимые для оценки теплового комфорта в зданиях. Расчет температуры наружного воздуха реализован с использованием базы данных погодных условий. Разработано программное обеспечение (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022682711), позволяющее обрабатывать массивы данных погодных условий. На основании этих данных и аппроксимации полиномом методом наименьших квадратов получено уравнение, отражающее изменение температуры с течением времени с любым нужным для расчета шагом.

4. Расчет температурного поля стены на основе дифференциального уравнения теплопроводности с применением дискретизации и заданными граничными условиями позволяет получить данные для прогнозирования тепловых процессов в ограждающих конструкциях. Получение расчетных

температур внутренней и внешней поверхности ограждающих конструкций было достигнуто с использованием системы дифференциальных уравнений, решение которых было найдено методом обратной прогонки.

5. Сформулированы положения определения количественной оценки уровня теплового комфорта в контексте математической модели расчета параметров микроклимата нестационарного теплового режима помещений. Предложенный подход обеспечивает комплексный анализ теплового баланса между человеком и окружающей средой и позволяет определить комфортный тепловой режим в помещении.

6. Получена аналитическая зависимость усредненных удельных бытовых тепловых выделений от расчетной заселенности. Коэффициент детерминации равен 0,99966. Средняя ошибка аппроксимации составляет 0,55275%.

## ГЛАВА 3 ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ

### 3.1 Исследование теплового режима

В периоды межсезонья, когда централизованные системы отопления отключены, жители квартир могут испытывать дискомфорт из-за некомфортных условий внутри помещений. Этот факт подтверждается многочисленными исследованиями, посвященными обеспечению теплового комфорта в жилых и общественных зданиях.

Одно из таких исследований, проведенное А.Г. Перехоженцевым, рассматривает проблему недостаточной теплоизоляции зданий и ее влияние на тепловой комфорт в помещениях [138]. В рамках данного исследования изучались различные факторы, влияющие на комфортные температурные условия воздуха и теплоотдачу ограждающих конструкций.

В работе Т.Н. Ильиной осуществлен анализ микроклимата помещений с целью определения путей улучшения теплового комфорта [139]. Исследование затрагивает такие аспекты, как влияние температуры воздуха, относительной влажности и скорости воздушных потоков на восприятие теплового комфорта внутри помещений.

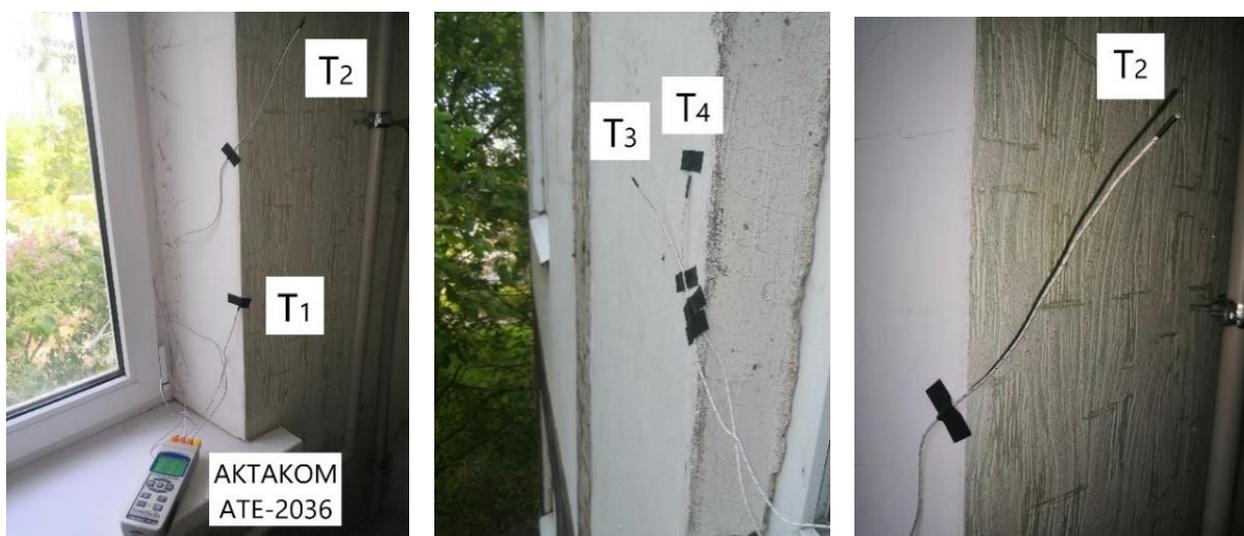
Работы J. Lucchese et al. сосредоточены на изучении радиационного фактора и его влияния на тепловой комфорт в помещениях. В рамках данного исследования рассмотрены особенности распределения тепла внутри помещений, а также влияние параметров освещенности и радиационной тепловой нагрузки на ощущения теплового комфорта [140].

В данном исследовании анализируется влияние отклонений температуры воздуха в помещении от установленных норм в переходные периоды года, когда отсутствует отопление, на тепловой комфорт жителей.

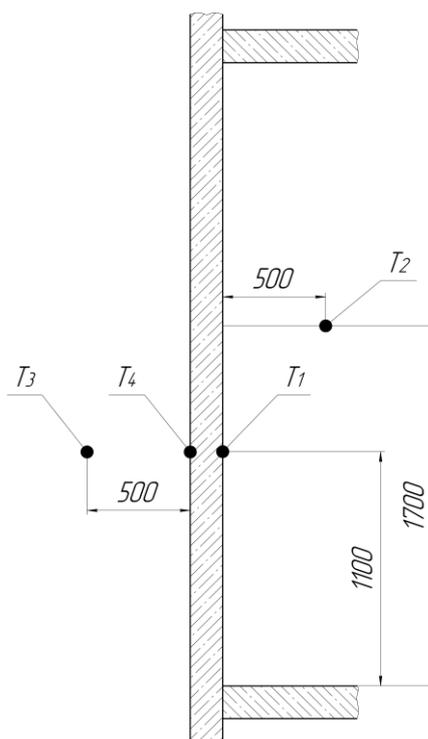
В качестве объекта анализа была выбрана комната, расположенная в квартире 9-этажного многоквартирного панельного дома, построенного в 1978

году. Согласно информации от «Дом.МинЖКХ», степень износа здания составляет 38%. В процессе эксперимента исключались внутренние источники тепловыделения, комната была изолирована от притока наружного воздуха, радиационные теплопоступления в расчете не учитывались.

Для проведения замеров температуры применялся многоканальный измеритель АКТАКОМ АТЕ-2036, который осуществлял измерения с интервалом в одну минуту. Выбор места замера обусловлен местом рабочей зоны человеком в рассматриваемом микроклимате. Расположение точек для измерения температуры представлено на рисунке 3.1, а схематическое изображение этих точек показано на рисунке 3.2.



**Рисунок 3.1** – Внешний вид и местоположение датчиков для измерения температур:  $T_1$  – температура внутренней поверхности стены,  $T_2$  – температура внутреннего воздуха,  $T_3$  – температура наружного воздуха,  $T_4$  – температура наружной поверхности стены



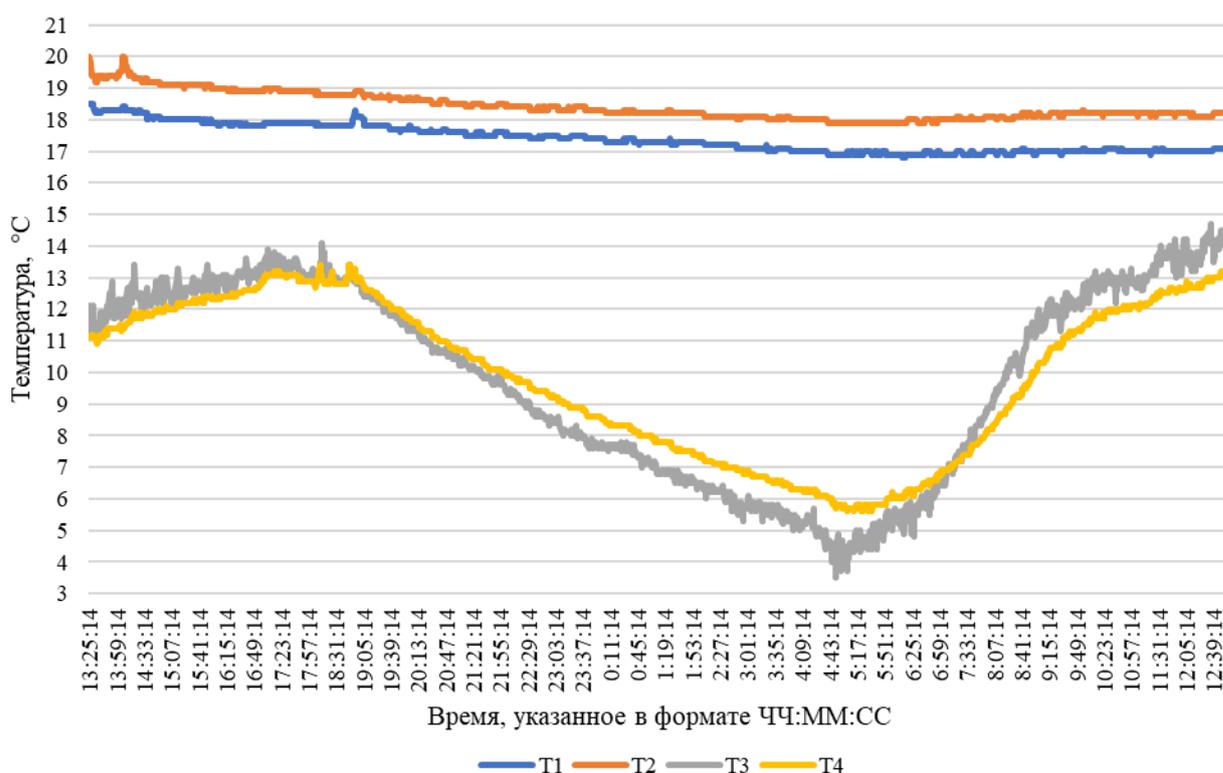
**Рисунок 3.2** – Схема точек замеров

Проанализируем измерения, выполненные в период с 5 по 6 мая 2022 года (результаты измерений за иные периоды имеют схожую динамику). В соответствии с ГОСТ 30494-2011 этот временной промежуток относится к "теплому периоду года", так как среднесуточная температура наружного воздуха превышает  $8^{\circ}\text{C}$ . Результаты измерений представлены на рисунке 3.3.

Проведенные замеры демонстрируют колебания температуры наружного воздуха ( $T_3$ ), что может быть обусловлено влиянием ветра и других погодных условий. В течение всего периода измерений было зафиксировано постепенное снижение внутренней температуры стен и воздуха, в то время как соответствующие наружные температуры изменялись согласно погодным условиям.

Результаты средних температур за рассмотренный интервал:

- Температура внутренней поверхности стены ( $T_1$ ) –  $17,35^{\circ}\text{C}$ ;
- Внутренняя температура воздуха ( $T_2$ ) –  $18,36^{\circ}\text{C}$ ;
- Наружная температура воздуха ( $T_3$ ) –  $9,65^{\circ}\text{C}$ ;
- Температура наружной поверхности стены ( $T_4$ ) –  $9,76^{\circ}\text{C}$ .



**Рисунок 3.3** – Изменение температуры с течением времени за период 05.05-06.05.2022

Согласно стандарту ISO 7730-2009, были произведены расчёты параметров теплового комфорта [113]. В качестве исходных данных принимаются результаты среднесуточных температур, рассмотренных выше. Дополнительно принимаются следующие данных:

- Относительная влажность воздуха  $\varphi = 50\%$ ;
- Скорость воздуха  $V_{\text{возд}} = 0,1$  м/с.

Расчеты проводились с учетом утепления одежды, рекомендованного для летнего периода ( $I_{cl} = 0,5$  кло), и уровней метаболизма, соответствующих различной физической активности человека. В результате были определены значения температуры воздуха, которые обеспечивают термодинамическое равновесие между телом человека и окружающей средой ( $PMV = 0$ ). Полученные данные представлены в таблице 3.1.

**Таблица 3.1** – Значения *PMV* и *PPD* при различных уровнях метаболизма

Уровень метаболизма <i>M</i> , Вт/м <sup>2</sup>	<i>PMV</i>	<i>PPD</i> , %	<i>T</i> <sub>возд</sub> при <i>PMV</i> = 0
58 Сидя, расслабленно	-3,09 Холодно	99,46	26,1
70 Сидячая работа	-2,06 Прохладно	79,20	24,7
93 Легкая двигательная активность	-0,93 Немного прохладно	23,33	22,0
116 Средняя двигательная активность	-0,29 Нейтрально	6,79	19,4

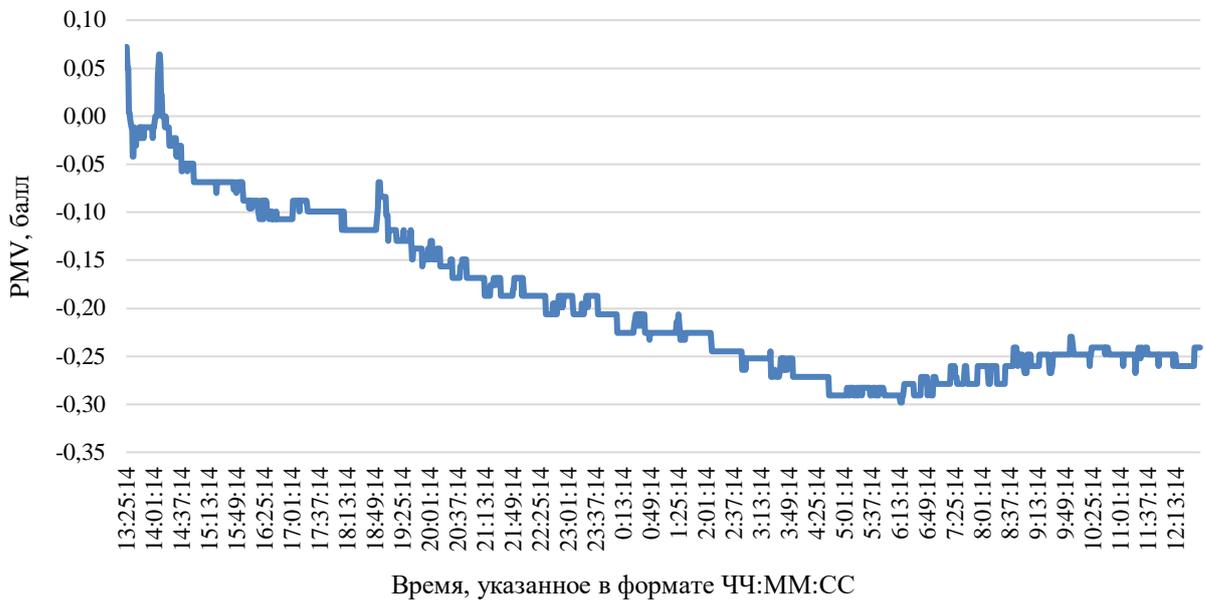
В рассматриваемом жилом помещении уровень утепления одежды  $I_{cl} = 0,5$  кло в расслабленном состоянии организма в положении сидя приводит к значительному проценту недовольных - 99,46%. Для обеспечения нейтрального показателя  $PMV = 0$  температура воздуха должна быть установлена на уровне 26,1°C.

Тем не менее, в зависимости от вида деятельности, процент недовольных и оптимальная температура могут значительно меняться. Например, при сидячей работе, такой как офисная деятельность, процент недовольных снижается до 79,20%, и оптимальная температура составляет 24,7°C. В случае легкой двигательной активности, например, ходьбы, процент недовольных составляет 23,33%, и оптимальная температура воздуха – 22,0°C.

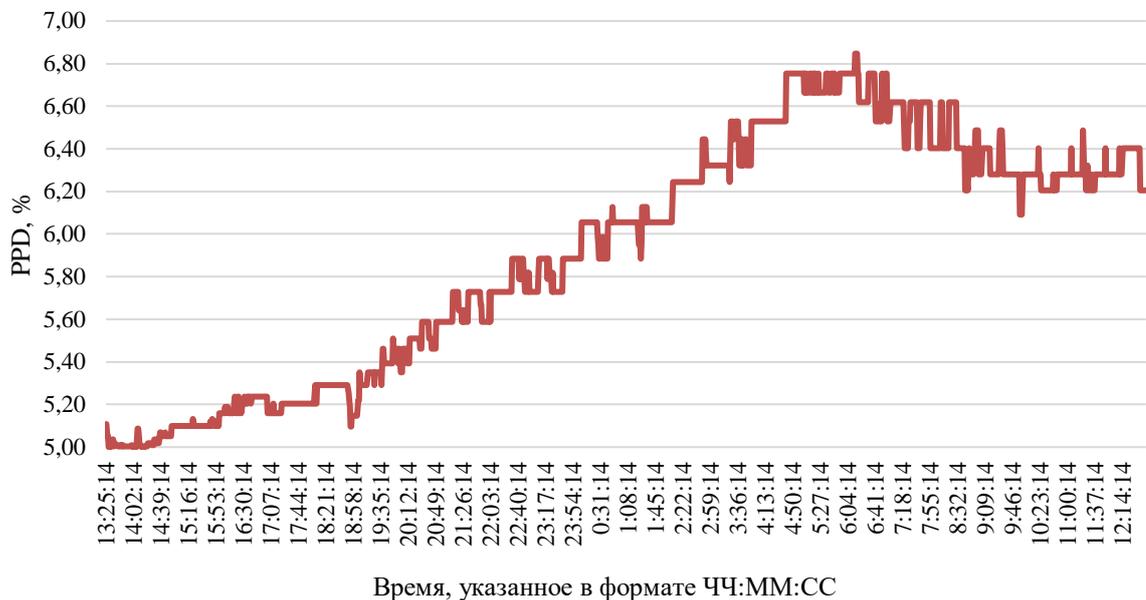
Когда человек занимается средней двигательной активностью, такой как уборка помещения, процент недовольных снижается до 6,79%. В таких условиях терморегуляция организма менее всего напряжена, и тепловой комфорт достигается без дополнительных усилий со стороны организма.

Используя полученные результаты измерений параметров микроклимата, имеется возможность оценивать состояние комфортности в любой промежуток времени. Результаты, представленные на рисунке 3.4 и 3.5, соответствуют средней двигательной активности (116 Вт/м<sup>2</sup>). Стоит отметить,

что данный подход может быть использован при иных уровнях двигательной активности (метаболизма) и на других объектах.



**Рисунок 3.4** – Динамика индекса PMV в рассматриваемом помещении



**Рисунок 3.5** – Динамика индекса PPD в рассматриваемом помещении

Был проанализирован вопрос достижения нейтрального восприятия внутреннего микроклимата при использовании одежды различного уровня утепления. Результаты исследования представлены в таблице 3.2, основанной на имеющихся исходных данных.

**Таблица 3.2** – Значения  $I_{cl}$  при различных уровнях метаболизма

Уровень метаболизма М, Вт/м <sup>2</sup>	$I_{cl}$ , ккло	Комплект одежды
58 Сидя, расслабленно	2,03	Нижняя одежда, рубашка, брюки, пиджак, куртка и штаны, носки, обувь, шапка, перчатки
70 Сидячая работа	1,60	Нижняя одежда, рубашка, брюки, пиджак, куртка и штаны, носки, обувь
93 Легкая двигательная активность	1,03	Рубашка, брюки, носки, обувь
116 Средняя двигательная активность	0,66	Рубашка, легкие брюки, легкие носки и ботинки

Таблица содержит комплекты одежды, которые соответствуют требуемому значению утепления  $I_{cl}$  в соответствии с ISO 7730. Однако использование этих комплектов одежды в помещении не обеспечивает комфортные условия, за исключением случая средней двигательной активности, которая была упомянута ранее.

Исследование результатов приводит к следующим выводам:

1. Температура наружного воздуха удовлетворяет критериям для прекращения работы центрального отопления.
2. Температура поверхности внутренних стен соответствует установленным стандартам.
3. Внутренняя температура не находится в оптимальных (22-25°C) или допустимых (20-28°C) пределах для теплого времени года, как указано в ГОСТ 30494-2011.
4. Среднесуточная температура в помещении в период с 05.05.2022 по 06.05.2022 составляла 18,36°C, что не соответствует оптимальным или допустимым нормативам для теплого времени года, что указывает на проблемы с тепловым комфортом в помещении.
5. Расчеты показывают, что при обычных условиях пребывания человека в жилом помещении (расслабленное состояние, сидячая работа, легкая двигательная активность), отклонения измеренных температур от

нормативных значений могут вызвать тепловой дискомфорт. Наиболее остро это проявляется при сидячей работе и расслабленном состоянии. Ожидается, что 99,46% жильцов будут недовольны, что означает, что большинство проживающих будут вынуждены испытывать дискомфорт в таких условиях.

### **3.2 Тепловой комфорт людей разных возрастных групп**

Сравнение величин энергетических трат мужчин в зависимости от категории тяжести выполняемой работы с учетом их возраста было проведено в исследовании Д.В. Лобанова, И.И. Звенигородского, М.В. Свирина и др., в котором был проанализирован ряд нормативных документов и справочно-методической литературы, используемой при расчетах тепловыделений от людей различных возрастов и занятых разными видами труда [141]. В результате исследования было выявлено, что величины тепловыделений не всегда соответствуют характеристикам тяжести выполняемой работы для разных видов деятельности с учетом возраста людей и их телосложения. Были определены расчетные значения коэффициента физической активности для условного человека и величины тепловыделений мужчин с разделением по возрастным категориям.

Результаты сравнения величин энергетических трат мужчин в зависимости от категории тяжести выполняемой работы с учетом их возраста представлены в таблице 3.3.

Полученные результаты расчета энергозатрат мужчин (средние значения для каждой возрастной группы и уровня физической активности) соответствуют нормативным и рекомендуемым значениям. Однако при проектировании систем обеспечения микроклимата необходимо учитывать возраст человека (в зависимости от типа производства, работы на предприятии и т.д.), поэтому данные из таблицы 3.3 могут быть полезны для разработки адаптивных систем. Полученные результаты также могут быть использованы для составления теплового баланса зданий, создания моделей и определения теплового комфорта человека.

**Таблица 3.3** – Сравнение энергетических трат условного человека и мужчин разного возраста с нормальной массой тела

Нормативные, справочно-методические данные				Полученные данные						
категория работ по уровню энерготрат	Энерготраты, Вт			Энерготраты, Вт						
	СанПиН 1.2.3685-21 Р2.2.2006-05	средние СанПиН 1.2.3685-21 Р2.2.2006-05	[135, 142-146]	Возраст, лет					средние по возрасту	средние по работе
				18 - 29	30 - 44	45 - 64	65 - 74	≥75		
Легкая, Ia	105	122	150	112	108	100	93	89	100	117
	139			149	143	132	123	118	133	
Легкая, Ib	140	157		151	145	134	125	119	135	151
	174			187	180	167	155	149	168	
Средней тяжести, IIa	175	204	205	189	182	168	157	150	169	196
	232			249	239	221	207	198	223	
Средней тяжести, IIб	233	262		251	241	223	208	199	225	250
	290			309	297	275	256	245	276	
Тяжелая, III	291	320	292	311	299	276	258	247	278	306
	349			373	358	331	309	296	333	

Используя формулу Дюбуа для расчета площади поверхности человеческого тела, получены удельные уровни метаболизма человека разных возрастов и категорий работ. Результаты представлены в таблице 3.4.

**Таблица 3.4** – Результаты расчета уровней метаболизма человека разных возрастов и категорий работ

категория работ по уровню энерготрат	Уровень метаболизма, Вт/м <sup>2</sup>						
	Возраст, лет					средние по возрасту	средние по работе
	18 - 29	30 - 44	45 - 64	65 - 74	≥75		
Легкая, Ia	59,23	57,23	53,91	51,27	50,28	54,38	63,21
	78,79	75,78	71,16	67,81	66,67	72,04	
Легкая, Ib	79,85	76,84	72,24	68,91	67,23	73,01	81,90
	98,89	95,39	90,03	85,45	84,18	90,79	
Средней тяжести, IIa	99,95	96,45	90,57	86,55	84,75	91,65	106,17
	131,68	126,66	119,14	114,11	111,86	120,69	
Средней тяжести, IIб	132,73	127,72	120,22	114,66	112,43	121,55	135,63
	163,41	157,39	148,25	141,12	138,42	149,72	
Тяжелая, III	164,46	158,45	148,79	142,23	139,55	150,70	165,65
	197,25	189,72	178,44	170,34	167,23	180,60	

В качестве исходных данных принимаем следующие показатели окружающей среды:

- Температура внутреннего воздуха  $t_{\text{возд}} = 20^{\circ}\text{C}$ ;
- Средняя температура окружающих поверхностей  $t_{\text{пов}} = 20^{\circ}\text{C}$ ;
- Относительная влажность воздуха  $\varphi = 50\%$ ;
- Скорость воздуха  $V_{\text{возд}} = 0,1 \text{ м/с}$ ;
- Теплоизоляция комплекта одежды  $I_{\text{cl}} = 0,5 \text{ кло}$  (соответствует комплекту

одежды теплого сезона согласно ГОСТ Р ИСО 7730-2009, рекомендованному для расчёта).

Результаты расчетов PMV, уточненные на основе новых данных по тепловыделению человека, представлены в таблице 3.5.

**Таблица 3.5** – Данные расчета индекса теплового комфорта (PMV)

Нормативные, справочно-методические данные				Полученные данные					
категория работ по уровню энерготрат	СанПиН 1.2.3685-21 Р2.2.2006-05	средние СанПиН 1.2.3685-21 Р2.2.2006-05	[135, 142-146]	Возраст, лет					
				18 - 29	30 - 44	45 - 64	65 - 74	≥75	
Легкая, Ia	-2,27	-1,56	-0,79	-2,19	-2,40	-2,83	-3,32	-3,38	
	-1,05			-0,98	-1,11	-1,36	-1,55	-1,63	
Легкая, Ib	-1,02	-0,65		-0,93	-1,06	-1,30	-1,49	-1,59	
	-0,35			-0,29	-0,39	-0,55	-0,71	-0,76	
Средней тяжести, IIa	-0,34	0,05		0,06	-0,27	-0,36	-0,54	-0,67	-0,74
	0,36				0,42	0,32	0,17	0,07	0,02
Средней тяжести, IIб	0,38	0,67	0,44		0,34	0,19	0,08	0,03	
	0,96		1,00		0,89	0,72	0,59	0,54	
Тяжелая, III	0,97	1,25	0,98		1,01	0,91	0,73	0,61	0,56
	1,54				1,60	1,46	1,26	1,12	1,06

Полученные данные показателя прогнозируемого процента недовольных (PPD) представлены в таблице 3.6.

С использованием дополненных данные о тепловыделении человека, оценка уровня комфортности становится более гибкой. Это позволяет учитывать тепловое состояние различных возрастных групп работников на

разных видах производства, а также жителей многоквартирных домов. Такой подход дает возможность более точного регулирования внутреннего микроклимата в конкретных помещениях, учитывая все факторы, описанные в расчетах.

**Таблица 3.6** – Данные расчета показателя прогнозируемого процента недовольных (PPD)

Нормативные, справочно-методические данные				Полученные данные					
категория работ по уровню энергозатрат	СанПиН 1.2.3685-21 Р2.2.2006-05	средние СанПиН 1.2.3685-21 Р2.2.2006-05	[142, 144-146]	Возраст, лет					
				18 - 29	30 - 44	45 - 64	65 - 74	≥75	
Легкая, Ia	87,32	53,99	18,14	84,59	91,02	98,07	99,73	99,90	
	28,12			25,12	31,18	43,14	53,89	57,89	
Легкая, Ib	27,01	13,8		23,27	28,90	40,04	50,18	55,90	
	7,62			6,80	8,18	11,41	15,61	17,07	
Средней тяжести, IIa	7,4	5,05		5,08	6,47	7,71	11,02	14,46	16,40
	7,77				8,64	7,15	5,61	5,09	5,01
Средней тяжести, IIб	7,93	14,57	8,99		7,43	5,78	5,13	5,02	
	24,28		25,95		21,67	16,02	12,39	11,19	
Тяжелая, III	24,68	37,74	25,08		26,74	22,40	16,32	12,91	11,68
	52,87				56,13	48,84	38,32	31,37	28,87

### 3.3 Оценка теплового комфорта детей

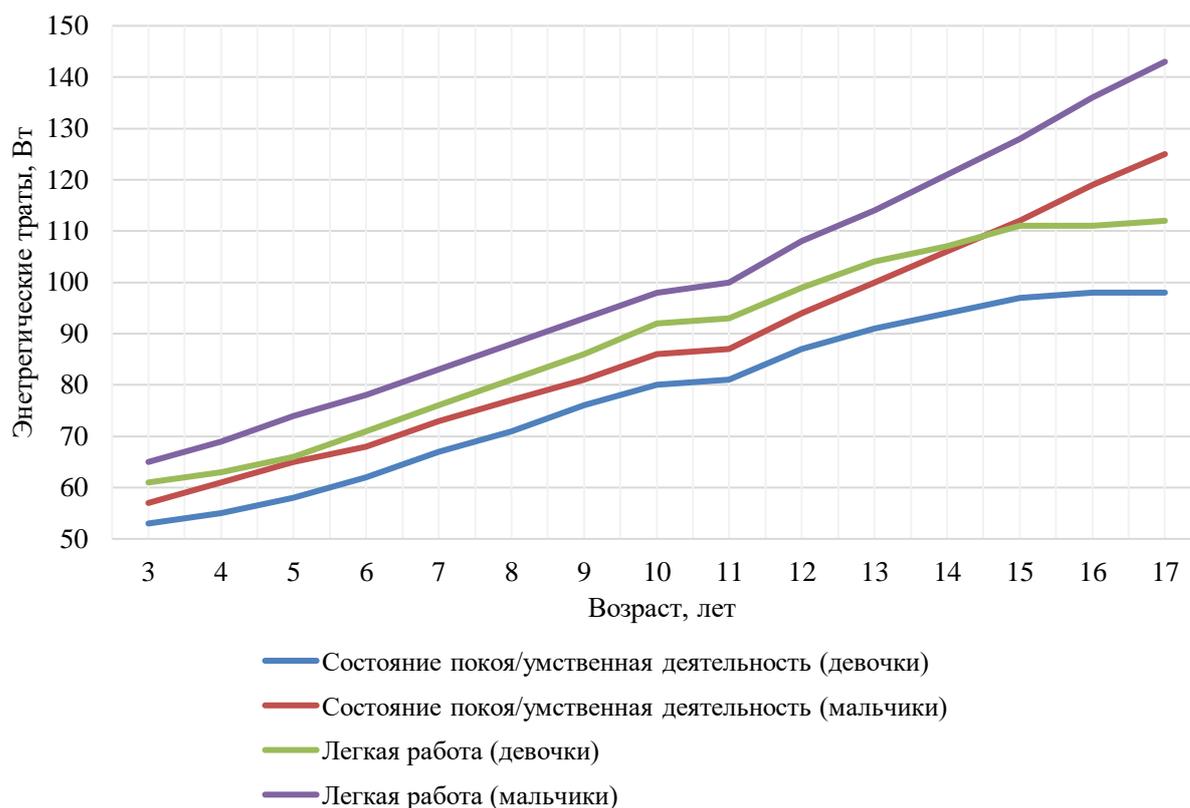
В расчете теплового комфорта детей важно учитывать внутренние тепловыделения, одним из основных источников которого являются сами дети (теплообмен с поверхностью тела, дыхание, потоотделение). На точность расчёта влияет их количество, характер и интенсивность деятельности, возраст, пол и другие параметры. В большинстве нормативных документов расчет теплоступлений ведется относительно человека со следующими параметрами: мужчина, 20-30 лет, 70 кг, живет в умеренном климате. Такой подход не позволяет учесть физиологические и возрастные особенности отдельных возрастных групп.

При оценке антропометрических показателей детей, учитывая рост, пол, массу и возраст ребенка, согласно данным Всемирной организации здравоохранения, уравнения Шофилда для расчета скорости метаболизма и формулы Дюбуа для расчета площади поверхности человеческого тела рассчитан уровень метаболизма при умственной нагрузке (или состоянии покоя) и легкой работе.

Энергетические траты детей при умственном и легком труде следует принять как тепловыделения из-за малого КПД данных видов деятельности. Это связано с тем, что выделение тепла происходит при метаболической активности организма, а в процессе умственной или легкой физической активности метаболизм задействован. Результаты представлены в таблице 3.7 и на рисунке 3.6.

**Таблица 3.7** – Энергетические траты детей при умственной и легкой видах работ

Возраст, лет	Энергетические траты, Вт			
	Состояние покоя/умственная деятельность		Легкая работа	
	Девочки	Мальчики	Девочки	Мальчики
<b>3</b>	53	57	61	65
<b>4</b>	55	61	63	69
<b>5</b>	58	65	66	74
<b>6</b>	62	68	71	78
<b>7</b>	67	73	76	83
<b>8</b>	71	77	81	88
<b>9</b>	76	81	86	93
<b>10</b>	80	86	92	98
<b>11</b>	81	87	93	100
<b>12</b>	87	94	99	108
<b>13</b>	91	100	104	114
<b>14</b>	94	106	107	121
<b>15</b>	97	112	111	128
<b>16</b>	98	119	111	136
<b>17</b>	98	125	112	143



**Рисунок 3.6** – Энергетические траты детей при состоянии покоя и легкой работе

В процессе взросления детей можно заметить постепенный рост энергетических затрат, которые увеличиваются с каждым годом. Однако этот рост не является равномерным: в возрасте между 10 и 11 годами наблюдается заметное замедление в увеличении энергетических трат. При этом существует различие между полами: показатели у мальчиков в целом выше, чем у девочек. Наиболее высокие значения энергетических трат зафиксированы в периоды легкой физической активности.

Из особенностей зависимости можно отметить, что энергетические траты в возрасте 5 лет у мальчиков в состоянии покоя и девочек при легкой работе почти равны. При этом рост энерготрат девочек при легкой работе замедляется с 13 лет, а начиная с 14,5 лет значения энергетических затрат мальчиков в состоянии покоя выше энерготрат девочек при легкой работе.

В таблице 3.8 приведены значения уровня метаболизма детей при умственной и легкой видах работ.

**Таблица 3.8** – Уровень метаболизма детей при умственной и легкой видах работ

Возраст, лет	Уровень метаболизма, Вт/м <sup>2</sup>			
	Состояние покоя/умственная деятельность		Легкая работа	
	Девочки	Мальчики	Девочки	Мальчики
3	88,70	93,54	102,09	106,67
4	81,79	89,86	93,69	101,64
5	78,21	87,10	88,99	99,15
6	77,09	83,54	88,28	95,83
7	76,98	82,64	87,32	93,96
8	75,25	80,74	85,85	92,27
9	74,04	78,99	83,79	90,69
10	71,59	78,01	82,33	88,90
11	66,51	73,48	76,36	84,46
12	65,59	73,32	74,64	84,24
13	63,86	71,44	72,98	81,44
14	62,65	69,25	71,31	79,05
15	62,65	68,05	71,69	77,77
16	62,16	68,73	70,40	78,55
17	61,54	69,85	70,33	79,91

В качестве исходных данных примем следующие значения окружающей среды согласно средним значениям, рекомендуемым ГОСТ 30494-2011 для детских дошкольных учреждений на летний период:

- Температура внутреннего воздуха  $t_{\text{возд}} = 24^{\circ}\text{C}$ ;
- Средняя температура окружающих поверхностей  $t_{\text{пов}} = 23^{\circ}\text{C}$ ;
- Относительная влажность воздуха  $\varphi = 50\%$ ;
- Скорость воздуха  $V_{\text{возд}} = 0,1$  м/с;
- Теплоизоляция комплекта одежды  $I_{cl} = 0,5$  кло (соответствует комплекту одежды теплого сезона согласно ГОСТ Р ИСО 7730-2009, рекомендованному для расчёта).

Применим данные, полученные в таблице 3.6, для расчета показателей. Полученные данные индекса теплового комфорта (PMV) представлены в таблице 3.9 и на рисунке 3.7.

Таблица 3.9 – Результаты расчёта индекса теплового комфорта (PMV)

Возраст, лет	PMV, балл			
	Состояние покоя/умственная деятельность		Легкая работа	
	Девочки	Мальчики	Девочки	Мальчики
3	-1,5	-1,09	-0,81	-0,6
4	-1,29	-0,81	-0,7	-0,42
5	-1	-0,6	-0,55	-0,23
6	-0,76	-0,46	-0,34	-0,09
7	-0,51	-0,26	-0,16	0,06
8	-0,34	-0,12	0	0,19
9	-0,16	0	0,14	0,31
10	-0,03	0,14	0,28	0,41
11	0	0,16	0,31	0,45
12	0,16	0,33	0,43	0,61
13	0,26	0,45	0,53	0,72
14	0,33	0,57	0,59	0,84
15	0,39	0,68	0,66	0,96
16	0,41	0,81	0,66	1,1
17	0,41	0,91	0,68	1,22

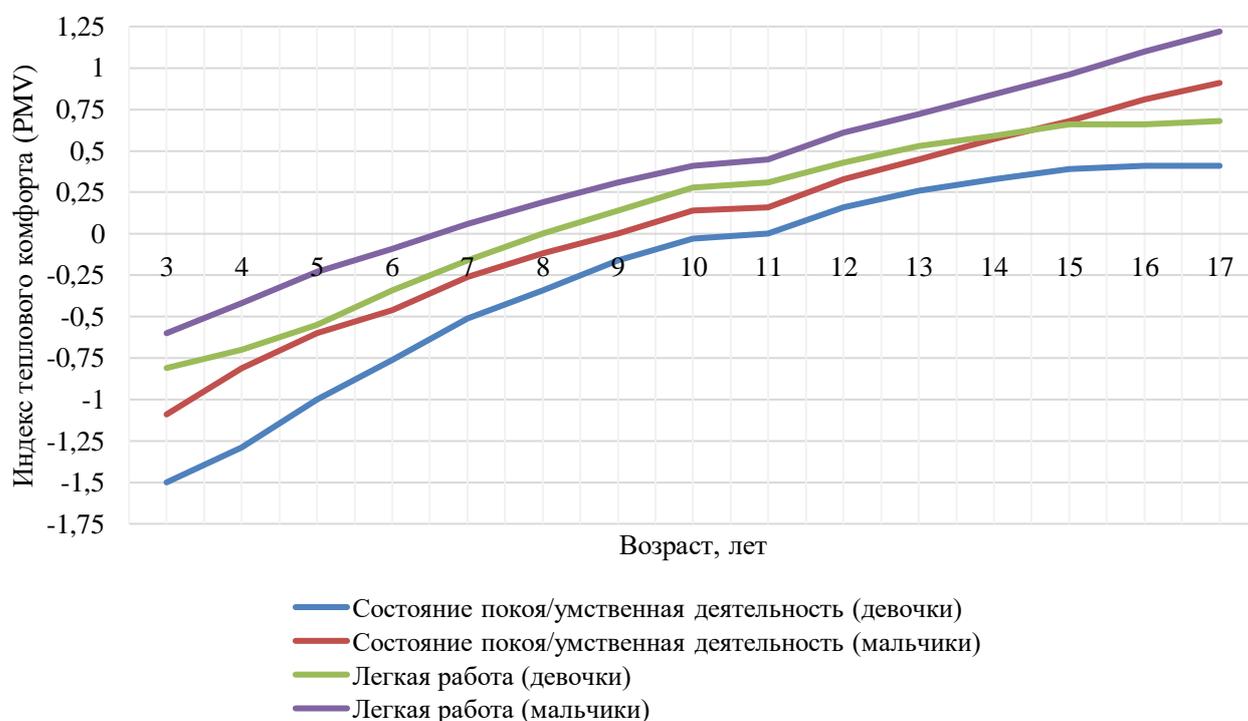


Рисунок 3.7 – Зависимость индекса теплового комфорта (PMV) от возраста детей

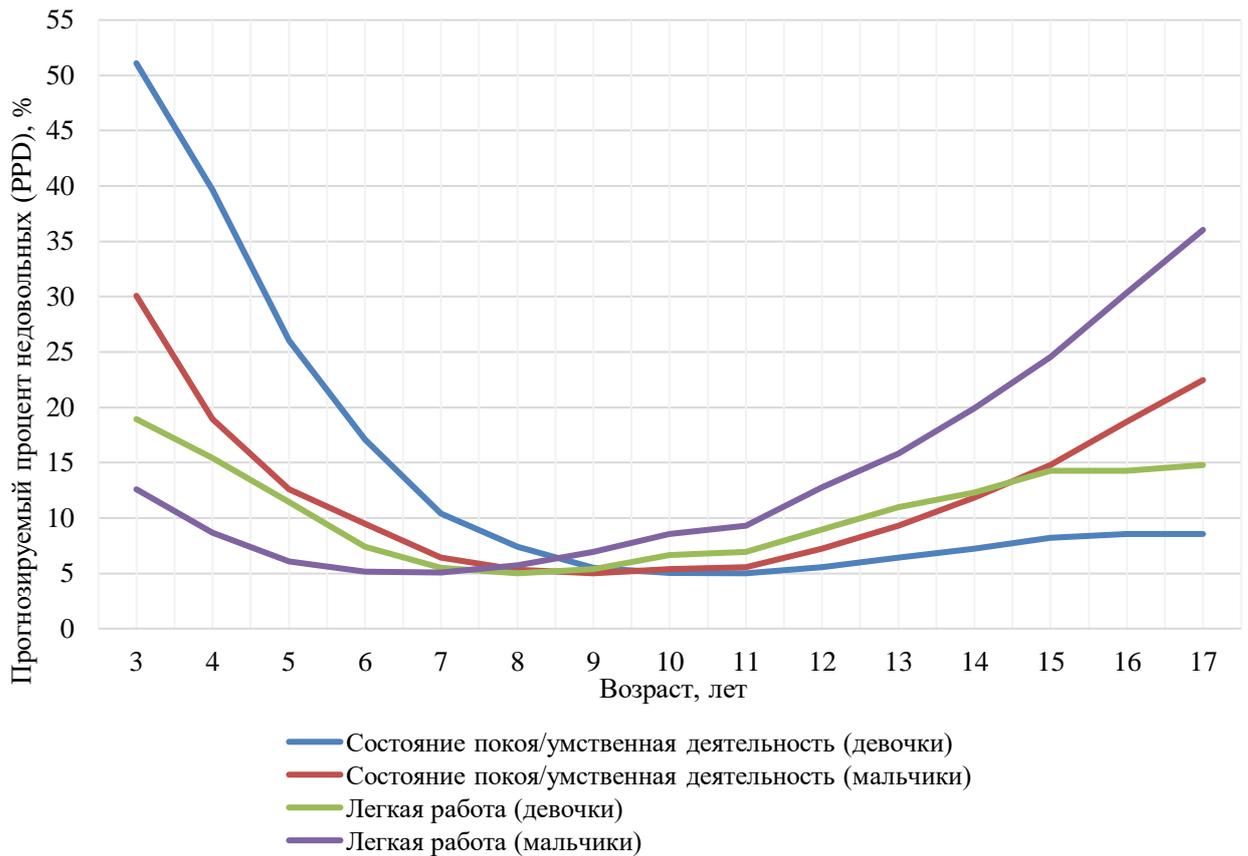
Согласно полученным данным, можно сделать вывод о том, что состояние, близкое к термодинамическому равновесию, при принятых параметрах микроклимата наблюдается у детей 7-11 лет. Дети остальных возрастов будут ощущать некоторое состояние дискомфорта (согласно методике, состояния «немного тепло» или «немного прохладно»). Наибольший дискомфорт испытывают девочки 3-7 лет в состоянии покоя и мальчики 12-17 лет в состоянии легкой работы.

Полученные данные показателя прогнозируемого процента недовольных (PPD) представлены в таблице 3.10 и на рисунке 3.8.

Минимальный процент недовольных внутренним микроклиматом (5-10%) наблюдается у детей в возрасте 8-10 лет, максимальный PPD (51,1%) - у девочек 3 лет в состоянии покоя или умственной деятельности.

**Таблица 3.10** – Результаты расчёта прогнозируемого процента недовольных (PPD)

Возраст, лет	PPD, %			
	Состояние покоя/умственная деятельность		Легкая работа	
	Девочки	Мальчики	Девочки	Мальчики
3	51,1	30,08	18,93	12,61
4	39,68	18,93	15,42	8,69
5	26,01	12,61	11,44	6,06
6	17,08	9,49	7,39	5,17
7	10,4	6,43	5,51	5,07
8	7,39	5,31	5	5,74
9	5,51	5	5,39	6,95
10	5,02	5,39	6,67	8,57
11	5	5,55	6,95	9,31
12	5,55	7,24	8,94	12,78
13	6,41	9,31	10,95	15,85
14	7,24	11,84	12,31	19,92
15	8,22	14,78	14,26	24,51
16	8,57	18,7	14,26	30,38
17	8,57	22,48	14,78	36,04



**Рисунок 3.8** – Зависимость прогнозируемого процента недовольных (PPD) от возраста детей

Для расчета уровня теплового комфорта детей, относящихся к категории школьников, использованы следующие исходные данные:

- Температура внутреннего воздуха  $t_{\text{возд}} = 20^{\circ}\text{C}$ ;
- Средняя температура окружающих поверхностей  $t_{\text{пов}} = 20^{\circ}\text{C}$ ;
- Относительная влажность воздуха  $\varphi = 50\%$ ;
- Скорость воздуха  $V_{\text{возд}} = 0,1 \text{ м/с}$ ;
- Теплоизоляция комплекта одежды  $I_{cl} = 0,5 \text{ кло}$ .

Полученные данные индекса теплового комфорта (PMV) представлены в таблице 3.11 и на рисунке 3.9.

Таблица 3.11 – Результаты расчёта индекса теплового комфорта (PMV)

Возраст, лет	PMV, балл			
	Состояние покоя/умственная деятельность		Легкая работа	
	Девочки	Мальчики	Девочки	Мальчики
3	-2,96	-2,43	-2,04	-1,74
4	-2,68	-2,04	-1,89	-1,48
5	-2,3	-1,74	-1,67	-1,2
6	-1,96	-1,54	-1,36	-1,01
7	-1,61	-1,25	-1,1	-0,8
8	-1,36	-1,06	-0,88	-0,62
9	-1,1	-0,88	-0,69	-0,46
10	-0,92	-0,69	-0,49	-0,32
11	-0,88	-0,66	-0,46	-0,26
12	-0,66	-0,43	-0,29	-0,07
13	-0,52	-0,26	-0,16	0,06
14	-0,43	-0,12	-0,09	0,21
15	-0,35	0,02	0	0,35
16	-0,32	0,17	0	0,5
17	-0,32	0,29	0,02	0,63

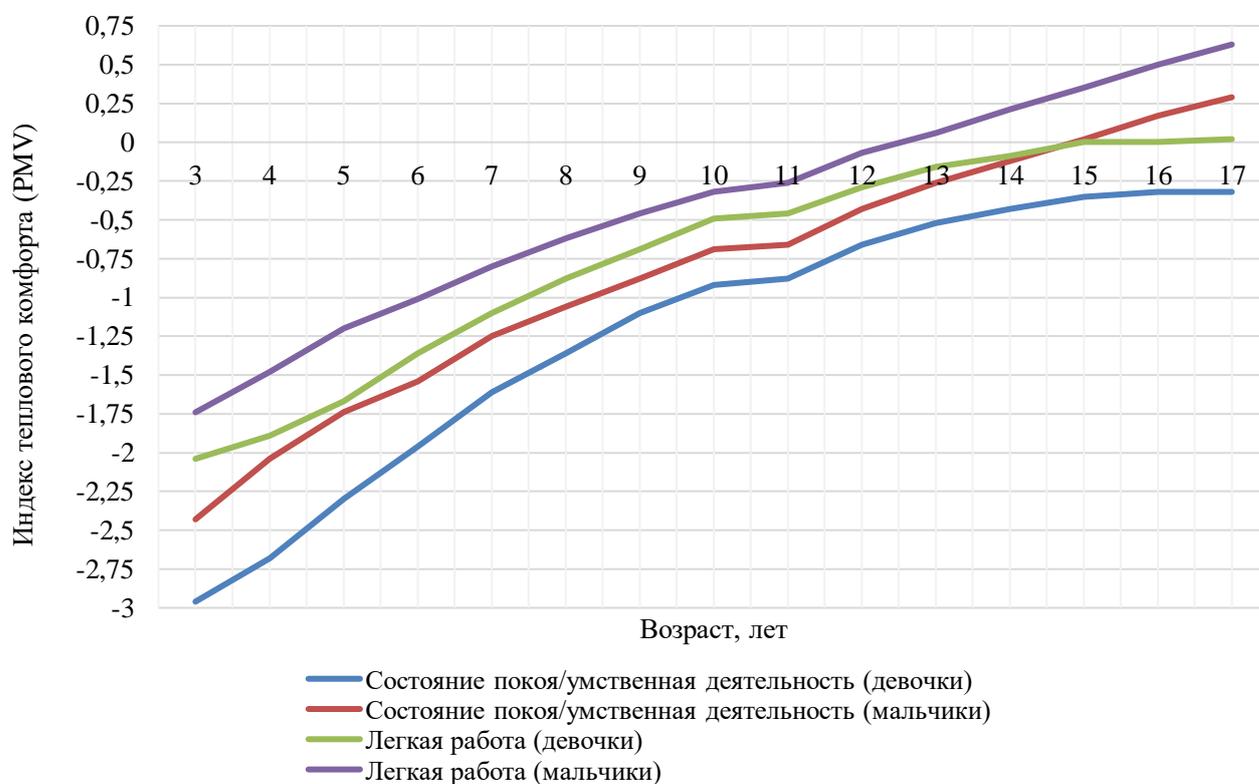


Рисунок 3.9 – Зависимость индекса теплового комфорта (PMV) от возраста детей

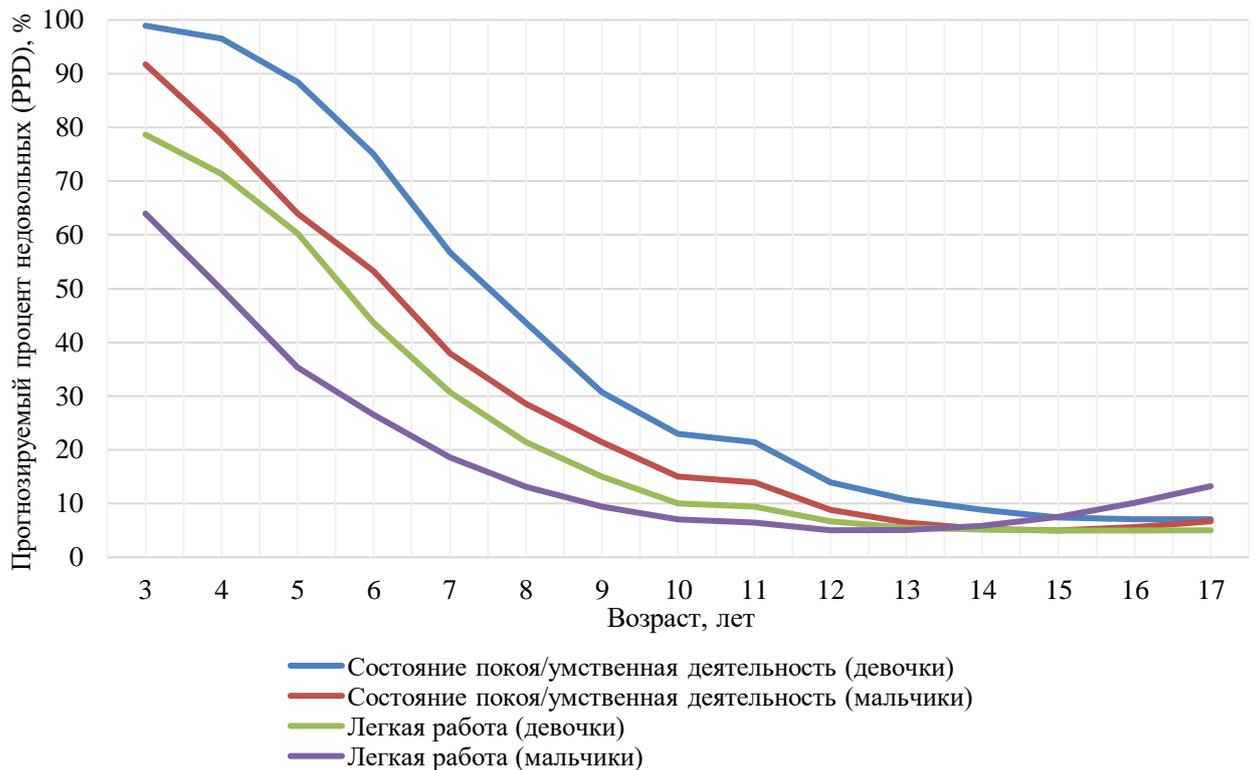
Полученные данные показателя прогнозируемого процента недовольных (PPD) представлены в таблице 3.12 и на рисунке 3.10.

Минимальный прогнозируемый процент наблюдается у детей 12-17 лет, при этом дети меньших возрастов будут недовольны расчетным состоянием микроклимата. Особенно острой является ситуация для детей 3-7 лет.

По результатам анализа данных можно сделать вывод, что использование информации об энергетических тратах человека позволяет более детально рассматривать тепловые состояния детей разных возрастных групп. Это, в свою очередь, способствует более качественному регулированию внутреннего микроклимата помещений с учетом рассмотренных факторов.

**Таблица 3.12** – Результаты расчёта прогнозируемого процента недовольных (PPD)

Возраст, лет	PPD, %			
	Состояние покоя/умственная деятельность		Легкая работа	
	Девочки	Мальчики	Девочки	Мальчики
3	98,92	91,73	78,65	63,97
4	96,5	78,65	71,39	49,88
5	88,4	63,97	60,3	35,39
6	75,07	53,24	43,62	26,59
7	56,71	37,97	30,7	18,57
8	43,62	28,57	21,43	13,08
9	30,7	21,43	15,02	9,43
10	23,02	15,02	10,05	7,1
11	21,43	14,01	9,43	6,45
12	14,01	8,88	6,76	5,1
13	10,71	6,45	5,55	5,09
14	8,88	5,28	5,17	5,91
15	7,48	5,01	5	7,51
16	7,1	5,59	5	10,2
17	7,1	6,74	5,01	13,28



**Рисунок 3.10** – Зависимость прогнозируемого процента недовольных (PPD) от возраста детей

### 3.4 Влияние влажности на тепловой комфорт

Термодинамическое равновесие между человеком и его окружающей средой — это важный фактор, влияющий на его комфорт и здоровье. Одним из факторов, определяющих комфорт, является влажность воздуха, которая в сочетании с температурой может существенно влиять на восприятие температуры воздуха.

Например, при низкой влажности и низкой температуре процесс испарения влаги с кожи усиливается, что может вызвать ощущение холода. Это связано с тем, что испарение влаги с поверхности кожи отнимает тепло, охлаждая тело.

При высокой влажности и высокой температуре воздуха, наоборот, процесс испарения пота с кожи замедляется, так как воздух уже насыщен влагой. Это затрудняет процесс теплоотдачи тела и создает ощущение духоты и жары.

Определим температуры, при которых достигается термодинамическое равновесие человека и окружающей среды (достигается при  $PMV=0$ , назовем эту температуру «оптимальной») для разных возрастов и видов деятельности. Поскольку, согласно ГОСТ 30494-2011, допустимая влажность воздуха для детских садов и школ лежит в интервале 30-60%, для расчета используем крайние границы этого интервала.

За исходные приняты следующие данные:

- средняя температура окружающих поверхностей  $t_{нов} = (t_в - 3)^\circ\text{C}$ ;
- скорость воздуха  $V_{возд} = 0,1$  м/с;
- теплоизоляция комплекта одежды  $I_{cl} = 0,5$  кло.

В таблице 3.13 представлены данные об оптимальных температурах воздуха в помещении для детей разных возрастов при выполнении различных видов деятельности: состояние покоя/умственная деятельность и легкая работа. Данные отсортированы по возрасту детей, расчет проведен для влажности воздуха, равной 30%.

**Таблица 3.13** – Температуры достижения  $PMV=0$  при влажности 30%

Возраст, лет	Состояние покоя/умственная деятельность		Легкая работа	
	Девочки	Мальчики	Девочки	Мальчики
3	24,41	23,83	22,81	22,27
4	25,23	24,27	23,81	22,87
5	25,66	24,60	24,37	23,16
6	25,79	25,02	24,46	23,56
7	25,81	25,13	24,57	23,78
8	26,01	25,36	24,75	23,98
9	26,16	25,57	24,99	24,17
10	26,45	25,68	25,17	24,39
11	27,05	26,22	25,88	24,91
12	27,16	26,24	26,09	24,94
13	27,37	26,47	26,28	25,27
14	27,51	26,73	26,48	25,56
15	27,51	26,87	26,44	25,71
16	27,57	26,79	26,59	25,62
17	27,65	26,66	26,60	25,46

Оптимальная температура воздуха для девочек и мальчиков в состоянии покоя и умственной деятельности увеличивается с возрастом. Например, для 3-летних девочек эта температура составляет 24,41°C, а для 17-летних девочек – 27,65°C. Для мальчиков эти значения составляют 23,83°C и 26,66°C соответственно. Температура при выполнении легкой работы также увеличивается с возрастом и в целом ниже, чем при состоянии покоя. Для 3-летних девочек оптимальная температура составляет 22,81°C, а для 17-летних – 26,60°C. Для мальчиков данные значения равны 22,27°C и 25,46°C.

Температура достижения термодинамического равновесия для девочек выше, чем для мальчиков, вне зависимости от типа деятельности. Среднее значение разности температур девочек и мальчиков, занимающихся умственной работой, составляет 0,79°C, легкой работой – 0,91°C. Среднее значение разности оптимальных температур между возрастными 3 и 17 лет составляет 3,26°C.

Таким образом, температура воздуха в помещении для детей разного возраста зависит от их пола и типа деятельности, и с возрастом она увеличивается, причем для девочек эта температура в целом выше, чем для мальчиков.

В таблице 3.14 представлены данные об оптимальных температурах воздуха при влажности воздуха, равной 60%.

**Таблица 3.14** – Температуры достижения PMV=0 при влажности 60%

Возраст, лет	Состояние покоя/умственная деятельность		Легкая работа	
	Девочки	Мальчики	Девочки	Мальчики
3	23,67	23,10	22,10	21,57
4	24,48	23,54	23,09	22,16
5	24,90	23,86	23,64	22,45
6	25,03	24,28	23,72	22,84
7	25,05	24,38	23,83	23,06
8	25,25	24,60	24,01	23,25
9	25,39	24,81	24,25	23,44
10	25,68	24,92	24,42	23,65

**Продолжение таблицы 3.14**

<b>11</b>	26,27	25,46	25,12	24,17
<b>12</b>	26,38	25,47	25,32	24,19
<b>13</b>	26,58	25,69	25,51	24,52
<b>14</b>	26,72	25,95	25,71	24,80
<b>15</b>	26,72	26,09	25,67	24,95
<b>16</b>	26,78	26,01	25,82	24,86
<b>17</b>	26,86	25,88	25,82	24,70

В сравнении с данными при влажности воздуха 30%, результаты при влажности 60% продемонстрировали аналогичные тенденции увеличения температур термодинамического равновесия с возрастом и более высокие температуры для девочек по сравнению с мальчиками. Однако, значения оптимальных температур при влажности 60% ниже, чем при 30% влажности. Это указывает на то, что при более высокой влажности детям комфортнее находиться при более низких температурах.

Результаты показывают, что оптимальная температура воздуха для девочек и мальчиков в состоянии покоя и умственной деятельности увеличивается с возрастом. Например, для 3-летних девочек эта температура составляет 23,67°C, а для 17-летних девочек – 26,86°C. Для мальчиков эти значения составляют 23,10°C и 25,88°C соответственно. Температура при выполнении легкой работы также уменьшается с возрастом и в целом ниже, чем при состоянии покоя. Для 3-летних девочек оптимальная температура составляет 22,10°C, а для 17-летних – 25,82°C. Для мальчиков данные значения равны 21,57°C и 24,70°C.

Температура достижения термодинамического равновесия для девочек выше, чем для мальчиков, вне зависимости от типа деятельности. Среднее значение разности температур девочек и мальчиков, занимающихся умственной работой, составляет 0,78°C, легкой работой – 0,89°C. Среднее значение разности оптимальных температур между возрастными группами 3 и 17 лет составляет 3,20°C.

Исследование оптимальных температур воздуха для детей разных возрастов и пола показало, что температура для достижения термодинамического равновесия человека и окружающей среды зависит от возраста, пола и типа деятельности. Для всех возрастных групп значения увеличиваются с возрастом и в целом ниже для выполнения легкой работы по сравнению с состоянием покоя/умственной деятельностью. Девочки имеют более высокую оптимальную температуру, чем мальчики, независимо от типа деятельности.

Для детей младшего возраста требуется более низкая температура окружающего воздуха для поддержания термодинамического равновесия, чем для взрослых и подростков. Это объясняется меньшей площадью тела у маленьких детей, что вызывает более медленный теплообмен.

Кроме того, уровень влажности воздуха оказывает влияние на восприятие температуры, и более высокая влажность позволяет детям чувствовать себя комфортнее при более низких температурах. При влажности 60% оптимальные температуры для всех возрастных групп ниже, чем при влажности 30%.

Таким образом, температура воздуха в помещении оказывает значительное влияние на комфорт и тепловой баланс человека. В сочетании с влажностью, температура воздуха может изменять восприятие тепла или холода. При низкой влажности и низкой температуре испарение влаги с поверхности кожи усиливается, вызывая ощущение холода, в то время как при высокой влажности и высокой температуре воздуха процесс испарения пота замедляется, создавая ощущение духоты и жары. С возрастом температура для достижения термодинамического равновесия увеличивается. Для девочек она выше, чем для мальчиков, независимо от типа деятельности.

### **3.5 Подтверждение адекватности модели**

Математическая модель создана с целью прогнозирования температуры внутреннего воздуха в помещении, что в свою очередь позволит

прогнозировать уровни теплового комфорта для отдельных категорий граждан.

В процессе исследования важнейшим этапом является статистическая верификация полученной модели. Для выбора дальнейшего критерия необходимо определить соответствие полученных данных нормальному распределению. Одним из наиболее общепринятых критериев для проверки гипотезы о соответствии эмпирического распределения определенному теоретическому является критерий Колмогорова-Смирнова.

Критерий Колмогорова-Смирнова был применен в данном исследовании для оценки соответствия распределения данных модели и фактически измеренных значений нормальному распределению.

Выбор критерия Колмогорова-Смирнова обосновывается его свойствами. Он является непараметрическим, что позволяет использовать его без предварительных предположений о характере распределения данных. Критерий Колмогорова-Смирнова позволяет оценить совокупность отклонений наблюдаемого распределения от предполагаемого теоретического, вместо анализа отдельных параметров распределения, что увеличивает его информативность и точность. Результаты анализа представлены в таблице 3.15.

**Таблица 3.15** – Анализ нормальности распределения смоделированных и эмпирически полученных данных

<b>Одновыборочный критерий Колмогорова-Смирнова</b>		
	модель	измеренный
N	3913	3913
Статистика критерия	0,046	0,142

Статистический критерий Колмогорова-Смирнова составляет 0.046 для смоделированных данных и 0.142 для измеренных, а асимптотическая значимость  $p < 0,001$  для обеих групп. Это означает, что распределение обеих групп статистически значимо отличается от нормального, несмотря на примененную коррекцию значимости Лиллиефорса.

Таким образом, можно сделать вывод, что как моделированные, так и измеренные данные не следуют нормальному распределению, поэтому для определения значимости различий будет использован непараметрический критерий. Ввиду того, что и измеренные, и моделированные данные зависят от одной и той же переменной (температуры на улице), для сравнения использован непараметрический критерий W-Вилкоксона для парных выборок.

Результаты проведенного статистического анализа с использованием критерия Вилкоксона отображены в таблице 3.16.

**Таблица 3.16** – Анализ различий между смоделированными и эмпирически полученными данными

	модель - измеренный
W	-0,085
Уровень значимости	0,932

Значение W-Вилкоксона отражает степень различия между двумя связанными группами. В данном контексте,  $W = -0.085$ , что указывает на небольшую разницу между двумя группами измерений. Согласно стандартному нормальному распределению, значения W-статистики, близкие к нулю, указывают на то, что различия между группами статистически не значимы.

Уровень значимости (p) является ключевым показателем в статистическом анализе. Этот коэффициент позволяет оценить вероятность того, что полученные различия между группами случайны. Если p-value меньше установленного порога значимости (обычно 0,05), то можно отвергнуть нулевую гипотезу о равенстве средних в двух группах. В данном случае  $p=0,932$ , что значительно превышает порог значимости, следовательно, нельзя отвергнуть нулевую гипотезу. Таким образом, можно заключить, что статистически значимых различий между измерениями, произведенными с помощью математической модели, и фактическими измерениями нет.

Дополнительно следует отметить, что на основе отрицательных рангов вычислялся показатель  $W$ . Это говорит о том, что в некоторых случаях фактические измерения были больше, чем предсказания модели. Однако, учитывая незначительное значение  $W$  и высокое значение уровня значимости, эти различия можно считать статистически незначимыми.

Таким образом, полученные результаты говорят о том, что математическая модель достаточно точно предсказывает фактическую температуру воздуха в помещении, обеспечивая вероятностью более 93% того, что любые различия с реальными измерениями являются случайными. Это подтверждает эффективность и достоверность применяемой математической модели для прогнозирования температуры воздуха в помещении.

### **3.6 Выводы по главе 3**

1. Проведены экспериментальные исследования температурного режима в помещении в период 05.05.22 - 13.05.22 г. и 08.05.23 - 15.05.23 г. При температуре наружного воздуха, удовлетворяющей критериям для прекращения работы центрального отопления, внутренняя температура не находится в оптимальных ( $22-25^{\circ}\text{C}$ ) или допустимых ( $20-28^{\circ}\text{C}$ ) пределах для теплого времени года, согласно ГОСТ 30494-2011, что указывает на нарушение теплового комфорта в помещении. Например, при средней температуре воздуха в течение суток 05.05-06.05.2022 г., равной  $9,65^{\circ}\text{C}$ , средняя температура внутреннего воздуха равна  $18,36^{\circ}\text{C}$ . Проведен расчет динамики изменения теплового комфорта человека при полученных данных микроклимата, получены рекомендуемые температуры внутреннего воздуха для достижения термодинамического равновесия человеческого тела и окружающей среды. Например, для сидячей работы температура равна  $24,7^{\circ}\text{C}$ .

2. Получены уточненные данные уровней метаболизма человека, которые позволяют рассмотреть тепловые состояния отдельных возрастных групп жильцов (от 18 до 75+ лет) при разных уровнях физической активности. Различия средних и уточненных значения составляет от  $-23,93\%$  до  $27,35\%$ .

3. Получены уточненные данные уровней метаболизма детей в возрасте от 3 до 17 лет при умственной нагрузке и легкой работе. Расчет выполнен согласно данным Всемирной организации здравоохранения, уравнения Шофилда для расчета скорости метаболизма и формулы Дюбуа для расчета площади поверхности человеческого тела. Различия средних и уточненных значения составляет от -22,94% до 33,57%.

4. Исследование влияния влажности на тепловой комфорт детей показывает, что при влажности 30% и 60% разность комфортных температур лежит в интервале 0,70-0,79°C. Оптимальная температура воздуха увеличивается с возрастом. Среднее значение разности оптимальных температур между возрастными группами 3 и 17 лет составляет 3,26°C для влажности 30%, 3,20°C – для влажности 60%.

5. Сравнительный анализ показал, что эмпирические данные и данные, полученные с помощью модели, не имеют статистически значимых различий. Критерий W-Вилкоксона равен -0,085, уровень значимости равен 0,932, что подтверждает адекватность математической модели. Это подтверждает эффективность и достоверность применяемой математической модели для прогнозирования температуры воздуха в помещении.

## ГЛАВА 4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Современные исследования подчеркивают важность комфортных условий проживания для поддержания здоровья и благополучия людей. Одним из ключевых факторов, влияющих на здоровье, является микроклимат помещений, и, в частности, температура воздуха.

В исследовании изучены эффекты воздействия температуры в помещении на посещение отделений неотложной помощи из-за инфекционных (ИРЗ) и неинфекционных респираторных заболеваний (НИРЗ) [147]. Результаты показали, что риск обращений в отделение неотложной помощи из-за ИРЗ возрастает при температуре в помещении выше 27°C в летний период и при температуре ниже 23°C в отопительный сезон. В отношении НИРЗ наибольшая вероятность обращений наблюдается при температуре 31°C в летний сезон и температуре ниже 23°C в отопительный сезон. Кроме того, частота обращений мужчин была ниже, чем у женщин.

Температура оказывает влияние на риск ИРЗ. Пневмония является основным ИРЗ, а высокие и низкие температуры подавляют иммунную функцию организма, увеличивая риск заболевания. Высокие и низкие температуры также являются факторами риска для НИРЗ, вызывая респираторные симптомы и увеличивая смертность от респираторных заболеваний.

Исследование подтверждает влияние микроклимата на здоровье людей [148]. Работа также указывает на зависимость пониженной температуры в помещении с количеством зимних госпитализаций среди пожилых.

Отклонение параметров микроклимата от оптимальных условий негативно влияет на здоровье человека. Примеры негативных воздействий:

– повышение температуры воздуха с увеличением влажности приводит к ограничению теплоотдачи, вызывая перегрев организма с повышением

температуры тела, учащением пульса и интенсивным потоотделением. Длительное пребывание в таких условиях может нарушать работу сердечно-сосудистой системы и водно-солевой обмен;

– снижение температуры воздуха при увеличении скорости воздушных потоков и влажности приводит к переохлаждению организма, вызывая инфекционно-воспалительные заболевания, спазмы сосудов и проблемы с суставами и почками;

– снижение уровня влажности воздуха снижает иммунитет, способствуя инфекционно-воспалительным заболеваниям, аллергическим реакциям и проблемам со зрительной функцией. Общее ухудшение состояния организма вызывает утомляемость и раздражительность;

– наличие загрязняющих веществ и твердых частиц в воздухе вызывает воспаление дыхательных путей и легких, подавляет иммунитет и снижает переносимость кислорода кровью. Все эти факторы способствуют развитию пневмонии, ишемической болезни сердца и рака легких.

Таким образом, поддержание комфортной внутренней температуры помещений имеет большое значение для здоровья людей. Разработка технического решения и методик, направленных на улучшение теплового комфорта, учитывающих индивидуальные особенности эксплуатируемых зданий и проживающих в них людей, является актуальной задачей.

#### **4.1 Расчёт начала периода потребности в тепловой энергии в осеннее межсезонье**

В течение года люди ежедневно проводят в жилых помещениях от 12 до 24 часов, поэтому параметры микроклимата при длительном и систематическом воздействии на человека должны обеспечивать нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80 % находящихся в помещении людей [149].

В межсезонье включение отопления происходит при среднесуточной температуре  $8^{\circ}\text{C}$  или ниже, в течение не менее 5 дней подряд. Выключение, соответственно произойдет при установлении температуры  $8^{\circ}\text{C}$  и выше. В переходный период года комфорт помещений наиболее зависим от наружных погодных условий, поскольку бытовые теплопоступления практически не изменяются. Значительную часть его времени система терморегуляции человека, чаще из-за переохлаждения, находится в напряжении [149].

Теплоаккумулирующей и теплозащитной способностей зданий и помещений может быть недостаточно для предотвращения снижения температуры внутреннего воздуха. В таком случае в помещениях не будут соблюдаться условия комфортности: фактические параметры внутреннего воздуха отличаются от нормируемых СНиП и санитарными нормами, что вынуждает потребителей самовольно вмешиваться в работу систем теплоснабжения, применяя различные механизмы компенсации недотопа на теплоисточниках.

Для определения температуры воздуха внутри помещения, необходимо учесть различные факторы, включая теплоемкость воздуха, объем отапливаемого пространства, временной интервал и динамические показатели притока и оттока тепловой энергии [42].

Формула (2.60) была представлена как инструмент для оценки динамики изменения температуры воздуха внутри анализируемого объекта. Используя её, можно определить влияние различных факторов на температурный режим помещения и, таким образом, найти оптимальные условия для его поддержания.

Согласно Приказа «Об утверждении правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов» от 6.06.2016 г. №399/пр (далее – Приказ №399) класс энергоэффективности определяется как величина отклонения значения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня, измеряемая в процентах (таблица 4.1).

**Таблица 4.1** – Классы энергетической эффективности

Обозначение класса энергетической эффективности	Наименование класса энергетической эффективности	Величина отклонения значения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня, %
A++	Высочайший	-60 включительно и менее
A+	Высочайший	от -50 включительно до -60
A	Очень высокий	от -40 включительно до -50
B	Высокий	от -30 включительно до -40
C	Повышенный	от -15 включительно до -30
D	Нормальный	от 0 включительно до -15
E	Пониженный	от +25 включительно до 0
F	Низкий	от +50 включительно до +25
G	Очень низкий	более +50

В нормативном документе также указан базовый уровень удельного годового расхода энергетических ресурсов в многоквартирном доме, с которым необходимо сравнивать фактический удельный годовой расход. Расчет необходимого показателя для многоквартирного дома нужной этажности и градусо-суток (ГСОП) отопительного периода согласно Приказа выполняется методом линейной интерполяции по этажности и градусо-суткам отопительного периода рассматриваемого населенного пункта (ГСОП).

Исходя из предоставленных данных, можно провести расчеты, связанные с теплообменом в помещении. Для этого примем следующие параметры:

- Температура воздуха внутри помещения: 20°C.
- Площадь помещения на одного жителя: 20 м<sup>2</sup>.
- Нормативный воздухообмен: 30 м<sup>3</sup>/ч на одного жителя.
- Удельные бытовые внутренние теплотери: 17 Вт/м<sup>2</sup> общей площади.
- Характеристики объекта: размеры ограждающих конструкций, материалы и дополнительные параметры.

Используя математическую модель, имеется возможность, учитывая погодные условия, определить температуру начала периода потребности в тепловой энергии (являющуюся в данном случае температурой, при которой

внутренних тепловыделений и теплоаккумулирующей способности здания недостаточно для поддержания оптимального внутреннего микроклимата).

Для демонстрации зависимости температуры начала периода потребности в тепловой энергии от класса энергоэффективности был произведен следующий расчёт: за основу в качестве объекта исследования был принят девятиэтажный жилой дом серии 91-014, расположенный в г. Белгороде. Выбор обусловлен достаточной распространённостью данного типа многоэтажных зданий в Белгородской области и соседних регионах.

Расчет проводился при помощи подбора заданной величины отклонения значения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня, меняя значение теплопроводности материала наружной ограждающей конструкции.

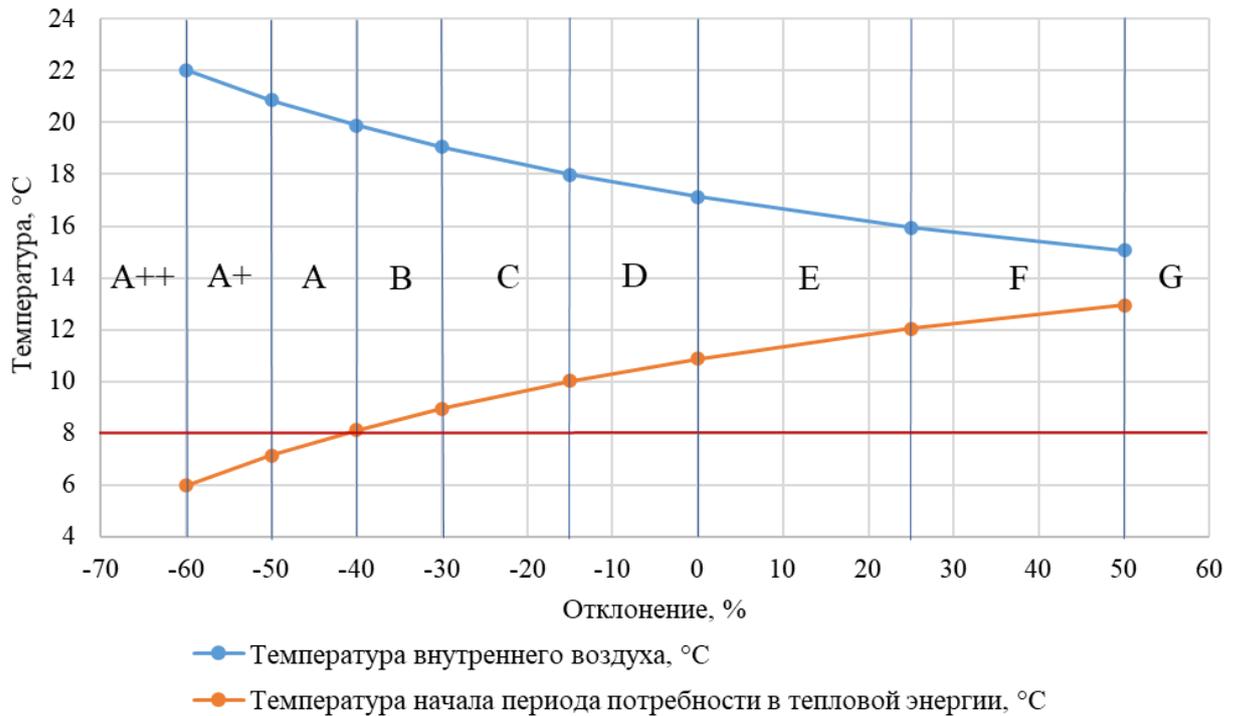
Были определены температуры внутреннего воздуха жилого помещения при температуре наружного воздуха равной 8°C (значение температуры начала и окончания отопительного периода), а также температуры наружного воздуха, соответствующие значению температуры начала периода потребности, при которых температура внутреннего воздуха при отсутствии отопления будет равна 20°C (минимальное значение оптимального диапазона температур для жилых помещений) [150].

**Таблица 4.2** – Зависимость температуры внутреннего воздуха и температуры начала периода потребности в тепловой энергии от величины отклонения значения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня

Отклонение, %	-60	-50	-40	-30	-15	0	25	50
Температура внутреннего воздуха, °C	22,03	20,87	19,89	19,05	17,99	17,12	15,95	15,06
Температура начала периода потребности, °C	5,97	7,13	8,11	8,95	10,01	10,88	12,05	12,94

На рисунке 4.1 представлена графическая зависимость температуры внутреннего воздуха и температуры начала периода потребности от величины

отклонения значения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня.



**Рисунок 4.1** – Зависимость температуры внутреннего воздуха и температуры начала периода потребности от величины отклонения значения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня

Полученные результаты демонстрируют наличие зависимости между температурой начала периода потребности в тепловой энергии для конкретного здания в зависимости от его класса энергоэффективности, поэтому указанная в Постановлении температура начала отопительного периода не всегда соответствует необходимой для обеспечения комфортной температуры внутреннего воздуха для жильцов многоквартирных домов.

При установленной Постановлением Правительства РФ от 06.05.2011 №354 температуре начала отопительного периода температура внутреннего воздуха, равная 20°C, будет достижима при отклонении, равном -41,182% (которое соответствует классу энергоэффективности А).

## 4.2 Методика определения начала периода потребности в тепловой энергии здания

Методика позволяет произвести расчет температуры наружного воздуха, при которой необходимо начинать подачу тепловой энергии в здание. Основной целью методики является достижение оптимального соотношения между тепловым комфортом и эффективностью потребления энергии, исходя из особенностей теплотехнических и геометрических характеристик конкретного здания.

Методика определения температуры начала периода потребности в тепловой энергии здания заключается в следующем:

### 1. Формирование поэтажного расчета тепловых потоков

#### 1.1. Используемые исходные данные:

– геометрические характеристики здания (площади ограждающих конструкций ( $F_i$ ), кол-во этажей, коэффициент остекленности ( $k_{ост}$ ), высота этажа ( $h$ ));

– теплотехнические характеристики (коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций ( $K_i$ ) или коэффициенты теплопроводности материалов ограждающих конструкций ( $\lambda_i$ ) и их толщины ( $\sigma_i$ )).

1.2. Расчет ведется согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Принимается воздухообмен ( $L_H$ ) равный 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади, температура внутреннего воздуха  $t_{в}=20^{\circ}\text{C}$ . Расчет формируется для каждого типа ограждающей конструкции каждого этажа с учетом их ориентации по сторонам света и иных дополнительных условий, влияющих на тепловой баланс здания.

Коэффициенты сопротивления теплопередаче ( $R_i$ ) рассчитываются по формуле (2.29) для однослойных конструкций, по формуле (2.30) – для многослойных.

Коэффициенты сопротивления теплопередаче пола ( $R_{\text{пола}}$ ) определяется согласно п.2.3.1 работы и формул (2.31-2.32).

Коэффициенты теплопередачи ( $K$ ) определяются как обратные величины к коэффициентам сопротивления теплопередаче ( $R$ ):

$$K = \frac{1}{R} \quad (4.1)$$

Расчет тепловых потоков через ограждающие конструкции выполняется согласно формуле (2.39).

Расчет потерь теплоты через ограждающие конструкции ведется согласно формуле (2.40).

Расчет теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха ( $Q_{и}$ ) выполняется по формуле:

$$Q_{и} = 0,28 \cdot 3 \cdot F_{\text{пола}} \cdot \rho_{в} \cdot c(t_{в} - t_{н}) \quad (4.2)$$

где  $F_{\text{пола}}$  – площадь пола, м<sup>2</sup>;  $\rho_{в}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>,  $c$  – удельная теплоемкость, принимаемая равной 1,005 кДж/(кг·°С);  $t_{в}$  – температура внутреннего воздуха, °С;  $t_{н}$  – температура наружного воздуха, °С.

Плотность воздуха ( $\rho_{в}$ ) рассчитывается по формуле:

$$\rho_{в} = \frac{353}{273+t_{н}} \quad (4.3)$$

Удельные бытовые тепловыделения ( $q_{бт}$ ) принимаются равными 17 Вт на 1 м<sup>2</sup> жилого помещения. Бытовые тепловыделения ( $Q_{бт}$ ) рассчитываются, используя следующую формулу:

$$Q_{бт} = 17 \cdot F_{\text{пола}} \quad (4.4)$$

Коэффициенты дополнительных потерь теплоты на ориентацию по сторонам света, при наличии двух и более наружных стен, на открывании дверей принимаются согласно [139].

Общее количество теплотерь на этаже ( $Q_{тп}$ ) определяется по формуле (2.42).

Необходимое количество теплоты для отопления этажа ( $Q_{о}$ ) определяется по формуле (2.43).

Общее количество теплоты ( $\sum Q_o$ ) находится суммой полученных значений  $Q_o$  по каждому этажу.

2. Определение температуры начала периода потребности в тепловой энергии

2.1. Расчет температуры начала периода потребности выполняется циклом последовательных приближений. Изменяемым параметром приближения является температура наружного воздуха ( $t_n$ ), при которой  $\sum Q_o$  формулы (2.43) принимает значение, равное 0.

2.2. При наличии отрицательных значений  $Q_o$  на отдельных этажах после серии последовательных приближений, пункт 2.1. выполняется повторно для самого минимального поэтажного значения  $Q_o$ .

Таким образом, методика состоит из двух основных этапов. На первом этапе производится формирование поэтажного расчета тепловых потоков. Для этого используются геометрические характеристики здания (площади ограждающих конструкций, количество этажей, коэффициент остекленности, высота этажа) и теплотехнические характеристики (коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций или коэффициенты теплопроводности материалов ограждающих конструкций и их толщины). Расчет проводится согласно соответствующим стандартам, принимая во внимание воздухообмен, температуру внутреннего воздуха и другие условия, влияющие на тепловой баланс здания.

На втором этапе определяется температура начала отопительного периода с помощью цикла последовательных приближений. Изменяется температура наружного воздуха, при которой суммарные потери теплоты на каждом этаже здания ( $Q_o$ ) достигают значения, равного нулю. Если на отдельных этажах имеются отрицательные значения  $Q_o$ , то расчет повторяется для самого минимального поэтажного значения  $Q_o$ .

### 4.3 Методика определения потребности в теплоте с учетом адаптивных запросов жильцов

Методика позволяет рассчитать количество теплоты, необходимое для обеспечения термодинамического равновесия человеческого тела с окружающей средой исходя из количества жильцов в каждой комнате и их возраста.

Методика определения потребности в теплоте с учетом адаптивных запросов жильцов заключается в следующем:

#### 1. Формирование покомнатного расчета тепловых потоков

##### 1.1. Используемые исходные данные:

– геометрические характеристики квартиры (площади ограждающих конструкций ( $F_i$ ), коэффициент остекленности ( $k_{ост}$ ), высота помещения ( $h$ ));

– теплотехнические характеристики (коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций ( $K_i$ ) или коэффициенты теплопроводности материалов ограждающих конструкций ( $\lambda_i$ ) и их толщины ( $\sigma_i$ ));

– состав жильцов: количество, распределение по комнатам, возраст, пол;

– параметры микроклимата помещения: скорость воздуха (при отсутствии данных рекомендуется принять  $v_{возд} = 0,1$  м/с), относительная влажность (при отсутствии данных рекомендуется принять  $\phi = 45\%$ );

– предпочитаемый комплект домашней одежды каждого жителя или уровень теплоизоляции ( $I_{cl}$ ) комплекта (при отсутствии информации принимается уровень теплоизоляции одежды  $I_{cl} = 1$  кло).

1.2. Расчет ведется согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Принимается воздухообмен ( $L_n$ ) равный  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади. Расчет формируется для каждого типа ограждающей конструкции каждой комнаты с учетом их ориентации по сторонам света и иных дополнительных условий, влияющих на тепловой баланс здания.

Коэффициенты сопротивления теплопередаче ( $R_i$ ) рассчитываются по формуле (2.29) для однослойных конструкций, по формуле (2.30) – для многослойных.

Коэффициенты сопротивления теплопередаче пола ( $R_{\text{пола}}$ ) определяется согласно п.2.3.1 работы и формул (2.31-2.32).

Коэффициенты теплопередачи ( $K$ ) определяются как обратные величины к коэффициентам сопротивления теплопередаче ( $R$ ) согласно формулы (4.1).

Расчет тепловых потоков через ограждающие конструкции выполняется согласно формуле (2.39).

Расчет потерь теплоты через ограждающие конструкции ведется согласно формуле (2.40).

Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха ( $Q_{\text{и}}$ ) выполняется по формуле (4.2).

Плотность воздуха ( $\rho_{\text{в}}$ ) рассчитывается по формуле (4.3).

Удельные бытовые тепловыделения ( $q_{\text{бт}}$ ) принимаются равными 12 Вт на 1 м<sup>2</sup> жилого помещения. Бытовые тепловыделения ( $Q_{\text{бт}}$ ) рассчитываются, используя формулу (4.4).

Коэффициенты дополнительных потерь теплоты на ориентацию по сторонам света, при наличии двух и более наружных стен, на открывании дверей принимаются согласно [139].

Общее количество теплотерь в комнатах ( $Q_{\text{тп}}$ ) определяется по формуле (2.42).

Необходимое количество теплоты для отопления комнат ( $Q_o$ ) определяется по формуле (2.43).

Общее количество теплоты для отопления квартиры ( $\sum Q_o$ ) находится суммой полученных значений  $Q_o$  каждой комнат.

## 2. Определение комфортных условий

2.1. Комфортные условия для человека определяются по методике PMV-PPD П.О. Фангера, закрепленной в ГОСТ Р ИСО 7730-2009 «Эргономика термальной среды» по формулам (2.63-2.79).

Уровень метаболизма ( $M$ ) детей в возрасте от 3 до 17 лет принимается согласно таблице 3.8.

Уровень метаболизма ( $M$ ) людей в возрасте от 18 до 75+ лет принимаются согласно таблице 3.4.

Для расчета рекомендуется принимать «Состояние покоя/умственная деятельность» для детей и категорию работ «Легкая, Ia» для остальных групп. Если известно, что активность проживающих в помещении людей выше, необходимо выбрать из таблиц соответственно категории «Легкая работа» и «Легкая, Ib» или выше.

Тепловыделения нескольких людей, находящихся в одной комнате, определяются суммой тепловыделений каждого из них, полученных по таблицам 4.1 и 4.2. Значения тепловыделений жителей суммируются с бытовыми тепловыделениями формулы (4.4).

2.2. Результатом расчета является температура внутреннего воздуха, при которой достигается состояние термодинамического равновесия организма с окружающей средой.

Расчет выполняется циклом последовательных приближений. Изменяемым параметром приближения является температура внутреннего воздуха ( $t_v$ ), при которой индексы теплового комфорта, получаемые по формулам (2.87-2.89) принимают следующие значения:  $PMV = 0$ ,  $PPD = 5\%$ .

### 3. Построение графиков потребностей в тепловой энергии

3.1. Для расчета принимаются температуры внутреннего воздуха отдельных помещений, полученных в п. 2.2. Если комната считается общей (предназначенной для всех жителей квартиры), то расчетной температурой принимается наибольшая из полученных в п. 2.2 температур отдельных помещений.

3.2. Для построения графика зависимости потребностей тепловой энергии квартиры ( $\sum Q_o$ ) от наружной температуры воздуха ( $t_n$ ), необходимо выполнить минимум 2 расчета по п. 1.2 для разных наружных температур воздуха (рекомендуется принимать равными  $-1,9^\circ\text{C}$  и  $15^\circ\text{C}$ ). По оси абсцисс следует расположить значения  $t_n$ , по оси ординат -  $\sum Q_o$ .

3.3. Полученный график позволяет оценить тепловую потребность помещения, а также на пересечении с осью абсцисс определить оптимальную температуру начала отопительного сезона, поскольку данное пересечение соответствует значению  $\sum Q_o = 0$ .

Таким образом, методика определения потребности в теплоте с учетом адаптивных требований жильцов представляет собой подход к расчету тепловых потоков и определению комфортных условий в здании. Сначала производится расчет тепловых потоков в каждой комнате на основе геометрических характеристик и теплотехнических свойств ограждающих конструкций, а также состава жильцов, их расположения и микроклиматических параметров. Затем определяются комфортные условия с использованием методики *PMV-PPD*, которая учитывает возраст и активность проживающих. Результатом расчета является температура внутреннего воздуха, обеспечивающая термодинамическое равновесие организма с окружающей средой. Далее строятся графики, отображающие потребности в тепловой энергии для различных наружных температур, что помогает определить оптимальное начало отопительного сезона и обеспечить энергетическую эффективность здания. Эта методика позволяет точно определить необходимое количество теплоты, учитывая особенности и требования проживающих, и способствует комфортному и экономичному использованию тепловой энергии.

## 4.4 Примеры применения методик

### 4.4.1 Определение температуры начала отопительного сезона здания

Для примера будет рассматриваться 9-этажный многоквартирный дом серии 91-014 размером 76 x 11 м, высота этажа – 2,8 м. Пример результата для последнего этажа здания и общие теплотери представлен в Приложении В, остальные этажи рассчитываются аналогично.

Если коэффициенты теплопередачи неизвестны, то их можно определить исходя из класса энергоэффективности здания.

Если класс энергоэффективности здания неизвестен, то его можно рассчитать, зная фактические значения показателя удельного годового расхода энергетических ресурсов, которые определяются на основании показаний общедомовых приборов учета энергетических ресурсов.

Расчет классов энергоэффективности зданий производится согласно Приказа от 6 июня 2016 года N 399/пр «Об утверждении Правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов». Для его нахождения необходимо при помощи линейной интерполяции из табл. 1 соответствующего документа определить базовый уровень удельного годового расхода энергетических ресурсов, измеряемых в кВт·ч/м<sup>2</sup>. На результат этой величины влияет этажность здания и градусо-сутки отопительного периода (для Белгорода ГСОП равны 4182,9°С·сут, для 9-этажного здания базовый уровень расхода равен 85,8409 кВт·ч/м<sup>2</sup>).

Класс энергоэффективности определяется величиной отклонения фактического удельного расхода от базового в процентах по таблице 2.3.

Некоторые исходные данные теплотехнического расчета для определения класса энергоэффективности принимаются согласно Приказа:

- температура внутреннего воздуха в квартирах  $t_{в} = 20^{\circ}\text{C}$ ;

- температура наружного воздуха принимается как температура периода со средней суточной температурой воздуха  $\leq 8^{\circ}\text{C}$  (для г. Белгорода  $t_{\text{н}} = -1,9^{\circ}\text{C}$ );
- воздухообмен ( $L_{\text{н}}$ ) равен  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади;
- удельные бытовые внутренние тепlopоступления  $q_{\text{бт}} = 17 \text{ Вт}/\text{м}^2$  общей площади.

Для того, чтобы подобрать значения коэффициентов теплопередачи ограждающих конструкций, необходимо внести поправочный коэффициент, корректирующий базовые коэффициенты теплопередачи, определяемые по ГСОП в табл. 3 СП 50.13330.2012. Для г. Белгорода значения следующие:

$$R_{\text{ст}} = 2,864 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}; R_{\text{кр}} = 4,291 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}; R_{\text{подв}} = 3,782 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

$$R_{\text{ок}} = 0,639 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$$

$$K_{\text{ст}} = 0,331 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}); K_{\text{кр}} = 0,223 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}); K_{\text{подв}} = 0,251 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C});$$

$$K_{\text{ок}} = 1,565 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

Коэффициент определяется циклом последовательных приближений так, чтобы достичь необходимой величины отклонений, которой характеризуются классы энергоэффективности зданий.

В примере был проведен расчет коэффициентов теплопередачи для всех величин отклонений, результаты приведены в таблице 4.3.

**Таблица 4.3** – Коэффициенты теплопередачи для величин отклонений фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня

Отклонение, %	-28,34	50	25	0	-15	-30	-40	-50	-60
$K_{\text{ст}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	0,349	1,235	0,952	0,670	0,500	0,330	0,217	0,104	-0,009
$K_{\text{ок}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	1,565	5,538	4,270	3,002	2,241	1,481	0,974	0,466	-0,040
$K_{\text{подв}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	0,264	0,934	0,720	0,506	0,378	0,250	0,164	0,079	-0,007
$K_{\text{кр}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	0,233	0,825	0,636	0,447	0,334	0,220	0,145	0,069	-0,006
Поправочный коэффициент	1	3,539	2,729	1,918	1,432	0,946	0,622	0,298	-0,026

Отрицательные значения коэффициентов, полученные для класса А++ (высочайший) указывают на то, что достижение такой величины удельного

отклонения возможно не только увеличением термического сопротивления ограждающих конструкций.

Используя полученные или известные коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций, можно найти средние температуры внутреннего воздуха на каждом этаже при любой температуре наружного воздуха (рекомендуется принимать  $8^{\circ}\text{C}$  как нормируемую температуру начала отопительного сезона).

В таблице 4.4 приведены полученные результаты при различных величинах отклонений.

**Таблица 4.4** – Температуры внутреннего воздуха при различных величинах отклонений

Отклонение, %	-28,34	50	25	0	-15	-30	-40	-50	-60
$t_{в}$ при $t_{н}=8^{\circ}\text{C}$ по зданию, $^{\circ}\text{C}$	18,92	15,06	15,95	17,12	17,99	19,05	19,89	20,87	22,03
$t_{в}$ при $t_{н}=8^{\circ}\text{C}$ по 2-8 этажу, $^{\circ}\text{C}$	19,22	15,51	16,39	17,52	18,35	19,34	20,11	20,99	22,02
$t_{в}$ при $t_{н}=8^{\circ}\text{C}$ по 1 этажу, $^{\circ}\text{C}$	18,16	14,02	14,92	16,13	17,09	18,31	19,31	20,54	22,06
$t_{в}$ при $t_{н}=8^{\circ}\text{C}$ по 9 этажу	17,85	13,65	14,54	15,77	16,75	18,01	19,08	20,40	22,08

Анализируя таблицу выше, можно отметить, что наибольшие теплотери приходятся на последний этаж. Относительно этажа с наибольшими теплотерями определяется температура начала отопительного сезона (может определяться по всему зданию, но могут присутствовать локальные недотопы). Выполняется серия последовательных приближений, подбирая значение температуры наружного воздуха для достижения нулевого значения количества теплоты, необходимого для подачи системой отопления. Значения представлены в таблице 4.5.

**Таблица 4.5** – Температуры начала периода потребности в тепловой энергии для величин отклонений

Отклонение, %	-28,34	50	25	0	-15	-30	-40	-50	-60
Температура начала периода потребности, $^{\circ}\text{C}$	10,15	14,35	13,46	12,23	11,25	9,99	8,92	7,60	5,92

Дополнительно может быть определено количество теплоты, которое требуется подавать многоквартирному дому для достижения температуры 20°C при температуре наружного воздуха, равной 8°C, а также стоимость электрической и тепловой энергии для восполнения теплопотерь. Для расчета был принят тариф на электроэнергию 4,9 руб/(кВт·ч), тариф компонента на тепловую энергию в закрытых системах 2247,84 руб/Гкал. Результаты приведены в таблице 4.6.

**Таблица 4.6** – Стоимости восполнения теплопотерь здания за сутки

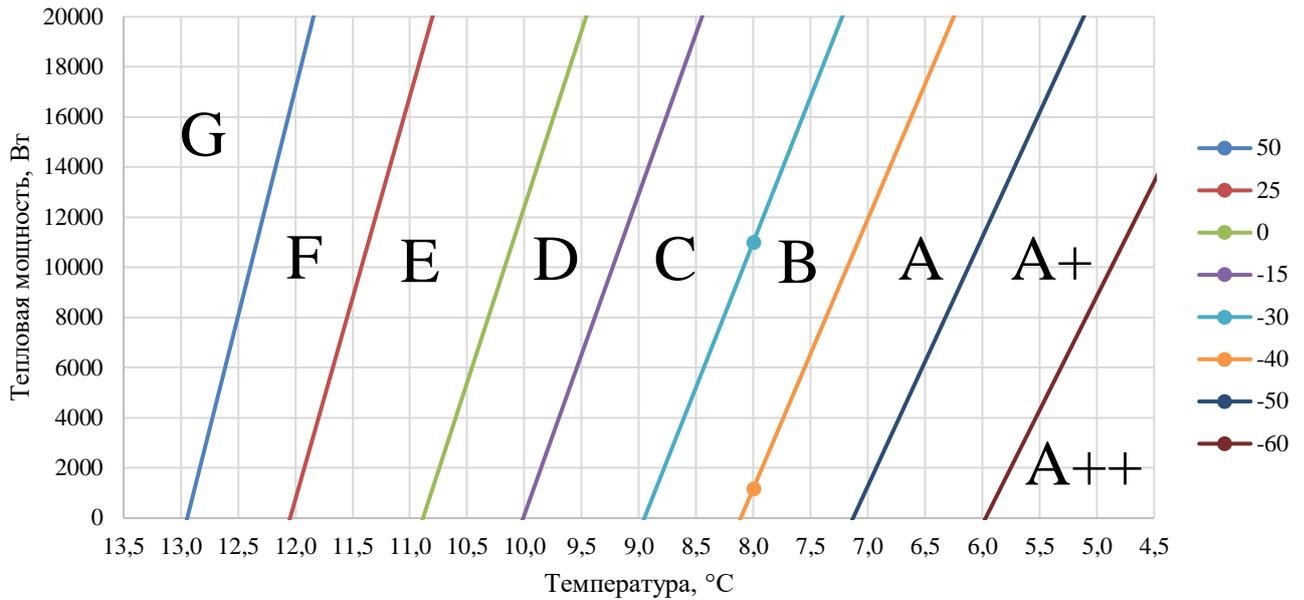
Отклонение, %	-28,34	50	25	0	-15	-30	-40	-50	-60
Количество теплоты, Вт	12626	89637	65060	40484	25738	10992	1161	-8669	-18499
Стоимость электроэнергии, руб./сут.	1484	10541	7651	4761	3027	1293	137	-1019	-2176
Стоимость тепловой энергии, руб./сут.	586	4158	3018	1878	1194	510	54	-402	-858

Стоит отметить, что стоимость тепловой энергии в 2,54 раза ниже, чем электрической. Отрицательные значения в высоких классах энергоэффективности указывают об отсутствии необходимости отопления в подобных зданиях.

Для принятой геометрии здания могут быть получены графики зависимостей тепловой мощности от температуры наружного воздуха для достижения температуры 20°C внутри помещения (как для всего здания, так и для отдельных наиболее «холодных» этажей или зон).

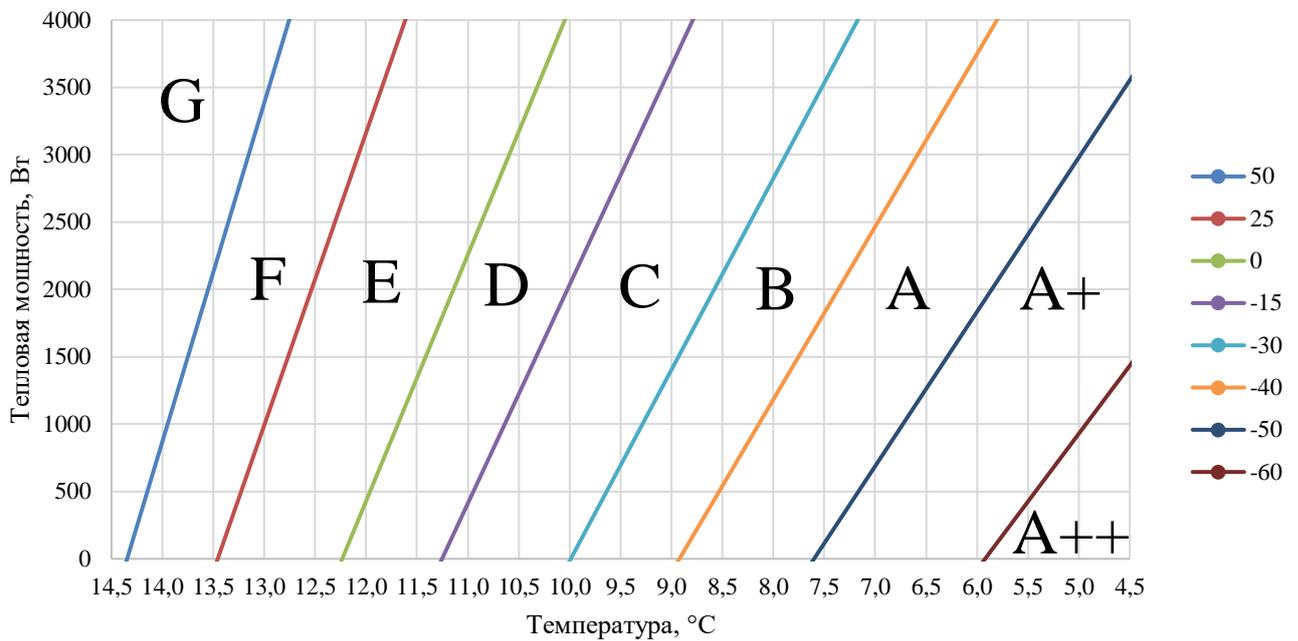
Для получения графика необходимо произвести расчет требуемого количества теплоты хотя бы для двух значений температур наружного воздуха (например, 15°C и -1,9°C) для получения линейной зависимости.

На рисунке 4.2 представлен график для всего здания.



**Рисунок 4.2** – График отопительных нагрузок зданий различных классов энергоэффективности

На рисунке 4.3 представлен график зависимости для 9-го этажа как этажа с наибольшими теплопотерями.



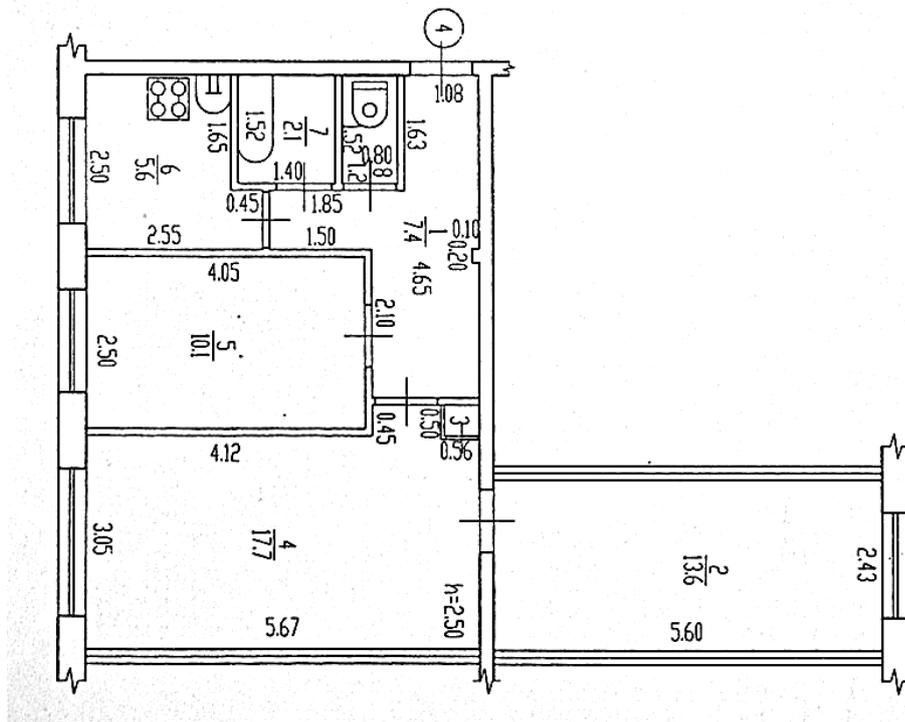
**Рисунок 4.3** – График отопительных нагрузок 9 этажа различных классов энергоэффективности

Таким образом, расчеты позволяют оптимизировать начало отопительного сезона и оценить стоимость восполнения теплопотерь, а также получить информацию о тепловой мощности и классе энергоэффективности здания.

Разработанная методика внедрена при выполнении НИР заказчика ООО «Застройщик Белогорья» (Приложение Е).

#### 4.4.2 Определение потребности в теплоте с учетом адаптивных требований жильцов

В качестве примера взята трехкомнатная квартира, план которой изображен на рисунке 4.4.



**Рисунок 4.4** – План рассматриваемой квартиры

Пример оформления расчета представлен в Приложении Г.

В качестве демонстрации расчета рассмотрим следующие варианты размещения людей:

1 – без людей

2 – 2 человека в комнате 2, 1 человек в комнате 5, теплопоступление от людей

согласно СП 50.13330.2012

3 – 2 средневозрастных человека (45-64 лет) в комнате 2, 1 ребенок (мальчик 15 лет) в комнате 5

4 – 2 средневозрастных человека (30-44 лет) в комнате 2, 1 ребенок (девочка 5 лет) в комнате 5

5 – 2 средневозрастных человека (18-29 лет) в комнате 2, 1 пожилой (65-74 лет) в комнате 5

6 – 2 пожилых человека (75+ лет) в комнате 2, 1 ребенок (мальчик 10 лет) в комнате 4, 1 ребенок (девочка 15 лет) в комнате 5

В Приложении Д приведены покомнатные результаты расчета при температуре наружного воздуха  $-1,9^{\circ}\text{C}$ , для указанных выше комбинаций заселенности при различных величинах отклонения значения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня, характеризующие границы, определяющие классы энергоэффективности.

Аналогично для построения графиков отопительной нагрузки расчет должен быть произведен для дополнительных температур (например,  $8^{\circ}\text{C}$  и  $-23^{\circ}\text{C}$ ).

Полученные данные позволяют определять температуры начала отопительного сезона (точки пересечения графиков функций с осью температур) для конкретной заселенности жилых помещений и конкретного класса энергоэффективности здания (или коэффициентов теплопередач ограждающих конструкций).

Можно отметить, что разные варианты заселенностью людьми влияют на тепловую потребность рассматриваемой квартиры.

Полученные графики представлены на рисунке 4.5.

Данный раздел описывает процесс определения потребности в теплоте с учетом адаптивных требований жильцов. Для каждого варианта размещения людей проводится расчет, учитывающий теплопоступление от людей согласно соответствующим нормам. Результаты расчета представлены в виде покомнатного расчета и графиков отопительных нагрузок.

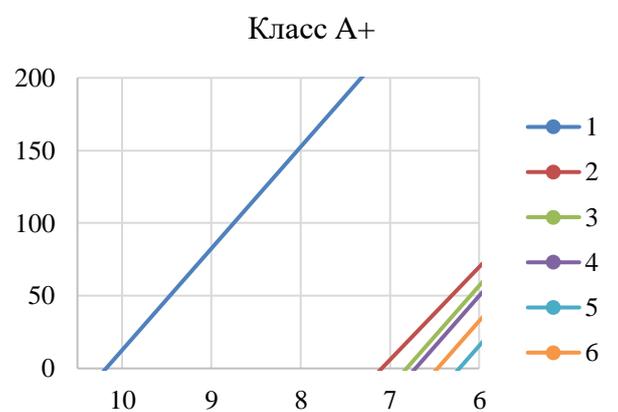
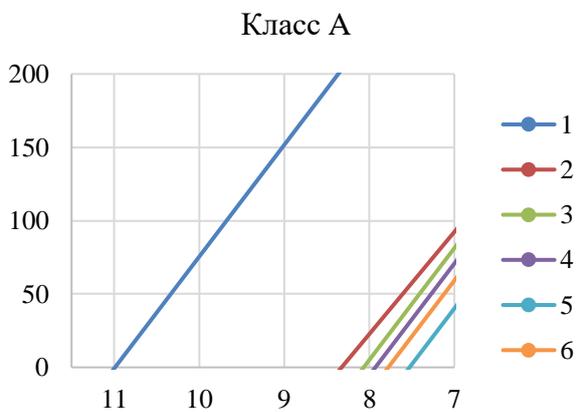
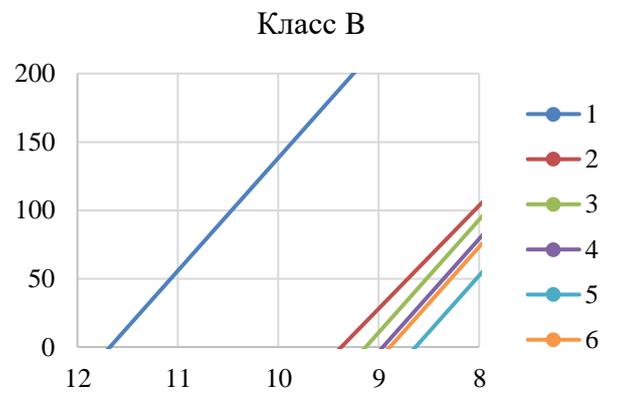
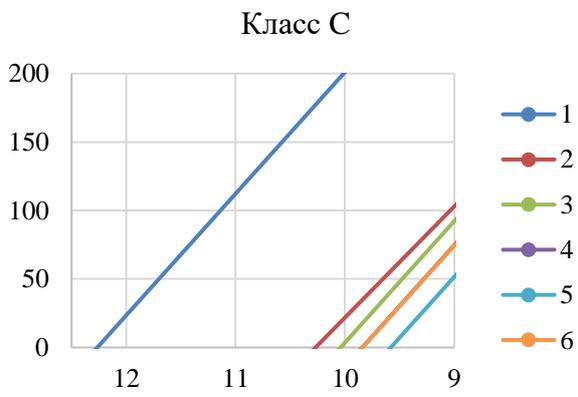
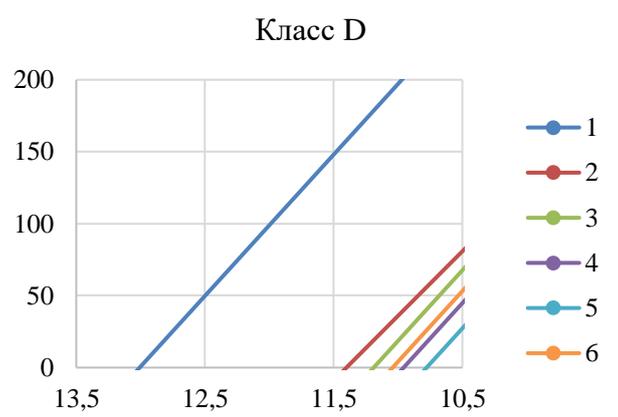
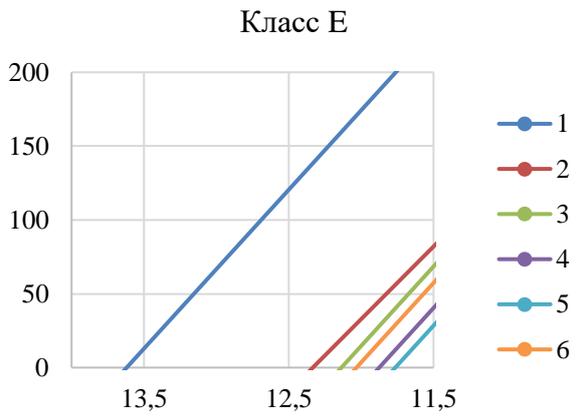
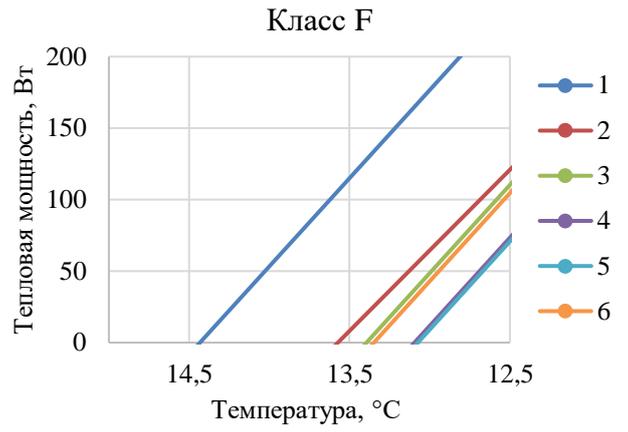
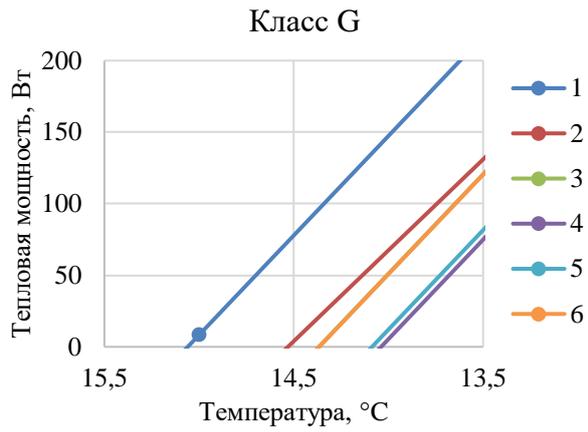


Рисунок 4.5 – Графики отопительных нагрузок

Из графиков видно, что различные варианты заселенности людьми влияют на тепловую потребность квартиры. Зависимость отопительной нагрузки от внешней температуры и комбинации заселенности помещений позволяет определить температуры начала отопительного сезона для конкретных условий.

Полученные методики являются полезным инструментом для ряда заинтересованных сторон в сфере теплоснабжения.

Для государственных органов, принимающих решение о запуске централизованных систем отопления, эти методики представляют собой научное обоснование и механизм принятия решений. Согласно Постановлению Правительства РФ от 06.05.2011 №354, отопление должно быть включено при среднесуточной температуре ниже 8°C в течение 5 суток подряд. Тем не менее, региональные власти принимают решение о запуске и остановке систем местными законодательными актами на основе субъективных оценок. Использование научно обоснованных методик позволяет привнести объективность в этот процесс, а также служить обоснованием при подаче жалоб.

Управляющие компании, использующие децентрализованные системы отопления, могут использовать методики для более точного определения даты начала отопительного сезона и для более адаптивной подачи тепловой энергии. Это помогает избежать перерасхода тепловой энергии и оптимизировать ее использование.

Для жителей многоквартирных домов минимизируется необходимость в использовании дополнительных источников тепла, таких как электрические обогреватели, которые повышают риск пожаров, поскольку методики предлагают индивидуализированный подход к управлению тепловым комфортом каждой квартиры.

Для котельных и теплоснабжающих организаций использование методик позволяет более точно рассчитывать необходимое количество энергии для подачи. Это способствует оптимальному использованию ресурсов и снижает затраты на теплоснабжение.

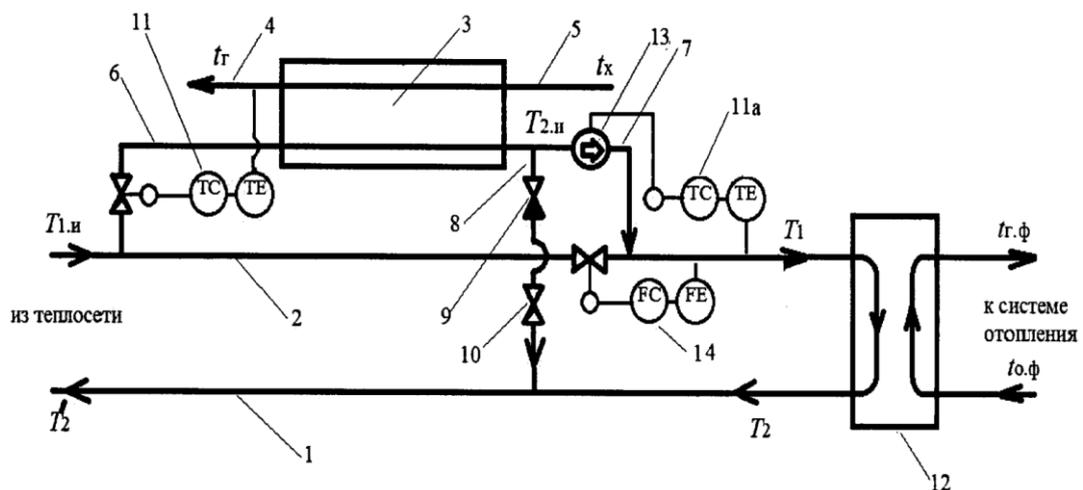
Таким образом, применение разработанных методик обеспечивает более эффективную подачу тепловой энергии на отопление, адаптированную к конкретным потребностям жителей, что приводит к повышению безопасности, уровню комфорта и в некоторых случаях к снижению затрат.

#### 4.5 Рекомендуемые схемы запуска центрального отопления вне официального отопительного сезона

При нарушении теплового режима в многоквартирном доме до начала и после официального окончания отопительного сезона возникает необходимость альтернативного способа обеспечения комфортных условий для жильцов. В качестве решения предлагается использование тепловой энергии воды, подаваемой на горячее водоснабжение, в часы меньшего водоразбора. Перераспределение тепловой энергии требует изменений в конструкции индивидуального теплового пункта.

Для двухтрубных систем предлагается конструкция индивидуального теплового пункта при независимом присоединении местной системы отопления [151], предусматривающую использование теплоты отработанной воды после подогревателей горячего водоснабжения (ГВС).

На рисунке 4.6 представлена конструкция индивидуального теплового пункта при независимом присоединении местной системы отопления.



**Рисунок 4.6** – Конструкция индивидуального теплового пункта при независимом присоединении местной системы отопления

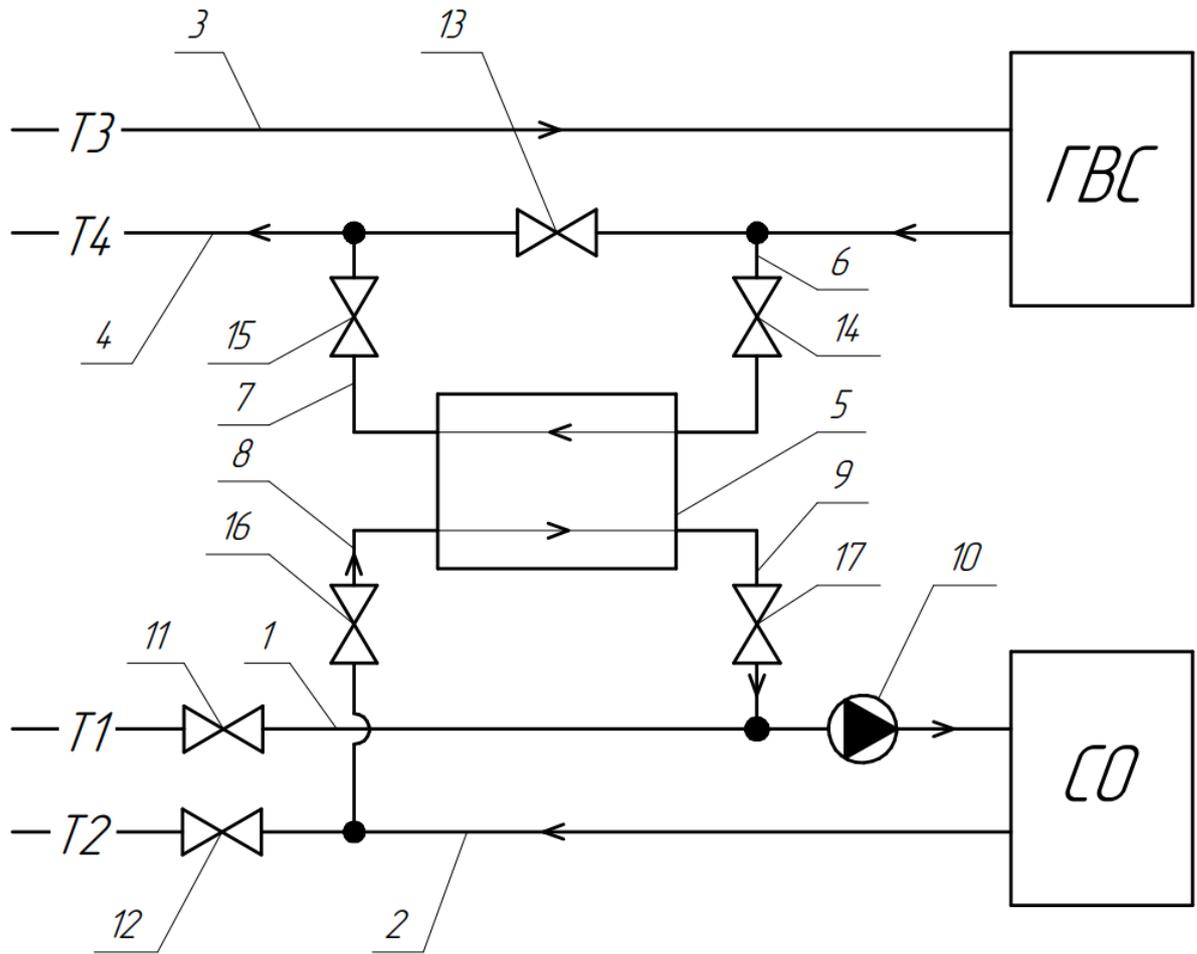
Конструкция индивидуального теплового пункта для двухтрубных систем включает следующие элементы: подогреватель ГВС (3), обратный клапан (9), трубопровод исходной воды из холодного водопровода (5), подающий трубопровод тепловой сети (2), водоразборный трубопровод ГВС (4), обратный трубопровод тепловой сети (1), соединительную перемычку (7), обратный трубопровод подогревателя ГВС по сетевой воде (8), подогреватель системы отопления (12), регуляторы температуры (11), вентиль (задвижку) (10), насос с частотно-регулируемым приводом (13), ответвление от подающего трубопровода тепловой сети на подогреватель ГВС (6), и регулятор расхода (14).

Эта конструкция обеспечивает технический результат за счет использования теплоты отработанной воды после подогревателей горячего водоснабжения (ГВС). Насос (13) расположен на соединительной перемычке (7) вместо одного из обратных клапанов, и управляется дополнительным регулятором температуры (11а). Регулятор температуры на подающем трубопроводе тепловой сети (2) заменен на регулятор расхода (14), который поддерживает постоянство суммарного расхода воды на входе в подогреватель системы отопления.

В случае прекращения централизованной подачи теплоты, поступление воды в подогреватель системы отопления (12) продолжается за счет подачи отработанной воды после подогревателя ГВС (3) с температурой  $T_2$  и через перемычку (7) с помощью насоса (13) в подающий трубопровод тепловой сети (2). Регулирование количества подаваемой отработанной воды для обеспечения нужного количества теплоты в систему отопления осуществляется регулятором (11а).

Для четырехтрубных систем предлагается конструкция четырёхтрубного индивидуального теплового пункта, дополнительно содержащая теплообменный аппарат, к которому через трубопроводы подключается трубопровод циркуляции ГВС, обратный и подающий трубопровод СО, и дополнительно содержит насос, обеспечивающий подачу нагретой в теплообменном аппарате воды потребителю.

На рисунке 4.7 представлена схема индивидуального теплового пункта четырёхтрубной системы теплоснабжения.



**Рисунок 4.7** – Схема индивидуального теплового пункта четырёхтрубной системы теплоснабжения

Устройство индивидуального теплового пункта четырёхтрубной системы теплоснабжения состоит из подающего трубопровода СО (1), обратного трубопровода СО (2), подающего трубопровода ГВС (3), трубопровода циркуляции ГВС (4), теплообменного аппарата (5), трубопровода отбора воды из трубопровода циркуляции ГВС (6), трубопровода возврата воды в трубопровод циркуляции ГВС (7), трубопровода отбора теплоносителя на нагрев из СО (8), трубопровода подачи нагретого теплоносителя в СО (9), насоса (10), вентиля (задвижки) (11) на трубопроводе (1), вентиля (задвижки) (12) на трубопроводе (2), вентиля (задвижки) (13) на трубопроводе (4), вентиля (задвижки) (14) на трубопроводе (6), вентиля (задвижки) (15) на трубопроводе (7), вентиля (задвижки) (16) на трубопроводе (8), вентиля (задвижки) (17) на трубопроводе (9).

При отсутствии центрального теплоснабжения вентили (11) и (12) закрыты. Из теплосети теплоноситель поступает по подающему трубопроводу ГВС (3) и направляется на водоразборные элементы системы ГВС. Обратная вода направляется по трубопроводу циркуляции ГВС (4) при открытом вентиле (13) и закрытых вентилях (14) и (15) на теплогенерирующее предприятие. При необходимости дополнительного обогрева здания для обеспечения нормативных параметров микроклимата в здании, вентиль (13) закрывается, а вентили (14) и (15) открываются, что обеспечивает перемещение потока теплоносителя по трубопроводу (6) к теплообменному аппарату (5) и возврат охлажденной воды ГВС через трубопровод (7) в трубопровод циркуляции ГВС (4). Охлажденная вода СО перемещается из обратного трубопровода СО (2) по трубопроводу (8) в теплообменный аппарат (5), где происходит передача теплоты от обратной воды системы ГВС обратной воде СО. Нагретая вода по трубопроводу (9) возвращается в подающий трубопровод СО (1), где при помощи насоса (10) подается потребителям в СО.

Данное оборудование может быть установлено непосредственно в тепловом пункте и подключаться независимо от наличия централизованной подачи теплоты на отопление ввиду того, что ГВС функционирует круглогодично. Следовательно, реализация схемы требует минимальных капитальных затрат.

Разработанная конструкция индивидуального теплового пункта внедрена в проектирование компанией ООО «Интелл-Сервис» (Приложение Ж).

#### **4.5 Выводы по главе 4**

1. Установлена зависимость начала периода потребности в тепловой энергии от класса энергетической эффективности зданий. При температуре начала периода потребности, равной 8°C, температура внутреннего воздуха, равная 20°C, будет достижима при величине отклонения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов на отопление и вентиляцию от базового уровня, равном - 41,182% (которое соответствует классу энергоэффективности А).

2. Разработана методика определения температуры начала периода потребности в тепловой энергии. Методика позволяет произвести расчет температуры наружного воздуха, при которой необходимо начинать подачу тепловой энергии в здание, исходя из особенностей теплотехнических и геометрических характеристик конкретного здания. Методика позволяет достичь рационального соотношения между тепловым комфортом и энергоэффективностью.

3. Разработана методика определения потребности в теплоте с учетом адаптивных запросов жильцов. Методика позволяет рассчитать количество теплоты, необходимое для обеспечения термодинамического равновесия человеческого тела с окружающей средой с учетом возраста и активности проживающих.

4. По методике определения температуры начала периода потребности в тепловой энергии проведен расчет для 9-этажного дома разных классов энергоэффективности. Температура начала периода потребности варьируется от 5,92°C до 14,35°C в зависимости от класса энергоэффективности здания. Экономия от использования тепловой энергии отопления по отношению к электрообогреву на многоквартирный дом составляет до 6383,31 р/сут (для класса G). По методике определения потребности в теплоте с учетом адаптивных запросов жильцов проведен расчет для 6 комбинаций жителей квартиры в многоквартирном доме разных классов энергоэффективности. Различия нормативного и адаптивного расчетов составляют от 3,57% до 13,71% в зависимости от класса энергоэффективности.

5. Разработана конструкция индивидуального теплового пункта, позволяющая осуществлять подачу тепловой энергии на отопление до начала и после официального окончания отопительного сезона при нарушении теплового комфорта жителей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача по учету конструктивных особенностей эксплуатируемых зданий и адаптивных потребностей жильцов в переходные периоды года за счет разработки методик и конструкции индивидуального теплового пункта для подачи тепловой энергии на нужды отопления до начала и после официального окончания отопительного сезона.

### Итоги выполненного исследования

1. Выполнен совокупный анализ развития систем теплоснабжения в России, методов и технических средств их обеспечения, а также текущих режимов и методов автоматизации отопления, который подчеркивает важность интеграции современных технологий и адаптивных методов управления для обеспечения эффективного, экономичного и комфортного теплоснабжения. Это включает разработку гибких систем, учитывающих индивидуальные потребности и особенности зданий, для улучшения микроклимата и удовлетворения жителей, особенно в переходные периоды года. Данные ВЦИОМ за 2018-2019 гг. показывают неудовлетворенность ЖКУ в размере 36% опрошенных, анализ жилого фонда РФ по Росстату показал значения комплексных показателей уровня благоустроенности равными 71% - городского жилого фонда, 40% - сельского, 64% - всего жилого фонда. Показатели близки к насыщению, требуется качественное улучшение систем теплоснабжения с вниманием на адаптивность.

2. На основании дифференциального уравнения теплопроводности и методики оценки уровня теплового комфорта П.О. Фангера разработана математическая модель теплового режима здания и прогнозирования теплового комфорта жителей, учитывающая геометрию здания, его теплотехнические свойства, погодные условия. Решение дифференциального уравнения теплопроводности выполнено дискретизацией методом конечных разностей. В рамках работы над математической моделью разработано программное обеспечение для анализа параметров отопительного сезона по архиву

климатических данных. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

3. Для подтверждения разработанной модели проведены натурные измерения температурного режима. Критерий  $W$ -Вилкоксона равен  $-0,085$ , уровень значимости равен  $0,932$ , что подтверждает адекватность математической модели.

4. Разработана конструкция индивидуального теплового пункта четырехтрубной системы теплоснабжения, которая позволяет осуществлять подачу тепловой энергии на отопление до начала и после официального окончания отопительного сезона при нарушении условий теплового комфорта в жилых зданиях. Результат достигается использованием теплоты отработанной воды после подогревателей горячего водоснабжения. Предложена схема изменения индивидуальных тепловых пунктов для двухтрубных систем.

5. Установлена зависимость температуры начала периода потребности в тепловой энергии от класса энергоэффективности здания. Для здания класса энергоэффективности А температуре наружного воздуха  $8^{\circ}\text{C}$  соответствует внутренняя температура воздуха  $20^{\circ}\text{C}$ . Для здания класса энергоэффективности D при наружной температуре  $8^{\circ}\text{C}$  внутренняя температура равна  $17,99^{\circ}\text{C}$ , что не соответствует оптимальным и допустимым значениям. Температура внутреннего воздуха  $20^{\circ}\text{C}$  достигается при температуре наружного воздуха, равной  $10,01^{\circ}\text{C}$ , что указывает на необходимость раннего начала отопительного сезона для этих зданий.

6. Разработана методика определения температуры начала периода потребности в тепловой энергии здания. Проведен расчет для 9-этажного дома разных классов энергоэффективности. Температура варьируется от  $5,92^{\circ}\text{C}$  (для класса А) до  $14,35^{\circ}\text{C}$  (для класса G) в зависимости от класса энергоэффективности здания. Экономия от использования тепловой энергии отопления по отношению к электрообогреву на многоквартирный дом составляет до  $6383,31$  р/сут (для класса G).

7. Разработана методика определения тепловой потребности здания с учетом адаптивных запросов жильцов. Проведен расчет на примере квартиры различных классов энергоэффективности с 6 различными вариантами заселения

группами людей по комнатам. Различия нормативного и адаптивного расчета составляют от 3,57% до 13,71% в зависимости от класса энергоэффективности.

Теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы могут быть **рекомендованы** для использования органами местного самоуправления, управляющими компаниями, проектными организациями при разработке проектов систем отопления.

**Перспективы дальнейших исследований** направлены на уточнение значений уровней метаболизма людей по большему количеству признаков, разработку дополнительных конструкций индивидуальных тепловых пунктов с их экспериментальной проверкой на объектах, разработку вариантов интеграции результатов исследования с системами «умный дом».

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Сканави, А. Н. Отопление / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. - М.: Издательство АСВ, 2002. - 576 с.
2. Сканави, А. Н. Конструирование и расчет систем водяного и воздушного отопления зданий / А.Н. Сканави. - 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1983. - 304 с.
3. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) / В.Н. Богословский. - М.: Высшая школа, 1982. - 415 с.
4. Отопление и вентиляция: учебник для вузов. В 2-х ч. Ч.1. Отопление / П.Н. Каменев, А.Н. Сканави, В.Н. Богословский, А.Г. Егизаров, В.П. Щеглов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1975. - 483 с.
5. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – 6-е изд., перераб. - М.: МЭИ, 1999. - 472 с.
6. Соколов, Е. Я. Групповое регулирование отопительной нагрузки / Е. Я. Соколов, А. В. Извеков, А. С. Булычев // Теплоэнергетика. - 1985. - № 3. - С. 50-57. 7.
7. Соколов, Е. Я. Режимы работы двухступенчатой схемы присоединения установок отопления и горячего водоснабжения / Е. Я. Соколов, М. С. Закатов // Теплоэнергетика. - 1965. - № 12. - С. 73-77.
8. Ливчак, В. И. Энергоэффективность пофасадного автоматического регулирования систем отопления / В. И. Ливчак, А. А. Чугункин, В. А. Оленев // Водоснабжение и сантехника. - 1986. - № 5. -С. 32-39.
9. Зингер, Н. М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем / Н.М. Зингер. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 320 с.
10. Зингер, Н. М. Повышение эффективности работы тепловых пунктов / Н.М. Зингер, В.Г. Бестолченко, А.А. Жидов. - М.: Стройиздат, 1990. - 188 с.

11. Зингер, Н. М. Расчет гидравлических режимов тепловых сетей с нерегулируемыми расходами воды на отопление с применением ЭЦВМ / Н. М. Зингер, К. С. Андреева // Теплоэнергетика. - 1970. - № 11. - С. 44-48.
12. Зингер, Н. М. Расчет гидравлических режимов тепловых сетей в аварийных условиях / Н. М. Зингер, К. С. Андреева // Электрические станции. - 1970. - № 10. - С. 18-24.
13. Табунщиков, Ю. А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. - М.: АВОК–ПРЕСС, 2002. - 194 с.
14. Громов, Н. К. Городские теплофикационные системы / Н.К. Громов. - М.: Энергия, 1974. - 253 с.
15. Громов, Н. К. Рациональная схема теплоснабжения городов от ТЭЦ : диссертация ... канд. техн. н. : 05.00.00. / Н.К. Громов. – Москва, 1946. - 142 с.
16. Громов, Н. К. Резервирование в тепловых сетях / Н. К. Громов // Электрические станции. - 1971. - № 3. - С. 35-38.
17. Фаликов, В. С. Автоматизация тепловых пунктов / В.С. Фаликов, В.П. Витальев. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 256 с.
18. Туркин, В. П. Водяные системы отопления с автоматическим управлением для жилых и общественных зданий / В.П. Туркин. - М.: Стройиздат, 1976. - 135 с.
19. Туркин, В.П. Водяные системы отопления с автоматическим управлением для жилых и общественных зданий / В.П. Туркин. - М.: Стройиздат, 1976. - 136 с.
20. Туркин, В.П. Отопление гражданских зданий / В.П. Туркин. - Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 1974. - 320 с.
21. Панферов, В. И. К теории математического моделирования теплового режима зданий / В. И. Панферов, А. Н. Нагорная, Е. Ю. Пашнина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». - 2006. - Вып. 4. № 16 (69). - С. 128–133.

22. Панферов, В. И. Исследование и разработка алгоритмов регулирования систем теплоснабжения / В. И. Панферов, Ю. Н. Денисенко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». - 2007. - Вып. 6. № 23. - С. 55–59.

23. Панферов, В. И. Об оптимальном управлении тепловым режимом зданий / В. И. Панферов, Е. Ю. Анисимова, А. Н. Нагорная // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». - 2007. - Вып. 3. № 20. - С. 3–9.

24. Панферов, В. И. Идентификация тепловых режимов трубопроводных систем / В. И. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». - 2005. - Вып. 3. № 13. - С. 85–90.

25. Гавей, О. Ф. Поиск оптимальной температуры теплоносителя в системах теплоснабжения с целью сокращения затрат энергетических ресурсов / О. Ф. Гавей, С. А. Голяк, В. И. Панферов // Архитектура. Строительство. Образование. - 2013. - № 2. - С. 236–241.

26. Панферов, В. И. Низкотемпературные системы теплоснабжения в России / В. И. Панферов, О. Ф. Гавей, С. А. Голяк, А. М. Уливанов // Сантехника, отопление, кондиционирование. - 2012. - № 8 (128). - С. 58–59.

27. Панферов, В. И. Возможности применения низкотемпературных систем теплоснабжения / В. И. Панферов, О. Ф. Гавей, С. А. Голяк, А. М. Уливанов // Сантехника, отопление, кондиционирование. - 2012. - № 3 (123). - С. 34–35.

28. Панферов С. В., Телегин А. И., Панферов В. И. Адаптивная система управления тепловым режимом зданий / С. В. Панферов, А. И. Телегин, В. И. Панферов // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве». - Новокузнецк, 2009. – С. 224–228.

29. Панферов, С. В. Структурно-параметрический синтез адаптивной системы управления температурным режимом отапливаемых зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / С.В. Панферов. – Челябинск : Южно-Уральский гос. Университет, 2011. - 20 с.

30. Шарапов, В. И., Ротов, П. В. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения / В.И. Шарапов, П.В. Ротов. - М.: Изд-во «Новости теплоснабжения», 2007. - 164 с.
31. Шарапов, В.И. Пиковые источники теплоты систем централизованного теплоснабжения / В.И. Шарапов, М.Е. Орлов. - Ульяновск: УлГТУ, 2002. - 204 с.
32. Шарапов, В.И. Технологии регулирования нагрузки систем теплоснабжения / В.И. Шарапов, П.В. Ротов. - Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 160 с.
33. Ротов, П. В., Орлов, М. Е., Шарапов, В. И. О температурном графике центрального регулирования систем теплоснабжения / П. В. Ротов, М. Е. Орлов, В. И. Шарапов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. - 2014. - № 5–6. - С. 3–12.
34. Круглов, Г. А. Теплотехника / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. - СПб.: Издательство «Лань», 2010. - 208 с.
35. Arvastson, L. Maximum and design hot water loads in district heating substations / L. Arvastson, S. Frederiksen, T. I. Hoel, J. Holst [et all] // 5-th International Symposium on Automation of District Heating Systems, 20–23 August 1995. – Finland, 1995. – 351 p.
36. Zhou, R. W. POPFNN: A pseudo outer-product based fuzzy neural network / R. W. Zhou, C. Quek // Neural Networks. - 1996. - Vol. 9. - Issue 9. - pp. 1569–1581.
37. Jang, J.S.R. ANFIS: Adaptive-Neural-Network-Based Fuzzy Inference System / J.S. R. Jang // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. - 1993. - Vol. 23. - Issue 3. - pp. 665–685.
38. Prívará, S. Building modeling as a crucial part for building predictive control / S. Prívará, J. Cigler, Z. Váňa, F. Oldewurtel [et all] // Energy and Buildings. - 2013. - Vol. 56. - pp. 8–22.
39. Oldewurtel, F. Use of model predictive control and weather forecasts for energy efficient building climate control / F. Oldewurtel, A. Parisio, C. N. Jones, D. Gyalistras [et all] // Energy and Buildings. - 2012. - Vol. 45. - pp. 15–27.

40. Moroşan, P.D. A distributed MPC strategy based on Benders' decomposition applied to multi-source multi-zone temperature regulation / P.D. Moroşan, R. Bourdaisa, D. Dumurb, J. Buissona // *Journal of Process Control*. - 2011. - Vol. 21. - pp. 729–737.
41. Бурцев, В. В., Байтингер, Н. М. Современный взгляд на некоторые проблемы централизованного теплоснабжения / В. В. Бурцев, Н. М. Байтингер // *Проектирование и строительство в Сибири*. - 2004. - № 4. - С. 40-42.
42. Еремкин, Л.И. Экономическая эффективность энергосбережения в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / Л.И. Еремкин, Т.И. Королева, Г.В. Данилин. - Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. - 184 с.
43. Аверьянов, В. К., Быков, С. И. Вероятностно-статистическое описание режима работы системы теплоснабжения / В. К. Аверьянов, С. И. Быков // *Известия вузов. Энергетика*. - 1979. - № 11. - С. 55-60.
44. Батухтин, А. Г. Особенности диспетчеризации современных систем теплоснабжения / А. Г. Батухтин // *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока*. - 2011. - № 1. - С. 198-201.
45. Иванов, С. А., Батухтин, А. Г., Маккавеев, В. В. Оптимизация отпуска теплоты от источника теплоснабжения с учетом функционирования тепловых сетей и потребителей тепловой энергии как один из методов энергосбережения / С. А. Иванов, А. Г. Батухтин, В. В. Маккавеев // *Вестник Забайкальского центра РАЕН*. - 2008. - № 1. - С. 80-83.
46. Чаплин, В. М. Технические и экономические требования к отопительным и вентиляционным системам / В. М. Чаплин // *Труды Первого Всесоюзного съезда по теплофикации*. - М.: Изд-во ВЭК, 1931. - С. 231-238.
47. Батухтин, А. Г. Использование тепловых насосов для повышения тепловой мощности и эффективности существующих систем централизованного теплоснабжения / А. Г. Батухтин // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. - 2010. - № 2. - С. 28-33.
48. Постановление Правительства РФ от 06.05.2011 N 354 (ред. от 28.04.2023) «О предоставлении коммунальных услуг собственникам и

пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов». - Москва, 2023. - 112 с.

49. Батухтин, А. Г. Тепловые насосы для догрева сетевой воды / А. Г. Батухтин // Международный научно-исследовательский журнал. - 2014. - № 5-1 (24). - С. 50-51.

50. Батухтин, А. Г. Методы повышения эффективности функционирования современных систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии / А. Г. Батухтин, М. С. Басс, С. Г. Батухтин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. - 2009. - № 2. - С. 199-202.

51. Батухтин, А. Г. Современные методы повышения эффективности совместной работы установок гелиоотопления и систем централизованного теплоснабжения / А. Г. Батухтин, С. Г. Батухтин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2009. - № 3. - С. 48-53.

52. СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. - М.: Минрегион России, 2012. - 84 с.

53. Дульнев, Г.Н. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена / Г.Н. Дульнев. - Москва: Высшая школа, 1990. - 207 с.

54. Кафаров, В.В. Принципы математического моделирования химико-технологических систем / В.В. Кафаров, В.Л. Перов, В.П. Мешалкин. - Москва: Химия, 1974. - 344 с.

55. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. - М.: МЭИ, 2001. - 472 с.

56. Кузнецов, Е. П. Качество теплоснабжения городов / Е.П. Кузнецов, Н.В. Кобышева. - Санкт-Петербург, 2004. - 229 с.

57. Барон, В. Г. Горячее водоснабжение объектов с явно выраженной неравномерностью водопотребления - пора решать проблему оптимально / В. Г. Барон // Новости теплоснабжения. - 2005. - № 5 (57). - С. 48-51.

58. Иванов, С. А. Расчет суточного графика отпуска теплоты от источника теплоснабжения при качественно-количественном регулировании в открытых

системах централизованного теплоснабжения / С. А. Иванов, А. Г. Батухтин, В. В. Маккавеев // Промышленная энергетика. - 2008. - №5. - С. 32-34

59. Маккавеев, В. В. Практическое применение некоторых методик оптимизации режимов отпуска теплоты / В. В. Маккавеев, О. Е. Куприянов, А. Г. Батухтин // Промышленная энергетика. - 2008. - № 10. - С. 23-27.

60. Батухтин, А. Г. Особенности математических моделей современных теплопотребляющих установок в системах централизованного теплоснабжения / А. Г. Батухтин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2011. - № 1. - С. 250-255.

61. Гашо, Е. Г., Опыт и проблемы реализации регионального балансового подхода на территории мегаполиса / Е. Г. Гашо, А. В. Козырь // Новости теплоснабжения. - 2002. - № 2. - С. 42-46.

62. Неусихин, И. Я. Регулирование температуры воды в системах центрального водяного отопления в зависимости от температуры наружного воздуха и скорости ветра : диссертация ... канд. техн. н. : 05.00.00. / И.Я. Неусихин. – Москва, 1954. - 150 с.

63. Мелентьев, Л.А. Теоретические основы сооружения и эксплуатации теплофикационных систем / Л.А. Мелентьев. - М.: Издательство Академии наук СССР, 1948. - 279 с.

64. Соколов, Е.Я. Эксплуатация тепловых сетей / Е.Я. Соколов, Н.К. Громов, А.П. Сафонов. - Москва, 1955. - 352 с.

65. Копьев, С. Ф. Режим работы открытых систем теплоснабжения и новый метод их расчета / С. Ф. Копьев // Водоснабжение и санитарная техника. - 1964. - № 9. - С. 14-20.

66. Аверьянов, В. К. Повышение эффективности использования тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения / В. К. Аверьянов, Г. П. Васильев, А. С. Горшков // Строительство: новые технологии - новое оборудование. - 2019. - № 9. - С. 43-52.

67. Шарапов, В. И. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения / В.И. Шарапов, П.В. Ротов. - Москва: Новости теплоснабжения, 2007. - 164 с.

68. Богословский, В. Н. Тепловой режим зданий / В. Н. Богословский. - М.: Стройиздат, 1979. - 248 с.
69. Svirin M.V. Analysis of the unsteady temperature condition of a building during non-working hours when heating load is decreased / M.V. Svirin, S.A. Bychikhin, P.A. Trubaev, A.S. Seminenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. – Vol. 791. – P. 12-47.
70. Мухин, О.А. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции / О.А. Мухин. - Минск: Высшая школа, 1986. - 304 с.
71. Потапенко, Е. А. Автоматизация процесса отопления распределенного комплекса зданий с алгоритмами управления, учитывающими климатические факторы : диссертация ... канд. техн. н. : 05.13.06. / Е.А. Потапенко. – Москва, 2003. - 152 с.
72. Потапенко, Е. А. Автоматизированная система диспетчерского управления энергоэффективным тепловым пунктом / Е.А. Потапенко // Материалы Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых: «Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии». - Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. - С. 104-107.
73. Потапенко, Е. А. Математическая модель для исследования особенностей системы теплоснабжения зданий / Е.А. Потапенко // Перспективные задачи инженерной науки. - 2002. - №3. - С. 132-137.
74. Потапенко, Е. А. Оптимальное управление подачей теплоносителя в системе отопления с зависимым теплоснабжением / Е.А. Потапенко, А.Г. Филатов, Н.Д. Воробьев // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2003. -№ 6. - С. 191-194.
75. Манюк, В.И. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей / В.И. Манюк, Я.И. Каплинский. - М.: Стройиздат, Москва, 1988. - 432 с.
76. Hanif, M. An effective combination of microcontroller and PLC for home automation system / M. Hanif, N. Mohammad, B. Harun // 1st International Conference on Advances in Science Engineering and Robotics Technology (ICASERT), May 2019. – pp. 21-26.

77. Khanna, A. IoT architecture for preventive energy conservation of smart buildings / A. Khanna, S. Arora, A. Chhabra, K. K. Bhardwaj // Energy Conservation for IoT Devices: Concepts Paradigms and Solutions. – 2019. – pp. 179-208.
78. Asadullah, M. Smart home automation system using Bluetooth technology / M. Asadullah, K. Ullah // International Conference on Innovations in Electrical Engineering and Computational Technologies (ICIEECT), April 2017. – pp. 34-46.
79. Stojkoska, B. L. R. A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions / B. L. R. Stojkoska, K. V. Trivodaliev // Journal of Cleaner Production. - 2017. - Vol. 140. - pp. 1454-1464.
80. Schomakers, E. M. Users' Preferences for Smart Home Automation – Investigating Aspects of Privacy and Trust / E. M. Schomakers, H. Biermann, M. Ziefle // Telematics and Informatics. - 2021. - Vol. 64. - pp. 101-189.
81. Hasan, M. Smart home systems: Overview and comparative analysis / M. Hasan, P. Biswas, M. T. I. Bilash, M. A. Z. Dipto // Fourth International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (ICRCICN), November 2018. – pp. 264-268.
82. Lethaby, N. Wireless connectivity for the Internet of Things: One size does not fit all / N. Lethaby // Texas Instruments. - 2017. – Vol. 16. - pp. 2-10.
83. ElShafee, A. Design and implementation of a WIFI based home automation system / A. ElShafee, K. A. Hamed // International Journal of Computer and Information Engineering. - 2012. - Vol. 6(8). - pp. 1074-1080.
84. Piyare, R. Internet of things: ubiquitous home control and monitoring system using android based smart phone / R. Piyare // International Journal of Internet of Things. - 2013. - Vol. 2(1). - pp. 5-11.
85. Humidity Sensor: Types Working & Its Applications [Электронный ресурс]. – WatElectronics.com. – 2021. – Режим доступа: <https://www.watelectronics.com/humidity-sensor/> (дата обращения: 10.02.2023).
86. LPG and Smoke Detector using Arduino and MQ2 Gas Sensor. (Detects Methane and Butane as well) [Электронный ресурс]. – Electronics. Electronics Projects. – 2023. – Режим доступа: <https://electronicsprojects.in/lpg-and-smoke-detector-using->

arduino-and-mq2-gas-sensor-detects-methane-and-butane-as-well (дата обращения: 17.06.2023).

87. Walsh, D. Home Automation Sensors / D. Walsh // HubPages. – 2018. – Режим доступа: <https://discover.hubpages.com/living/Home-Automation-Sensors> (дата обращения: 17.06.2023).

88. Kumar, P. Design and implementation of Smart Home control using LabVIEW / P. Kumar // Third International Conference on Advances in Electrical Electronics Information Communication and Bio-Informatics (AEEICB), February 2017. – pp. 10-12.

89. Lu, J. The smart thermostat: using occupancy sensors to save energy in homes / J. Lu, T. Sookoor, V. Srinivasan, G. Gao, [et all] // In Proceedings of the 8th ACM conference on embedded networked sensor systems, November 2010. – pp. 211-224.

90. UNO R3 / Arduino Documentation. – 2023. – Режим доступа: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3> (дата обращения: 17.06.2023).

91. Patchava, V. A smart home automation technique with raspberry pi using IoT / V. Patchava, H. B. Kandala, P. R. Babu // International conference on smart sensors and systems (IC-SSS), December 2015. – pp. 211-224.

92. Al-Kuwari, M. Smart-home automation using IoT-based sensing and monitoring platform / M. Al-Kuwari, A. Ramadan, Y. Ismael, L. Al-Sughair, [et all] // 12th International Conference on Compatibility Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG 2018), April 2018. – pp. 75-96.

93. Hoy, M. B. Alexa, Siri, Cortana, and more: an introduction to voice assistants / M. B. Hoy // Medical Reference Services Quarterly. - 2018. - Vol. 37(1). - pp. 81-88.

94. Jadon S. Comfy smart home using IoT / S. Jadon, A. Choudhary, H. Saini, U. Dua, [et all] // The International Conference on Innovative Computing & Communications (ICICC), April 2020. – pp. 12-28.

95. Zhou, B. Smart home energy management systems: Concept configurations and scheduling strategies / B. Zhou, W. Li, K. W. Chan, Y. Cao, [et all] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2016. - Vol. 61. - pp. 30-40.

96. Конституция Российской Федерации [Текст]. - М.: Приор, 2001. - 32 с.
97. Айзинова, И. М. Благоустройство жилищного фонда и проблемы водоснабжения российских регионов / И. М. Айзинова // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. - 2014. - № 12. - С. 297-325.
98. Лыжин, С.М. Архитектура и структура жилищного фонда города (на примере городов Урала) : автореф. дис. ... д-ра. арх. наук : 18.00.02 / С.М. Лыжин. – Москва: МАРХИ, 2006. – 65 с.
99. Приказ Росстата от 27.07.2018 № 462 (ред. от 18.07.2019) "Об утверждении статистического инструментария для организации федерального статистического наблюдения за строительством, инвестициями в нефинансовые активы и жилищно-коммунальным хозяйством" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.04.2020) [Электронный ресурс] – 2021. – Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=380201> (дата обращения: 01.06.2023).
100. Федеральная служба государственной статистики. Жилищные условия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gks.ru/folder/13706> (дата обращения: 01.06.2023).
101. Бобков, В. Н. Социальная структура российского общества по критериям доходов и жилищной обеспеченности / В. Н. Бобков, Е. В. Одинцова // Уровень жизни населения регионов России. - 2012. - №1. - С. 20-28.
102. Гузикова, Л. А. Жилищный фонд регионов России: динамика качественных и стоимостных характеристик / Л. А. Гузикова, Е. В. Плотникова // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. - 2015. - № 1 (211). - С. 51-58.
103. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2020 году. – М.: Министерство экономического развития Российской Федерации, 2021. – 103 с.
104. ГОСТ Р ИСО 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. - М.: Стандартинформ, 2013. - 15 с.

105. Gao, J. Comparative analysis of modified PMV models and SET models to predict human thermal sensation in naturally ventilated buildings / J. Gao, Y. Wang, P. Wargocki // *Building and Environment*. - 2015. - Vol. 92. - pp. 200-208.
106. Humphreys, M.A. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments / M.A. Humphreys, J.F. Nicol // *Energy and Buildings*. - 2002. - Vol. 34. - Issue 6. - pp. 667-684.
107. Иванов, С.А. Повышение эффективности работы ТЭЦ: оптимизация отпуска теплоты потребителю: монография / С.А. Иванов. - Новосибирск: Наука, 2008. - 80 с.
108. Кононович, Ю.В. Тепловой режим зданий массовой застройки / Ю.В. Кононович. - М.: Стройиздат, 1986. - С.160.
109. Кононович, Ю.В. Регламентация параметров допустимых тепловых условий / Ю.В. Кононович. - М.: АВОК, 1992. – Т. 1. – 102 с.
110. Брух, С. В. Влияние особенностей метаболизма на воздушный баланс человека. Третье условие комфортности / С. В. Брух // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. - № 6. - 2005. - С. 78-91.
111. Бурцев, С. И. Тепловой и газовый комфорт с учетом индивидуальных особенностей человека / С. И. Бурцев, Ю. Н. Цветков // *Теплоэнергоэффективные технологии*. - № 1. - 2002. - С. 19-28.
112. Fanger P.O. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering // Danish Technical Press, 1970. 244 p.
113. ГОСТ Р ИСО 7730-2009. Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта. – М.: Стандартинформ, 2011. - 43 с.
114. Yüksel, A. A review on thermal comfort, indoor air quality and energy consumption in temples / A. Yüksel, M. Arıcı, M. Krajčík, M. Civan // *Journal of Building Engineering*. - 2021. - Vol. 35. - pp. 102-113.

115. Cheung, T. Analysis of the accuracy on PMV – PPD model using the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II / T. Cheung, S. Schiavon, T. Parkinson, P. Li // *Building and Environment*. - 2019. - Vol. 153. - pp. 205-217.

116. Parkinson, T. Nudging the adaptive thermal comfort model / T. Parkinson, R. de Dear, G. Brager // *Energy and Buildings*. - 2020. - Vol. 206. - pp. 109-159.

117. Vellei, M. The influence of relative humidity on adaptive thermal comfort / M. Vellei, M. Herrera, D. Fosas, S. Natarajan // *Building and Environment*. - 2017. - Vol. 124. - pp. 171-185.

118. Blazejczyk, K. Comparison of UTCI to selected thermal indices / K. Blazejczyk, Y. Epstein, G. Jendritzky, H. Staiger // *International Journal of Biometeorology*. - 2012. - Vol. 56. - Issue 3. - P. 515-535.

119. Carlucci, S. Review of adaptive thermal comfort models in built environmental regulatory documents / S. Carlucci, L. Bai, R. de Dear, L. Yang // *Building and Environment*. - 2018. - Vol. 137. - pp. 73–89.

120. de Dear, R. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference / R. de Dear, G. Brager // *ASHRAE Transactions*. - 1998. - Vol. 104 (1). - pp. 145–67.

121. Fergus N. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings" / N. Fergus Nicol, M. Humphreys // *Energy and Buildings*. - 2002. - Vol. 34 (6). - pp. 563–572.

122. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. – ANSI: ASHRAE Standard 55-2017, 2020. – 23 p.

123. Крыжановская, М. В. Опыт гигиенического нормирования сроков отопительного сезона / М. В. Крыжановская // *Гигиена и санитария*. - 1960. - С. 101-102.

124. Мухамедшарипов, Ф.Р. Совершенствование метода контроля и учёта качества отопления в городском хозяйстве : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.13 / Ф.Р. Мухамедшарипов. – М., 2010. – 16 с.

125. Кузнецова, Ж. Р. Повышение эффективности теплоснабжения в регионах / Ж. Р. Кузнецова // *Новости теплоснабжения*. - 2002. - № 8. - С. 2-7.

126. Староверов, И.Г. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства / И.Г. Староверов, Ю.И. Шиллер. - М. : Стройиздат, 1990. - 248 с.
127. СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов» Официальное издание. М.: Минстрой России, 1995.- 83 с.
128. Мерциев А.А. Моделирование нестационарного теплового режима помещения с деревянными ограждающими конструкциями / А.А. Мерциев, П.А. Головинский, М.В. Свирин, А.С. Семиненко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, 2022. – № 8. – С. 35-49.
129. Ливчак, В. И. Стратегия энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве и социальной сфере / В. И. Ливчак // АВОК. - 2001. - № 6. - С. 10-14.
130. Маккавеев, В. В. Математическая модель ряда абонентских вводов закрытых систем теплоснабжения / В. В. Маккавеев, А. Г. Батухтин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2009. - № 3. - С. 200-207.
131. Куликов, А. И. Проблемы эксплуатации зданий при систематических нарушениях теплоснабжения (недотопах) / А. И. Куликов // Энергосбережение в городском хозяйстве: материалы Второй Рос. научн.-техн. конф. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. - С. 49-51.
132. Кущев, Л. А. Пути снижения энергозатрат в жилищно-коммунальном хозяйстве / Л. А. Кущев, Г. Л. Дронова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2008. - № 2. - С. 24-25.
133. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022682711 Российская Федерация, Программа для анализа параметров отопительного сезона по архиву климатических данных; заявл. № 2022682110 от 17.11.2022; опублик. 25.11.2022 / Е.О. Шеремет, А.С. Семиненко, М.В. Свирин; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

134. Методика определения количеств тепловой энергии и теплоносителя в водяных системах коммунального теплоснабжения». – М.: РАО «Роскоммунэнерго», 2000. – 35 с.
135. Методические рекомендации по определению минимального воздухообмена в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: ФАУ «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве», 2018. – 62 с.
136. Неклюдов, А. Ю. Совершенствование методов расчета тепловой нагрузки на системы отопления и вентиляции с учетом влияния теплотехнических неоднородностей оболочки здания : диссертация ... канд. техн. н. : 05.23.03 / А. Ю. Неклюдов. – Москва, 2016. - 188 с.
137. Мэтьюз, Д.Г. Численные методы. Использование MATLAB / Д.Г. Мэтьюз. - Москва: Издательский дом «Вильямс», 2001. - 720 с.
138. Перехоженцев, А. Г. О необходимости корректировки СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» / А. Г. Перехоженцев // Жилищное строительство. - 2009. - № 11. - С. 2-6.
139. Ильина, Т. Н. Прогнозирование и регулирование состояния микроклимата в замкнутом объеме со значительными тепло- и влагоизбытками / Т. Н. Ильина, А. Ю. Феоктистов, В. М. Дегтев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2010. - № 4. - С. 121-123.
140. Lucchese, J. Application of selected indices on outdoor thermal comfort assessment in Midwest Brazil / J. Lucchese, L. Mikuri, N. De Freitas, W. Andreasi // International Journal of Energy and Environment. - 2016. - Vol. 7. - P. 291-302.
141. Лобанов, Д.В. Определение тепlopоступлений от человека с учетом энерготрат и физической активности / Д.В. Лобанов, И.И. Звенигородский, М.В. Свириин, С.А. Сафонов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2023. - № 1. - С. 42-52.
142. Каменев, П.Н. Вентиляция / П.Н. Каменев, Е.Н. Тертичник. - Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. - 614 с.

143. Стомахина, Г.И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Жилые здания со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и стоянками автомобилей / Г.И. Стомахина. - Москва: Пантори, 2003. - 308 с.

144. Таурит, В.Р. Вентиляция в гражданских зданиях / В.Р. Таурит, В.Ф. Васильев. - Санкт-Петербург: АНТТ-Принт, 2008. - 147 с.

145. Титов, В.П. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции промышленных зданий / В.П. Титов. - Москва: Стройиздат, 1985. - 208 с.

146. Щекин, Р.В. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Р.В. Щекин. - Киев: Будивельник, 1976. - 416 с.

147. Jung, C.C. Influence of Indoor Temperature Exposure on Emergency Department Visits Due to Infectious and Non-Infectious Respiratory Diseases for Older People / C.C. Jung, N.T. Chen, Y.F. Hsia, N.Y. Hsu // International Journal of Environmental Research and Public Health. - 2021. - Vol. 18(10). - pp. 52-73.

148. Rudge, J. Measuring the health impact of temperatures in dwellings: Investigating excess winter morbidity and cold homes in the London Borough of Newham / J. Rudge, R. Gilchrist // Energy and Buildings. - 2007. - Vol. 39. - pp. 847-858.

149. Свири́н, М. В. Исследование влияния ненормативной внутренней температуры помещения на тепловой комфорт в переходный период с использованием индексов PMV и PPD / М. В. Свири́н // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. - 2022. - № 3 (22). - С. 28-38.

150. Svirin M.V. Dependence of the temperature of the beginning of the heating season on the energy efficiency class of the building / M.V. Svirin, D.M. Kosilov, A.S. Seminenko // Journal of Physics: Conference Series, 2021. – Vol. 1926(1). – P. 12-70.

151. Патент на изобретение RU № 2741188С1 Российская Федерация, МПК F24D 1/00; СПК F24D 3/08, Конструкция индивидуального теплового пункта при независимом присоединении местной системы отопления; заявл. 11.09.2020; опубл. 22.01.2021 / О.Д. Самарин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего Дата регистрации: 22.01.2021 образования

"Национальный Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 11.09.2020  
исследовательский Московский государственный строительный университет"  
(НИУ МГСУ).

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ  
№2022682711 «Программа для анализа параметров отопительного сезона по  
архиву климатических данных»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022682711

«Программа для анализа параметров отопительного  
сезона по архиву климатических данных»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Шермет Евгений Олегович (RU), Семиненко  
Артём Сергеевич (RU), Свирин Максим Валерьевич (RU)*

Заявка № 2022682110

Дата поступления 17 ноября 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 25 ноября 2022 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Ю.С. Зубов*

Программа для анализа параметров отопительного сезона по архиву  
климатических данных

```
iface.py
from logic import Processing

work = Processing()
work.preliminary_processing()

while True:
    print("Для сохранения датасета с усредненной температурой, введите 1")
    print("Для вывода списка со среднемесячными температурами введите 2")
    print("Для обработки конкретного отопительного периода нажмите 3")
    choice = input("Enter your choice:")
    if choice == "1":
        work.save_dataset_mean_temp()
    elif choice == "2":
        work.get_average_monthly_temperature()
        print("Сохранить датасет со среднемесячными температурами: Y/N")
        choice_save_ma = input("Enter your choice:")
        if choice_save_ma == "Y":
            work.save_dataset_average_monthly_temperature()
        elif choice_save_ma == "N":
            print("New operations")
    elif choice == "3":
        work.heating_period_treatment()
        print("Для сохранения датасета реального отопительного периода, нажмите 1")
        print("Для сохранения данных отопительного периода, нажмите 2")
        ch_ds_hp = input("Enter your choice:")
        if ch_ds_hp == '1':
            work.save_ds_duration_heating_period()
        elif ch_ds_hp == '2':
            work.save_data_about_heating_period()
```

```
logic.py
import pandas as pd
import pprint
from statistics import mean
```

```
pd.options.mode.chained_assignment = None
```

```
class Processing:
    """Класс Processing является реализацией программы. Содержит в себе методы для
    дальнейшей обработки
    датасета с температурой. Для обработки может использоваться .xls или .xlsx файл,
    скачанный, например, с
    сайта https://rp5.ru/. Чтобы программа могла работать с файлом необходимо удалить шапку
    перед таблицами
```

на листе с данными температур, так, чтобы лист начинался с названий столбцов. Столбец с датами обрабатываемого

```

периода необходимо назвать "data", столбец с температурами необходимо назвать "T"."""
def __init__(self, t_mean_day=0, average_monthly_temperature=0,
ds_duration_heating_period=0, data_heat_period=[],
    real_start_heating_date=0, real_end_heating_date=0,
    duration_heating_period=0, min_temp_day_of_heat_temp=0,
    min_temp_five_day_of_heat_temp=0, average_temperature_heating_period=0,
    gsop=0):
    self.t_mean_day = t_mean_day
    self.average_monthly_temperature = average_monthly_temperature
    self.ds_duration_heating_period = ds_duration_heating_period
    self.data_heat_period = data_heat_period
    self.real_start_heating_date = real_start_heating_date
    self.real_end_heating_date = real_end_heating_date
    self.duration_heating_period = duration_heating_period
    self.min_temp_day_of_heat_temp = min_temp_day_of_heat_temp
    self.min_temp_five_day_of_heat_temp = min_temp_five_day_of_heat_temp
    self.average_temperature_heating_period = average_temperature_heating_period
    self.gsop = gsop

```

```
def preliminary_processing(self):
```

"""Метод preliminary\_processing служит для предварительной обработки файлов типа .xls или .xlsx.

Необходимо ввести полную ссылку до файла, например  
r"C:\\Users\\Eugene\\Downloads\\data1.xls".

В качестве выходных данных реализуется таблица из двух колонок первая из которых дата,

а вторая средняя температура за день. Также выводится начальная дата исследуемого периода,

конечная дата исследуемого периода, количество дней между начальной и конечной датами,

фактическое количество дней с данными по температуре, количество дней с пропущенными датами,

список дат с отсутствующими данными по температуре с виде списка."""

```

# Предлагается ввести ссылку на интересующий файл
link_input = input("Введите ссылку на интересующий файл:")
link = link_input.replace("\\", "/")
# Открытие файла на чтение
data = pd.read_excel(link)
# Сохранение двух колонок для дальнейшей обработки
test2005_2022 = data[["data", "T"]]
# Приведение формата дат от "гггг:мм:дд чч:мм" к "гггг:мм:дд"
test2005_2022["data"] = pd.to_datetime(test2005_2022["data"], format="%d.%m.%Y
%H:%M").dt.date
# Подсчет средней температуры за день и сортировка по дате
self.t_mean_day = test2005_2022.groupby("data").agg({"T": "mean"})
# Начальная дата исследуемого периода
start_chain = self.t_mean_day.index[0]
# Конечная дата исследуемого периода
end_chain = self.t_mean_day.index[-1]
# Вывод на печать начальной даты исследуемого периода с описанием

```

```

start_chain_with_desc = f"Начальная дата исследуемого периода:
{self.t_mean_day.index[0]}"
# Вывод на печать конечной даты исследуемого периода с описанием
end_chain_with_desc = f"Конечная дата исследуемого периода: {self.t_mean_day.index[-
1]}"
# Нахождение количества дней между начальной и конечной датами
days_with_temp = (end_chain - start_chain)
# Количество дней между начальной и конечной датами с описанием
days_with_temp_with_desc = f"Количество дней между начальной и конечной датами:
{days_with_temp.days} дней"
# Нахождение фактического числа дней с данными по температуре
total_cols = len(self.t_mean_day)
# Фактическое число дней с данными по температуре с описанием
total_cols_with_desc = f"Фактическое количество дней с данными по температуре:
{total_cols} дней"
# Нахождение количества пропущенных дней (дней без данных по температуре)
numbers_of_missing_days = (end_chain - start_chain).days - len(self.t_mean_day)
# Количество пропущенных дней с описанием
numbers_of_missing_days_with_desc = f"Количество пропущенных дней временной
последовательности " \
                                f"{numbers_of_missing_days}"
# Получение листа со значениями температур
# t = t_mean_day["T"].values.tolist()
self.t_mean_day["0"] = self.t_mean_day.index
list_of_dates = pd.DataFrame(self.t_mean_day["0"]).reset_index()
list_of_dates = list_of_dates.drop(columns="data")
list_of_dates["0"] = pd.to_datetime(list_of_dates["0"])
fact_list_of_dates = pd.date_range(start=start_chain, end=end_chain)
missing_dates = fact_list_of_dates.difference(list_of_dates["0"])
missing_dates = pd.DatetimeIndex(missing_dates).sort_values()
list_of_missing_dates = list(missing_dates.astype(str).tolist())
lenth_of_list_of_missing_dates = len(list_of_missing_dates)

# Вывод на печать дат со среднедневной температурой в формате дата-температура
print(self.t_mean_day["T"])
# Вывод на печать начальной даты исследуемого периода
print(start_chain_with_desc)
# Вывод на печать конечной даты исследуемого периода
print(end_chain_with_desc)
# Вывод на печать количества дней между начальной и конечной датами
print(days_with_temp_with_desc)
# Вывод на печать фактического количества дней с данными по температуре
print(total_cols_with_desc)
# Вывод на печать количества дней с пропущенными датами
print(f"Количество дней с пропущенными данными: {lenth_of_list_of_missing_dates}")
# Вывод списка дат с отсутствующими данными по температуре
pprint.pprint(f"Список дат с отсутствующими данными по температуре:
{list_of_missing_dates}")

def save_dataset_mean_temp(self):
    """Метод для сохранения в формате .xls датасета с усредненной температурой.
    Файлы сохраняются в папку с программой"""

```

```

# Ввод названия файла
name_of_set_mean_temp = input("Введите название файла для сохранения:")
# Сохранение файла
self.t_mean_day["T"].to_excel(f"{name_of_set_mean_temp}.xlsx")
# Вывод на печать сообщения об успешном сохранении файла
print("Файл сохранен!")
def get_average_monthly_temperature(self):
    """Метод для получения датасета со среднемесячными температурами"""
    # Получение датафрейма с данными по средней температуре за сутки
    t_mean_day_for_month = pd.DataFrame(self.t_mean_day["T"])
    # Приведение датафрейма к формату datetime
    t_mean_day_for_month.index = pd.to_datetime(t_mean_day_for_month.index)
    # Получение датафрейма с среднемесячными температурами
    self.average_monthly_temperature = t_mean_day_for_month.resample("M").mean()
    # Вывод на печать датафрейма со среднемесячными температурами
    print(self.average_monthly_temperature)

def save_dataset_average_monthly_temperature(self):
    """Метод для сохранения в формате .xls датасета со среднемесячной температурой.
    Файлы сохраняются в папку с программой"""
    # Получение датафрейма с данными со среднемесячной температурой
    self.average_monthly_temperature = pd.DataFrame(self.average_monthly_temperature)
    # Ввод названия файла
    name_of_average_monthly_temperature = input("Введите название файла для
сохранения:")
    # Сохранение файла

self.average_monthly_temperature.to_excel(f"{name_of_average_monthly_temperature}.xlsx")
# Вывод на печать сообщения об успешном сохранении файла
print("Файл сохранен!")

def heating_period_treatment(self):
    """Метод для обработки конкретного отопительного периода. Для работы программы
необходимо ввести
    начальную и конечную даты обработки в формате гггг-мм-дд. Для средней полосы
целесообразно
    использование диапазона начиная с 1 сентября исследуемого года, по 1 июня
следующего года. Метод
    выводит на печать три колонки:
    1. Дата
    2. Средняя температура за день
    3. Средняя температура за 5 дней посчитанные за предыдущие 5 дат, включая строчку и
исследуемой.
    В соответствии с законодательством РФ выводятся даты отопительного периода.
    Выводится дата начала отопительного периода согласно законодательству;
    дата окончания отопительного периода согласно законодательству;
    продолжительность отопительного периода в днях;
    минимальная температура наиболее холодных суток отопительного периода;
    градусосутки отопительного периода
    """
    # Получаем датасет со среднедневными температурами в формате DataFrame
    day_date_plus_temp = pd.DataFrame(self.t_mean_day["T"])

```

```

# Ввод начальной даты для обработки отопительного периода в формате "гггг-мм-дд"
prepare_start_heating_date = pd.to_datetime(input(
    "Введите начальную дату обработки отопительного периода в формате гггг-мм-дд:"))
# Ввод конечной даты для обработки отопительного периода в формате "гггг-мм-дд"
prepare_end_heating_date = pd.to_datetime(input(
    "Введите конечную дату обработки отопительного периода в формате гггг-мм-дд:"))
# исследуемый диапазон измерений отопительного периода (по умолчанию с 1 сентября
по 1 июня)
interesting_heating_period =
day_date_plus_temp.loc[prepare_start_heating_date:prepare_end_heating_date]
# Сброс индекса датафрейма
interesting_heating_period.reset_index(inplace=True)
# Получение листа со среднедневными температурами
list_temp = interesting_heating_period["T"].values.tolist()
# Алгоритм для расчета наиболее холодной пятидневки
list_five_temp = []
while list_temp:
    list_five_temp.append(list_temp[:5])
    del list_temp[:1]
mean_five_temp = []
for i in list_five_temp:
    mean_five_temp.append(round(mean(i), 3))
mean_five_temp.insert(0, 0)
mean_five_temp.insert(0, 0)
mean_five_temp.insert(0, 0)
mean_five_temp.insert(0, 0)
mean_five_temp = mean_five_temp[:-4]

# создание колонки для температур, усредненных за пять предыдущих дней
interesting_heating_period["average_five_day_temperature"] = mean_five_temp
# Получение датасета со температурой пятидневки меньше 8 градусов цельсия
ds_real_start_heating_date = interesting_heating_period.loc[(
    interesting_heating_period.average_five_day_temperature < 8)]
# Получение даты реального начала отопительного периода (температура пятидневки
ниже 8 градусов)
self.real_start_heating_date = ds_real_start_heating_date.iloc[4, 0]
# Дата начала отопительного сезона с описанием
real_start_heating_date_with_desc = f"Дата начала отопительного периода согласно
законодательству:" \
    f"{self.real_start_heating_date}"
# дата начала анализа для нахождения конца отопительного периода (конец от. периода
- 3 месяца)
help_end_heating_date = pd.to_datetime(prepare_end_heating_date -
pd.DateOffset(months=3))
# Перевод столбца data в формат datetime
interesting_heating_period["data"] = pd.to_datetime(interesting_heating_period["data"])
# Установка столба data как индекса
interesting_heating_period = interesting_heating_period.set_index("data")
# Диапазон дат от даты начала анализа конца отопительного периода до последней даты
исследований
ds_real_end_heating_date =
interesting_heating_period.loc[help_end_heating_date:prepare_end_heating_date]

```

```

# Нахождение дат с температурой пятидневки выше 8 градусов цельсия
add_ds_real_end_heating_date = ds_real_end_heating_date.loc[(
    ds_real_end_heating_date.average_five_day_temperature > 8)].reset_index()
# Нахождения даты конца отопительного периода
self.real_end_heating_date = pd.to_datetime(add_ds_real_end_heating_date.loc[0, 'data'])
# Удобный вывод даты конца отопительного периода
self.real_end_heating_date = self.real_end_heating_date.date()
# Дата конца отопительного периода с описанием
real_end_heating_date_with_desc = f"Дата окончания отопительного периода согласно
законодательству:" \
    f"{self.real_end_heating_date}"
# Расчет продолжительности отопительного сезона
self.duration_heating_period = self.real_end_heating_date - self.real_start_heating_date
# Продолжительность отопительного периода с описанием
duration_heating_period_with_desc = f"Продолжительность отопительного периода
{self.duration_heating_period} дней"
# датасет данных с температурами от начала до конца вычисленного отопительного
периода
self.ds_duration_heating_period =
interesting_heating_period.loc[self.real_start_heating_date:self.real_end_heating_date]
# Нахождение средней температуры отопительного периода
self.average_temperature_heating_period = self.ds_duration_heating_period["T"].mean()
# Округление средней температуры отопительного периода до двух знаков после
запятой
self.average_temperature_heating_period = round(self.average_temperature_heating_period,
2)
# Средняя температура отопительного периода с описанием
average_temperature_heating_period_with_desc = f"Средняя температура отпительного
периода равна " \
    f"{self.average_temperature_heating_period} градусов"
# Вычисление градусосутки реального отопительного периода
self.gsop = (18 - self.average_temperature_heating_period) *
self.duration_heating_period.days
# Округление до целых градусосутки реального отопительного периода
self.gsop = round(self.gsop, 0)
# Градусосутки отопительного периода с описанием
gsop_with_desc = f"Реальные градусосутки отопительного периода равны {self.gsop} "
# Нахождение минимальной температуры наиболее холодных суток отопительного
периода
self.min_temp_day_of_heat_temp = self.ds_duration_heating_period["T"].min()
# Минимальная температура наиболее холодных суток с описанием
min_temp_day_of_heat_temp_with_desc = f"Минимальная температура наиболее
холодных суток " \
    f"отопительного периода: {self.min_temp_day_of_heat_temp}"
# Нахождение температуры наиболее холодной пятидневки
self.min_temp_five_day_of_heat_temp =
self.ds_duration_heating_period['average_five_day_temperature'].min()
# Температура наиболее холодной пятидневки с описанием
min_temp_five_day_of_heat_temp_with_desc = f"Минимальная температура наиболее
холодной пятидневки " \
    f"отопительного периода:
{self.min_temp_five_day_of_heat_temp}"

```

```

# Наиболее холодные сутки в формате дата + температура
str_with_min_temp_day_of_heat_temp =
self.ds_duration_heating_period[self.ds_duration_heating_period['T'] ==
                                self.ds_duration_heating_period['T'].min()]
# Наиболее холодная пятидневка в формате дата + температура
str_with_min_temp_five_day_of_heat_temp = self.ds_duration_heating_period[
    self.ds_duration_heating_period.average_five_day_temperature ==

self.ds_duration_heating_period.average_five_day_temperature.min()]
# Вывод датасета рассчитанного отопительного периода в формате дата, т-ра суток,
температура пятидневки
print(self.ds_duration_heating_period)
# Вывод даты начала посчитанного отопительного периода с описанием
print(real_start_heating_date_with_desc)
# Вывод даты конца посчитанного отопительного периода с описанием
print(real_end_heating_date_with_desc)
# Вывод продолжительности посчитанного отопительного периода в днях с описанием
print(duration_heating_period_with_desc)
# Вывод минимальной температуры наиболее холодных суток для посчитанного
отопительного периода
print(min_temp_day_of_heat_temp_with_desc)
# Вывод в формате дата - МИНИМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА СУТОК - пятидневка
print(str_with_min_temp_day_of_heat_temp)
# Вывод минимальной температуры пятидневки отопительного периода
print(min_temp_five_day_of_heat_temp_with_desc)
# Вывод в формате дата - минимальная температура суток - МИНИМАЛЬНАЯ
ТЕМПЕРАТУРА ПЯТИДНЕВКИ
print(str_with_min_temp_five_day_of_heat_temp)
# Вывод средней температуры за отопительный сезон
print(average_temperature_heating_period_with_desc)
# Вывод градусосутков отопительного периода
print(gso_p_with_desc)

def save_ds_duration_heating_period(self):
    """Метод для сохранения в формате .xls датасета отопительного периода.
    Файлы сохраняются в папку с программой"""
    # Получение датафрейма с отопительным периодом в формате DataFrame
    self.ds_duration_heating_period = pd.DataFrame(self.ds_duration_heating_period)
    # Ввод название файла
    name_of_ds_duration_heating_period = input("Введите название файла для сохранения:")
    # Сохранение файла
    self.ds_duration_heating_period.to_excel(f"{name_of_ds_duration_heating_period}.xlsx")
    # Вывод на печать сообщения об успешном сохранении файла
    print("Файл сохранен!")

def save_data_about_heating_period(self):
    """Метод для сохранения основных данных по расчетному отопительному периоду.
    Сохранение происходит в виде списка, элементами которого является кортеж с данными
    1. Дата начала отопительного сезона
    2. Дата окончания отопительного сезона
    3. Продолжительность отопительного сезона
    4. Минимальная температура отопительного сезона

```

5. Температура наиболее холодной пятидневки отопительного сезона

6. Средняя температура отопительного сезона

7. Градусосутки отопительного сезона""

```
one_data_heat_period = (self.real_start_heating_date.strftime('%m/%d/%Y'),
                        self.real_end_heating_date.strftime('%m/%d/%Y'),
                        self.duration_heating_period.days, self.min_temp_day_of_heat_temp,
                        self.min_temp_five_day_of_heat_temp,
self.average_temperature_heating_period,
                        self.gsop)
self.data_heat_period.append(one_data_heat_period)
pprint.pprint(self.data_heat_period)
```

Приложение В

Пример результата расчета девятого этажа многоквартирного дома

номер помещения	Температура внутреннего воздуха, tв	наименование ограждения	ориентация по сторонам света	размеры		Площадь ограждения а x b	Расчетная температура наружного воздуха, tн	Расчетная разность температур	Коэффициент теплопередачи ограждения К, Вт/м²·С	Основные теплопотери Q	Дополнительные теплопотери	Суммарные дополнительные потери	Теплопотери с учетом добавок	Расход теплоты на нагревание infiltrирующего воздуха	Бытовые тепловыделения Qд.бт.	Полные теплопотери Qтп.
				с учетом ориентации												
				а	б											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	16	17	18	19	20
<b>девятый этаж</b>																
НС	20	НС	С	11	2,8	30,8	-1,9	21,9	0,349	235,41	10	23,54	258,95			
	20	НС	Ю	11	2,8	30,8	-1,9	21,9	0,349	235,41	0	0,00	235,41			
	20	НС	З	76	2,8	212,8	-1,9	21,9	0,349	1626,45	5	81,32258	1707,77			
	20	НС	В	76	2,8	212,8	-1,9	21,9	0,349	1626,45	10	162,65	1789,10			
													3991,23			
ПТ+Внутр	20	ПТ	--	76	11	836	-1,9	21,9	0,233	3839,27		0,00	3839,27	22345,77	14212	11973,04
ОК	20	ОК	З	13,68	1,4	19,152	-1,9	21,9	1,565	656,41	5	32,8203	689,23			
	20	ОК	В	13,68	1,4	19,152	-1,9	21,9	1,565	656,41	10	65,64	722,05			
													1411,27			1411,27
																<b>17375,54</b>



## Результаты расчета при температуре наружного воздуха -1,9°C различных комбинаций заселенности

Комбинации	Назначение помещения	tвоздуха	Уровень метаболизма, Вт/м2	Теплопотупления от жителей, Вт	Qвн	50		25		0		-15		-30		-40		-50		-60		
						Qкв	Qкв- всего	Qкв	Qкв- всего	Qкв	Qкв- всего	Qкв	Qкв- всего	Qкв	Qкв- всего	Qкв	Qкв- всего	Qкв	Qкв- всего	Qкв	Qкв- всего	
1	2 - комната средневозр астных	20			161,84	573,5999		488,4509		403,302		352,21242		301,123		267,06		233,0038		198,9442		
	4 - общая	20			210,63	670,8542	2358,028	577,3593	2014,069	483,864	1670,11	427,76738	1463,73304	371,67	1257,4	334,27	1119,773	296,8745	982,1894	259,4765	844,6055	
	5 - комната детей	20			120,19	510,816		428,1581		345,5		295,90552		246,311		213,25		180,1845		147,1213		
	6 и др	20			193,97	602,7582		520,1003		437,442		387,84772		338,253		305,19		272,1267		239,0635		
2	2 - комната средневозр астных	20		180	341,84	393,5999		308,4509		223,302		172,21242		121,123		87,063		53,00377		18,94416		
	4 - общая	20			210,63	670,8542	2088,028	577,3593	1744,069	483,864	1400,11	427,76738	1193,73304	371,67	987,36	334,27	849,7733	296,8745	712,1894	259,4765	574,6055	
	5 - комната детей	20		90	210,19	420,816		338,1581		255,5		205,90552		156,311		123,25		90,18448		57,12133		
	6 и др	20			193,97	602,7582		520,1003		437,442		387,84772		338,253		305,19		272,1267		239,0635		
3	2 - комната средневозр астных	21,95	71,16	264	425,84	375,0843		282,3535		189,623		133,98421		78,3457		41,253		4,161092		-32,9312		
	4 - общая	22,03			210,63	752,5625	2261,564	650,4012	1886,032	548,24	1510,5	486,94303	1285,18111	425,646	1059,9	384,78	909,6494	343,9171	759,4367	303,0526	609,2241	
	5 - комната детей	22,03	70,67	112	232,19	457,3065		366,9867		276,667		222,4751		168,283		132,16		96,02741		59,8995		
	6 и др	22,03			193,97	676,6102		586,2904		495,971		441,77877		387,587		351,46		315,3311		279,2032		
4	2 - комната средневозр астных	21,27	75,78	286	447,84	330,2487		240,1618		150,075		96,022763		41,9706		5,9359		-30,0989		-66,1337		
	4 - общая	21,51			210,63	731,6323	2215,897	631,6909	1849,155	531,75	1482,41	471,78473	1262,36663	411,82	1042,3	371,84	895,6241	331,8668	748,9271	291,8903	602,2301	
	5 - комната детей	21,51	74,17	58	178,19	496,3237		407,9666		319,609		266,59521		213,581		178,24		142,8952		107,5524		
	6 и др	21,51			193,97	657,6924		569,3353		480,978		427,96392		374,95		339,61		304,2639		268,9211		
5	2 - комната средневозр астных	20,81	78,79	298	459,84	302,8011		214,5027		126,204		73,225315		20,2463		-15,07		-50,3924		-85,7118		
	4 - общая	22,45			210,63	769,4677	2222,567	665,5133	1846,504	561,559	1470,44	499,18626	1244,80352	436,814	1019,2	395,23	868,7407	353,6501	718,3156	312,0684	567,8905	
	5 - комната пожилых	22,45	67,81	123	243,19	458,408		366,503		274,598		219,45502		164,312		127,55		90,78802		54,02602		
	6 и др	22,45			193,97	691,8899		599,9849		508,08		452,93692		397,794		361,03		324,2699		287,5079		
6	2 - комната пожилых	22,62	66,67	236	397,84	425,584		330,2482		234,912		177,71093		120,509		82,375		44,24079		6,106462		
	4 - комната М10	20,72	79,44	86	296,63	613,8345	2261,352	517,2657	1880,353	420,697	1499,35	362,75579	1270,75542	304,815	1042,2	266,19	889,7568	227,5596	737,3574	188,9321	584,9579	
	5 - комната Ж15	23,15	63,1	97	217,19	504,5772		410,0301		315,483		258,75487		202,027		164,21		126,389		88,57022		
	6 и др	23,15			193,97	717,3561		622,8091		528,262		471,53383		414,806		376,99		339,168		301,3492		

Акт внедрения при выполнении НИР заказчика ООО «Застройщик Белогорья»

«Утверждаю»

Проректор по научной

и инновационной деятельности

БГТУ им. В.Г. Шухова

Давыденко Т.М.

«11» 03 2024 г.



**АКТ**

о внедрении результатов диссертационной работы  
**Свирина Максима Валерьевича**

Комиссия в составе:

**председатель** – директор ИСИ, д.т.н., профессор Уваров В.А.

**члены комиссии** – д.т.н. Гольцов А.Б.

к.т.н. Семенов А.С.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Свирина М.В.:

– методика определения начала периода потребности в тепловой энергии здания;

– методика определения потребности в теплоте с учетом адаптивных запросов жильцов

внедрены при выполнении НИР в работе «Теплотехнический расчет, расчет теплопотерь, подбор отопительных приборов» по объекту: «Дома блокированной застройки мкр. «Дубровка», в п. Дубовое Белгородского района» заказчика ООО «Застройщик Белогорья» (договор №08/11. 21 от 09.11.2021 г.)

Председатель комиссии

Уваров В.А.

Члены комиссии

Гольцов А.Б.

Семенов А.С.

## Акт внедрения в проектирование компанией ООО «Интелл-Сервис»

«Утверждаю»

Технический директор

ООО «Интелл-Сервис»

Репин В.Г.

«06» марта 2024 г.



## АКТ

о внедрении в проектирование результатов диссертационной работы  
**Свирина Максима Валерьевича**

Комиссия в составе:

**председатель** – инженер Белокобыльский С.А.**члены комиссии** – доцент Семиненко А.С.  
доцент Елистратова Ю.В.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Свирина М.В.:

- конструкция индивидуального теплового пункта, обеспечивающего теплоснабжение здания в переходные периоды года;
  - методика расчета потребности в тепловой энергии на отопление жилых зданий в переходный период года
- приняты в базу технических решений для проектов капитального ремонта и модернизации инженерных систем жилых зданий.

Положительным эффектом от применения результатов исследования является обеспечение комфортных температурных условий в переходный период года, без значительных дополнительных затрат.

Члены комиссии

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Белокобыльский С.А.

Елистратова Ю.В.

\_\_\_\_\_

Семиненко А.С.

## Акт о внедрении в учебный процесс

«Утверждаю»

первый проректор

БГТУ им. В.Г. Шухова

Евтушенко Е.И.



«08» 03 2024 г.

## АКТ

о внедрении в учебный процесс результатов диссертационной работы  
Свирина Максима Валерьевича

Комиссия в составе:

**председатель** – директор ИСИ, д.т.н., профессор Уваров В.А.**члены комиссии** – д.т.н. Гольцов А.Б.

к.т.н. Семиненко А.С.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Свирина М.В.:

– программное обеспечение анализа параметров отопительного сезона по архиву климатических данных;

– методика расчета потребности в тепловой энергии на отопление жилых зданий в переходный период года;

– аналитическая зависимость внутренних бытовых тепловыделений от расчетной заселенности помещения

внедрены в учебный процесс при подготовке студентов направления 08.03.01 «Строительство» профиля «Теплогасоснабжение и вентиляция», 08.04.01 «Строительство» профиля «Теплогасоснабжение населенных мест и предприятий», «Системы обеспечения микроклимата зданий и сооружений» в лекционных занятиях и проведении практических работ.

Председатель комиссии

Уваров В.А.

Члены комиссии

Гольцов А.Б.

Семиненко А.С.