

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬНЫХ НАУК
(НИИСФ РААСН)



На правах рукописи

МИЛЛЕР Юлия Владимировна

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ В СУТОЧНОМ И
ГODOVOM ЦИКЛАХ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Специальность 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование
воздуха, газоснабжение и освещение

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук



Научный руководитель – доктор
технических наук, профессор,
член-корреспондент РААСН
ТАБУНЩИКОВ Юрий Андреевич

Москва – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА И НОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ	12
1.1 Роль и значимость показателя теплотребления в оценке энергетической эффективности зданий.....	12
1.2 Методы расчета теплотребления зданий	15
1.3 Пути снижения теплотребления здания на отопление и охлаждение	24
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ НА ОТОПЛЕНИЕ И ОХЛАЖДЕНИЕ В СУТОЧНОМ И ГОДОВОМ ЦИКЛАХ..	27
2.1 Здание как единая энергетическая система.....	27
2.2 Назначение математической модели теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах	28
2.3 Математическая модель наружного климата.....	28
2.4 Характеристики теплового режима помещений.....	32
2.5 Математическая модель лучистого и конвективного теплообмена в помещениях.....	46
2.6 Математическая модель теплопередачи через ограждающие конструкции.....	49
2.7 Математическая модель тепловых потерь или теплопоступлений в результате вентиляционного воздухообмена в помещении.....	57
2.8 Учет мебели в тепловом балансе помещения	58
2.9 Обобщенное уравнение теплового баланса воздуха помещения	58
2.10 Метод реализации математической модели	72
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.....	76
3.1 Описание эксперимента.....	76
3.2 Описание объекта, принятого для «пассивного эксперимента»	76
3.3 Измерение почасовых значений теплотребления на отопление	84
3.4 Оценка теплотребления на отопление на основе разработанной математической модели.....	85
3.5 Сопоставление результатов расчета и эксперимента	86

ГЛАВА 4. ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ	93
4.1 Исследование теплотребления зданий на отопление и охлаждение	93
4.2 Исследование влияния составляющих теплового баланса помещений на величину теплотребления здания на отопление и охлаждение	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	125
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	130
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	132
Приложение 1 «Типовые профили» для жилых и офисных помещений	145
Приложение 2 Блок–схема компьютерной программы	149

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. В настоящее время в отечественной и мировой строительной практике постоянно возрастают требования к экономии энергии, затрачиваемой на теплоэнергоснабжение зданий. Это обстоятельство вызвано стремлением сохранить невозобновляемые энергетические ресурсы и необходимостью защиты окружающей среды от загрязнения.

Практическая реализация мероприятий по экономии энергии связана со значительными капитальными вложениями. В этих условиях важно еще до разработки проектной и технической документации объекта выявить эффективность рассматриваемых энергосберегающих мероприятий и на стадии проектирования выбрать обоснованные технические решения по их реализации. Эта работа может быть выполнена с использованием метода математического моделирования теплопотребления зданий на отопление и охлаждение в годовом цикле с учетом особенностей режима их эксплуатации, объемно-планировочных и инженерных решений, а также применяемых энергосберегающих технологий.

Степень разработанности темы диссертации. Теоретические основы математического моделирования теплового режима здания опираются на труды российских ученых, посвященные теории нестационарного теплового баланса помещений зданий (в алфавитном порядке): Богословского В.Н. [4], Бродач М.М. [70], Васильева Г.П. [5], Гагарина В.Г. [8], Гвоздкова А.Н. [9], Гримитлина А.М. [15], Гулабянца Л.А. [18], Дацюк Т.А. [19], Костина В.И. [23,24], Кочева А.Г. [25], Кувшинова Ю.Я. [27], Ливчака В.И. [28], Малявиной Е.Г. [32], Наумова А.Л. [38,39], Позина Г.М. [48], Сотникова А.Г. [58], Табунщикова Ю.А. [69,72,73], Шилькрота Е.О. [78], Шкловера А.М. [79].

К настоящему времени известны зарубежные разработки в области математического моделирования теплопотребления зданий на отопление и охлаждение в годовом цикле [99,100,108,111]. Следует отметить то обстоятельство, что каждая страна стремится независимо создать собственные математические модели теплопотребления зданий и реализующие их

компьютерные программы, которые опираются на национальные нормативные документы и учитывают национальные особенности проектирования, строительства и эксплуатации зданий.

Анализ работ по теории математического моделирования теплотребления зданий на отопление и охлаждение в годовом цикле показал необходимость развития и совершенствования данной теории, в частности, в части использования почасовых значений параметров наружного климата, почасовых значений бытовых или технологических тепловыделений, почасовых значений величины вентиляционного воздухообмена, почасовых значений температуры воздуха помещений, возможности учета изменения во времени величины сопротивления теплопередаче светопроницаемых ограждающих конструкций. Важнейшим направлением совершенствования математической модели теплотребления здания на отопление и охлаждение является создание возможности учета широкого класса энергосберегающих инженерных решений и технологий.

Цель и задачи. Цель диссертационной работы – исследование теплотребления зданий на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах на основе усовершенствованной математической модели теплового баланса здания, учитывающей возможность оценки эффективности широкого класса энергосберегающих инженерных решений и технологий.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

- выполнен анализ отечественных и зарубежных методов расчета и нормирования теплотребления зданий на отопление и охлаждение;
- выполнен анализ работ по теории математического моделирования теплового баланса помещений зданий и определены пути ее совершенствования в соответствии с современными представлениями о режиме эксплуатации зданий и потребности в расчете теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах;
- усовершенствована математическая модель теплотребления здания на отопление и охлаждение в части учета изменения почасовых значений

параметров наружного климата, почасовых значений бытовых или технологических тепловыделений, почасовых значений величины вентиляционного воздухообмена, почасовых значений температуры воздуха помещений, изменяющейся во времени величины сопротивления теплопередаче светопроницаемых ограждающих конструкций;

– получено обобщенное уравнение теплового баланса воздуха помещения, позволяющее учитывать широкий класс энергосберегающих инженерных решений и технологий при определении теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах;

– выполнена экспертная оценка эффективности широкого класса энергосберегающих инженерных решений и технологий;

– разработана компьютерная программа расчета, реализующая предложенную математическую модель теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах;

– экспериментально подтверждена адекватность математической модели теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах и реализующей ее компьютерной программы расчета;

– исследовано теплотребление зданий на отопление и охлаждение с учетом изменения почасовых значений параметров наружного климата, почасовых значений бытовых или технологических тепловыделений, почасовых значений величины вентиляционного воздухообмена, почасовых значений температуры воздуха помещений, изменяемой во времени величины сопротивления теплопередаче светопроницаемых ограждающих конструкций в суточном и годовом циклах с учетом эффективности энергосберегающих инженерных решений и технологий.

Объектом исследования являются жилые и общественные (офисные и административные) здания на стадии проектирования, эксплуатации, реконструкции.

Предметом исследования являются показатели теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Уточнена математическая модель теплотребления здания на отопление и охлаждение с учетом изменения почасовых значений параметров наружного климата, почасовых значений бытовых или технологических тепловыделений, почасовых значений величины вентиляционного воздухообмена, почасовых значений температуры воздуха помещений, изменяемой во времени величины сопротивления теплопередаче светопроницаемых ограждающих конструкций в суточном и годовом циклах.

2. Предложена математическая модель и методология учета широкого класса энергосберегающих инженерных решений и технологий при определении теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах.

3. Получены новые научные результаты исследования влияния почасовых изменений параметров наружного климата, почасовых изменений бытовых или технологических тепловыделений, почасовых изменений величины вентиляционного воздухообмена, почасовых изменений температуры воздуха помещений и изменяемой во времени величины сопротивления теплопередаче светопроницаемых ограждающих конструкций на величину теплотребления здания на отопление и охлаждение и продолжительности периодов отопления и охлаждения.

4. Предложена методика учета почасовых изменений технологических тепловыделений в тепловом балансе помещений общественных (офисных и административных) зданий для расчета теплотребления этих зданий на отопление и охлаждение.

Теоретическую и практическую значимость диссертационной работы составляют:

- Математическая модель и компьютерная программа расчета теплотребления здания на отопление и охлаждение с возможностью учета эффективности широкого класса энергосберегающих инженерных решений и технологий и с учетом изменения почасовых значений параметров наружного

климата, почасовых значений бытовых или технологических тепловыделений, почасовых значений величины вентиляционного воздухообмена, почасовых значений температуры воздуха помещений, изменяемой во времени величины сопротивления теплопередаче светопроницаемых ограждающих конструкций в суточном и годовом циклах. Данная математическая модель может быть использована для прогнозирования теплотребления зданий на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах, продолжительности периодов отопления и охлаждения и оценки расчетной производительности систем отопления, вентиляции и охлаждения в годовом цикле с целью подбора оборудования и выбора целесообразного режима его функционирования.

- Метод учета широкого класса энергосберегающих инженерных решений и технологий при определении теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах, который может быть использован специалистами и проектировщиками для выполнения многовариантного анализа и обоснования целесообразности применения энергосберегающих инженерных и архитектурных решений, влияющих на теплотребление здания на отопление и охлаждение.

- Установленное влияние составляющих теплового баланса на величину теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах и на продолжительность периодов отопления и охлаждения, что может быть использовано при разработке рекомендаций по обеспечению энергетической эффективности зданий и нормативных документов в области энергосбережения.

Методология и методы диссертационного исследования. Для достижения поставленной цели в работе использовались теоретические исследования, выполненные методом математического моделирования посредством разработанной компьютерной программы расчета теплотребления здания на отопление и охлаждение.

Положения, выносимые на защиту:

- Математическая модель теплопотребления здания на отопление и охлаждение с учетом изменения почасовых значений параметров наружного климата, почасовых значений бытовых или технологических тепловыделений, почасовых значений величины вентиляционного воздухообмена, почасовых значений температуры воздуха помещений, изменяемой во времени величины сопротивления теплопередаче светопроницаемых ограждающих конструкций в суточном и годовом циклах;
- Математическая модель и методология учета широкого класса энергосберегающих инженерных решений и технологий при определении теплопотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах;
- Выявленные зависимости влияния составляющих теплового баланса на величину теплопотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах и на продолжительность периодов отопления и охлаждения.

Степень достоверности результатов. При разработке математической модели теплопотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах использовались положения системного представления здания как единой энергетической системы. Адекватность разработанной математической модели подтверждена экспериментально.

Апробация результатов. Основные результаты диссертационной работы докладывались:

1. Ежегодная международная конференция и выставка «Программное обеспечение для систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, тепло- и холодоснабжения, водоснабжения и водоотведения. Проектирование, расчет, подбор оборудования, автоматизация систем», НП «АВОК», Москва, 2011–2015 гг.
2. Международный симпозиум «Устойчивая архитектура: настоящее и будущее», МАРХИ, НП «АВОК», Москва, 2011 г.

3. Научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов «Наука, исследование и экспериментальное проектирование», МАРХИ, Москва, 2012 г.

4. V Международный форум градостроительства, архитектуры и дизайна «A City», Санкт-Петербург, 2012 г.

5. Международная научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов «Наука, образование и экспериментальное проектирование», МАРХИ, Москва, 2013–2014 гг.

6.V Международная научно-техническая конференция «Теоретические основы теплогасоснабжения и вентиляции», МГСУ, Москва, 2013 г.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение: п.5 «Тепловой, воздушный и влажностный режимы зданий различного назначения, тепломассообмен в ограждениях и разработка методов расчета энергосбережения в зданиях».

Результаты работы внедрены при разработке ГОСТ Р 54964–2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости» в части установления минимальных экологических требований и рекомендуемых показателей расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий; при разработке раздела «Энергосбережение и энергоэффективность» стандарта СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 «"Зеленое строительство". Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания» и разработке приложения «Корректирующие региональные коэффициенты по критерию 30 "Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания"» стандарта СТО НОСТРОЙ 2.35.68–2012 «"Зеленое строительство". Здания жилые и общественные. Учет региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания»; при разработке учебного задания и методических указаний к дипломному проекту при защите на степень бакалавра «Оценка архитектурного проекта многоэтажного жилого дома по

принципам устойчивого развития. Раздел ”Инженерное оборудование зданий”» для Московского архитектурного института (государственная академия); при разработке Руководства АВОК «Расчет теплотребования зданий на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах» для ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС»; при разработке проектов уникальных зданий, среди которых «Меркурий Сити Тауэр», Москва, Корпоративный университет Сбербанка, Московская область, многоквартирные жилые здания с низким энергопотреблением, Северное Измайлово, Москва.

Публикации. По теме диссертации автором опубликовано 6 работ, в том числе 2 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы из 121 источников, в том числе 33 на иностранных языках. Работа изложена на 144 страницах, включая 43 иллюстрации, 14 таблиц; объем приложений составляет 5 страниц.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА И НОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

1.1 Роль и значимость показателя теплопотребления в оценке энергетической эффективности зданий

В настоящее время повышение энергетической эффективности зданий является одним из решений мировой проблемы истощения источников первичной энергии и неблагоприятного воздействия на окружающую среду вследствие эмиссии диоксида углерода (CO_2) при сжигании первичного топлива.

Впервые вопрос о важности данной проблемы в мировом сообществе возник после первого энергетического кризиса 1974 г., когда спрос на энергоносители значительно превысил их предложение. На Международной энергетической конференции ООН (МИРЭК) в 1977г. было отмечено, что существующие на тот момент времени здания обладали огромными резервами экономии энергии и повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения и климатизации [74]. В большинстве стран было принято решение о проведении на государственном уровне комплексной программы мер, направленных на создание необходимых организационных условий и нормативно-правовой базы, способствующих повышению энергетической эффективности зданий.

В России повышение энергетической эффективности зданий является одной из приоритетных задач для достижения цели о 40 процентном снижении энергоемкости валового внутреннего продукта к 2020 г. по отношению к уровню 2008 г. [44].

Одним из способов достижения поставленной цели является нормирование количественных показателей энергетической эффективности зданий, характеризующих величины годовых удельных расходов энергетических ресурсов в здании.

Одним из наиболее весомых показателей энергетической эффективности зданий является годовое теплopotребление здания на системы климатизации. Данное обстоятельство обусловлено климатическими особенностями нашей страны – более 30% всего потребления первичной энергии приходится на производство тепловой энергии для систем теплоснабжения зданий [2].

Требования законодательных актов [45,46] к величине годового теплopotребления зданий, как к показателю энергетической эффективности, предполагают снижение данной величины относительного базового уровня на 15% с января 2011 г., 30% с января 2016 г., 40% с января 2020 г.

Установленные на законодательном уровне требования к величине годового теплopotребления зданий нашли отражение в действующих нормативных документах. Согласно [64], показателем годового теплopotребления зданий на стадии проектирования является «удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, численно равная расходу тепловой энергии на 1 м³ отапливаемого объема здания в единицу времени при перепаде температуры в 1°С, $q_{от}$, Вт/(м³·°С)» [Там же, стр. 22-23]. Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания $q_{от}^p$, Вт/(м³·°С), должно удовлетворять условию:

$$q_{от}^p \leq q_{от}^{mp}$$

где $q_{от}^{mp}$ – нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/(м³·°С), определяется согласно [Там же].

В настоящее время проводится активная работа по гармонизации российской концепции нормирования количественных показателей энергетической эффективности зданий с концепцией, принятой в странах Европейского союза (ЕС) [50]. Анализ отечественных законодательных актов в области повышения энергетической эффективности, [Там же], показал, что установленные в них требования к количественным показателям энергетической эффективности, включая требования к величине теплopotребления здания в

годовом цикле, в значительной степени корреспондируются с требованиями, установленными в Директиве EPBD 2012/31/ЕС [96]. Директива опирается на стандарты, утвержденные Европейским комитетом по стандартизации (CEN), и определяет общие требования к энергетической эффективности зданий [50].

В настоящее время на основе европейских нормативных документов разрабатываются отечественные своды правил в области повышения энергетической эффективности зданий. Например, в соответствии с планом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Министерства регионального развития Российской Федерации на 2013 год и плановый период 2014-2015 гг. разрабатываются своды правил, такие как [59,60,61]. Требования, установленные в указанных сводах правил, предполагают оценку годового теплopotребления здания не только на отопление, но и на охлаждение в годовом цикле.

Широко применяемые во всем мире рейтинговые системы оценки «зеленых» зданий также предполагают оценку годового теплopotребления здания на отопление и охлаждение [66,67,88,95,112,115]. Например, согласно [66], максимальный балл присваивается при достижении 60%-го снижения годового удельного расхода тепловой энергии здания на отопление относительно базового уровня.

Критерии энергетической эффективности зданий в рейтинговых системах оценки имеют значительный вес, поэтому без обеспечения снижения величины годового теплopotребления здания на отопление и охлаждение невозможно добиться соответствия здания высоким классам устойчивости среды обитания.

Значение годового теплopotребления здания в соответствии с требованиями, указанными в законодательных актах [44,45,46], нормативных документах [64] и рейтинговых системах оценки «зеленых» зданий [66,67,95,112,115], выражают в относительных величинах тепловой энергии на единицу объема, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ в год, или площади здания, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год, или представляют на основе первичной энергии или эмиссии диоксида углерода (CO_2) в атмосферу. Для представления годового теплopotребления здания на

основе первичной энергии или эмиссии диоксида углерода (CO_2) в атмосферу его величину умножают на соответствующие переводные коэффициенты [66,89].

Величина годового теплопотребления здания зависит от многих факторов, среди которых параметры наружного климата района строительства, ориентация здания, теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, технологическое назначение здания, режим эксплуатации, объемно-планировочные и инженерные решения, и используется для:

- оценки энергетической эффективности зданий, в соответствии с требованиями законодательных актов, нормативных документов и рейтинговых систем оценки «зеленых» зданий;
- прогнозирования величины теплопотребления здания на отопление и охлаждение за рассматриваемый период;
- сравнения значений фактического теплопотребления здания на отопление, измеренного теплосчетчиком, и проектного за рассматриваемый период;
- оценки эффективности применения конкретных инженерных и энергосберегающих инженерных решений и технологий для рассматриваемого здания.

С учетом роли и значимости показателя годового теплопотребления здания на отопление и охлаждение, возрастают требования, предъявляемые к методам его расчета.

1.2 Методы расчета теплопотребления зданий

1.2.1 Требования к методам расчета теплопотребления зданий на отопление и охлаждение

С учетом важности оценки энергетической эффективности зданий и развития инженерно-строительной отрасли сформулированы следующие

требования к методам расчета теплотребления здания на отопление и охлаждение:

1. Математическая модель и метод ее реализации должны учитывать тепловой баланс помещений здания, позволяющий рассчитывать теплотребление как на отопление, так и на охлаждение в суточном и годовом циклах.

2. В методе расчета должно быть заложено системное представление здания «... как единой энергетической системы, представленной тремя основными взаимосвязанными подсистемами: энергетическим воздействием наружного климата на оболочку здания; энергией, содержащейся в оболочке здания, то есть в ограждающих конструкциях здания; энергией, содержащейся внутри объема здания, то есть во внутреннем воздухе, внутреннем оборудовании, внутренних ограждающих конструкциях и т.д.» [69, стр. 11].

3. Метод расчета должен опираться на почасовые изменения параметров наружного климата (температура наружного воздуха, интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации, скорость и направление ветра и т.д.) и учитывать переменный режим эксплуатации помещений зданий (заданный режим величины бытовых или технологических тепловыделений, величины вентиляционного воздухообмена, значений температуры воздуха помещений) в суточном и годовом циклах [24, 58].

4. Метод расчета должен позволять учитывать составляющие теплового баланса помещений здания в аналитическом и табличном видах.

5. Метод расчета должен предусматривать возможность учета вклада энергосберегающих инженерных решений и технологий в снижение теплотребления здания на отопление и охлаждение.

1.2.2 Методы расчета теплотребования здания на отопление и охлаждение

В соответствии с предложениями, изложенными в работе [69], математические модели теплового режима здания как единой энергетической системы рекомендуется делить на три класса:

1. Математические модели теплового режима помещения как объекта с распределенными параметрами. К данному классу относятся такие математические модели, в которых температурное поле описывается в плане и по высоте помещения, а лучистый и конвективный теплообмен в помещении учитывается отдельно.

2. Математические модели теплового режима помещения как объекта с частично распределенными параметрами. К данному классу относятся такие математические модели, в которых температура воздуха помещения принимается одинаковой по всему объему, а лучистый и конвективный теплообмен в помещении учитывается отдельно.

3. Математические модели теплового режима помещения как объекта с сосредоточенными параметрами. К данному классу относятся такие математические модели, в которых температура воздуха принимается одинаковой по объему помещения, а теплообмен в помещении учитывается без разделения на конвективную и лучистую составляющие.

Наиболее известной математической моделью, относящейся к первому классу, является математическая модель Г.М. Позина, [48]. Данная математическая модель предназначена для исследования температурных и скоростных полей в помещении и достаточно сложна для расчета теплотребования зданий на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах.

Наиболее известной математической моделью, относящейся ко второму классу, является математическая модель теплового режима помещения как объекта с частично распределенными параметрами, изложенная в работах Ю.А. Табунщикова [49,69,72]. Однако в данной математической модели недостаточно

уделено внимания математическому описанию заданного режима бытовых или технологических тепловыделений, величины вентиляционного воздухообмена, температуры воздуха помещения. Метод реализации данной математической модели предусматривает расчет теплопотребления здания на отопление и охлаждение только в суточном цикле.

Основным недостатком математических моделей, принадлежащих к третьему классу, является отсутствие отдельного учета лучистого и конвективного теплообмена в помещении. Результаты исследований [23,73], показали важность отдельного учета лучистого и конвективного теплообмена в помещении при оценке теплопотребления здания на охлаждение. В случае расчета теплопотребления на охлаждение помещения без разделения теплообмена на лучистую и конвективную составляющие результат расчета может превышать требуемое значение в 2-2,5 раза.

В настоящее время в действующих нормативных документах [64] установлен метод расчета удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период. В основе данного метода лежит математическая модель стационарного теплового баланса здания. В качестве значений параметров наружного климата принимаются усредненные значения температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра и средней величины солнечной радиации за отопительный период. Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период определяется согласно [64] по формулам:

$$q = 0,024 GCOП q_{om}^p, \text{кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}), \quad (1.1)$$

$$q = 0,024 GCOП q_{om}^p h, \text{кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (1.2)$$

где $GCOП$ – градусо-сутки отопительного периода, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$, определяются согласно [64]. Величина градусо-суток отопительного периода зависит от значений расчетной температуры воздуха помещений здания, $^{\circ}\text{C}$, принимаемой

согласно [64], средней температуры наружного воздуха, °C, и продолжительности, сут/год, отопительного периода, принимаемых по [62] за период со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 или 10°C в зависимости от технологического назначения здания;

h – средняя высота этажа здания, м;

$q_{от}^p$ – расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, Вт/(м³·°C), определяется согласно [64];

$$q_{от}^p = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад})\nu\zeta](1 - \xi)\beta_h, \quad (1.3)$$

где $k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м³·°C), зависит от значений приведенных сопротивлений теплопередаче фрагментов теплозащитной оболочки здания, (м²·°C)/Вт, их площадей, м², и отапливаемого объема здания, м³;

$k_{вент}$ – удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м³·°C), зависит от средних значений плотности приточного воздуха, кг/м³, кратности воздухообмена здания, ч⁻¹, за отопительный период и коэффициента эффективности рекуператора;

$k_{быт}$ – удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, Вт/(м³·°C), зависит от величины бытовых тепловыделений на 1 м² площади жилых помещений или расчетной площади общественного здания, Вт/м², отапливаемого объема здания, м³, температуры воздуха помещений здания, °C, и средней температуры наружного воздуха отопительного периода, °C;

$k_{рад}$ – удельная характеристика тепlopоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м³·°C), зависит от площади светопроницаемых ограждающих конструкций здания, м², величины средней за отопительный период солнечной радиации при действительных условиях облачности, МДж/(м²·год) и коэффициентов, учитывающих затенение светового проема и относительное проникание солнечной радиации;

ν – коэффициент снижения тепlopоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций здания;

ζ – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления;

ξ – коэффициент, учитывающий снижение тепlopотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление;

β_h – коэффициент, учитывающий дополнительное тепlopотребление системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными тепlopотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, тепlopотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения.

Сложнее дело обстоит с расчетом годового тепlopотребления зданий на охлаждение. Дело в том, что в действующих нормативных документах отсутствуют данные о продолжительности периода охлаждения. Ряд специалистов-проектировщиков для определения продолжительности периода охлаждения используют значения теплосодержания наружного воздуха и продолжительность его состояния, приведенные в [6]. Другие специалисты-проектировщики осуществляют эти расчеты по собственным методикам, опираясь на усредненные климатические параметры и характеристики теплового режима помещений здания.

Большим вкладом в развитие методов расчета тепlopотребления зданий на охлаждение в годовом цикле является метод, разработанный Ю. Я. Кувшиновым [27]. В данном методе определение годового расхода тепловой энергии системой кондиционирования воздуха (далее – СКВ) сводится к интегрированию зависимости от времени года потребляемой мощности. Последняя величина является функцией теплосодержания наружного воздуха, поскольку тепловая энергия расходуется только на обработку наружного воздуха. В качестве значений параметров наружного климата принимаются усредненные за месяц или год значения энтальпии наружного воздуха и их амплитуды. Годовой расход

тепловой энергии для проточной системы кондиционирования воздуха, согласно данному методу, определяется по формуле, кДж/кг:

$$Q_{\text{хол}} = 0,143nmG(I_{m,\text{ж}} - I_o)MK_3K_4, \quad (1.4)$$

где n – число рабочих дней в неделе, сут.;

m – продолжительность рабочей смены, ч;

G – максимальный расход приточного (наружного) воздуха, кг/ч;

K_3, K_4 – коэффициенты, определяемые в зависимости от величины M , согласно [27];

M – продолжительность периода потребления тепловой энергии на охлаждение воздуха, сут., определяемая по формуле:

$$M = 182,5 \sqrt{(I_{m,\text{ж}} - I_o) / (I_{m,\text{ж}} - I_{m,\text{г}})}, \quad (1.5)$$

I_o – энтальпия воздуха на выходе из форсуночной камеры или поверхностного охладителя в теплый период, кДж/кг;

$I_{m,\text{ж}}$ – энтальпия наружного воздуха самого жаркого месяца, кДж/кг, определяемая по формуле:

$$I_{m,\text{ж}} = I_{\text{ж}} + A_{i,\text{ж}}K_1K_2, \quad (1.6)$$

где $I_{\text{ж}}$ – средняя энтальпия самого жаркого месяца, кДж/кг;

$A_{i,\text{ж}}$ – амплитуда энтальпии самого жаркого месяца, кДж/кг;

K_1 – коэффициент, зависящий от продолжительности смены;

K_2 – коэффициент, зависящий от времени, приходящегося на середину смены;

$I_{m,\text{г}}$ – среднегодовое значение энтальпии наружного воздуха с учетом времени работы СКВ, кДж/кг, определяемая по формуле:

$$I_{m,\Gamma} = I_{\Gamma} + 0,5(A_{i,\text{ж}} + A_{i,\text{х}})K_1K_2, \quad (1.7)$$

где I_{Γ} – среднегодовое значение энтальпии наружного воздуха, кДж/кг;

$A_{i,\text{х}}$ – амплитуда энтальпии самого холодного месяца, кДж/кг.

Аналогичным образом Ю.Я. Кувшиновым разработан метод расчета годового расхода тепловой энергии на охлаждение для СКВ с первой и второй рециркуляцией.

Использование математических моделей стационарного теплового баланса помещений зданий и усредненных за длительный временной период параметров наружного климата в отечественных методиках расчета годового теплотребления зданий на отопление и охлаждение обусловлено отсутствием до недавнего времени набора почасовых значений параметров наружного климата в течение года.

Вместе с тем, сегодняшняя практика проектирования зданий различного технологического назначения требует более детального изучения потребностей здания в тепловой энергии на отопление зданий не только за отопительный период, но и в годовом цикле с учетом необходимости охлаждения [38,39,82].

За рубежом методы расчета годового теплотребления здания на отопление и охлаждение опираются на математические модели нестационарного теплового баланса помещений зданий, используют почасовые значения параметров наружного климата и реализованы посредством компьютерных программ.

Примерами таких компьютерных программ являются:

- DOE-2 (DOE-2.3), разработанная Lawrence Berkley National Laboratory, США [111];
- EnergyPlus (EnergyPlus 8.1.0), разработанная Lawrence Berkley National Laboratory, USA CERL, University of Illinois, и др., США [99];
- BSim, разработанная Danish Building Research Institute, Дания [108];
- ESP-r, разработанная University of Strathclyde, Великобритания [100].

Такие компьютерные программы позволяют [90,107]: прогнозировать величину теплотребования здания на отопление и охлаждение для обеспечения требуемых параметров микроклимата помещений в годовом цикле; сравнивать эффективность применения различных энергосберегающих решений инженерных систем; а также оценивать влияние наружного климата, объемно-планировочных решений, теплотехнических характеристик ограждающих конструкций, режима эксплуатации помещений на энергетическую эффективность зданий.

Несмотря на большое разнообразие существующих на сегодняшний день таких компьютерных программ, можно выделить основные положения, на которые опираются большинство из них:

- в основе алгоритма расчета положено уравнение нестационарного теплового баланса воздуха помещений здания;
- при расчете годового теплотребования здания на отопление и охлаждение учитываются почасовые значения параметров наружного климата; нестационарные тепловые потоки через ограждающие конструкции; почасовые изменения характеристик теплового режима помещений, таких как величины бытовых или технологических тепловыделений, величины вентиляционного воздухообмена, температуры воздуха помещения и т.д.; особенности инженерных решений систем отопления, вентиляции и охлаждения;
- расчетный временной шаг составляет от 5 до 15 минут;
- учитываются требования соответствующих национальных нормативных документов и законодательных актов.

В связи со сложностью алгоритмов расчета, заложенных в вышеперечисленных компьютерных программах, и важностью результатов расчета для принятия решений при проектировании относительно объемно-планировочных и инженерных решений, эксплуатационных и других характеристик здания, такие компьютерные программы проходят процедуру валидации в соответствии с национальными требованиями [87].

Как показывают исследования [94,104,120], проведенные с целью оценки валидности зарубежных компьютерных программ по расчету годового теплopotребления здания на отопление и охлаждение, результаты расчета могут значительно отличаться в зависимости от выбранной компьютерной программы. В настоящее время ведутся работы по совершенствованию расчетных алгоритмов и добавлению возможности расчета инновационных решений в системах отопления, вентиляции и охлаждения вышеуказанных компьютерных программ.

Методы расчета, заложенные в этих компьютерных программах, ориентированы на соответствующие зарубежные нормативные документы и опираются на зарубежный опыт проектирования и эксплуатации зданий, что затрудняет их корректное применение в отечественной проектной практике.

1.3 Пути снижения теплopotребления здания на отопление и охлаждение

Соблюдение требований по энергетической эффективности, установленных в законодательных актах [44,45,46] и рейтинговых системах оценки «зеленых» зданий [12,66,67,95,112,115], в части снижения теплopotребления зданий на отопление и охлаждение в годовом цикле возможно за счет рационального выбора, обоснования эффективности применения и правильной эксплуатации энергосберегающих инженерных решений и технологий.

В настоящее время в отечественной строительной практике накоплен опыт применения широкого класса энергосберегающих инженерных решений и технологий, позволяющих снизить теплopotребление зданий на отопление и охлаждение.

Эффект сбережения энергии при устройстве одних энергосберегающих инженерных решений и технологий может обеспечиваться за счет регулирования теплopotребления (например, при устройстве комнатных контроллеров и терморегуляторов [55,77], устройстве автоматизированного узла управления

[14,29], регулировании температуры и расхода приточного воздуха по потребности [20,22,32,34]), других за счет использования тепловой энергии низкопотенциальных источников (например, при устройстве тепловых насосов [5,10]), третьих за счет улучшения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций (например, при устройстве теплозащитных «ночных» штор [54,71]).

Оценка эффективности применения энергосберегающих инженерных решений и технологий и обоснование технических решений по их реализации может осуществляться на основе математического моделирования теплопотребления здания на отопление и охлаждение с учетом особенностей режима его эксплуатации, объемно-планировочных решений и инженерных решений. Вместе с тем, создание математических моделей некоторых энергосберегающих инженерных решений и технологий представляет собой отдельную задачу и, как правило, эти математические модели в силу их сложности и приближенности не используются при составлении теплового баланса здания. В этом случае для оценки эффективности энергосберегающих инженерных решений и технологий могут быть использованы следующие методы [81,84,86]:

– Натурный эксперимент.

Метод позволяет оценить эффективность конкретных энергосберегающих инженерных решений и технологий для рассматриваемых условий. При этом требуются значительные денежные вложения и временные затраты.

– Анализ эффективности применения аналогичных энергосберегающих инженерных решений и технологий в инженерных системах эксплуатируемых зданий.

Метод позволяет укрупнено оценить эффективность энергосберегающих инженерных решений и технологий. Результат оценки эффективности энергосберегающих инженерных решений и технологий по данному методу будет справедлив лишь для здания с аналогичным технологическим

назначением, инженерными системами, особенностями режима эксплуатации и т.д.

- Использование данных об эффективности энергосберегающего оборудования фирм-производителей.

Метод предполагает оценку эффективности энергосберегающего оборудования фирмами-производителями для некоторых стандартных условий, которые могут отличаться от реальных условий эксплуатации этого оборудования.

Таким образом, оценка вклада конкретного энергосберегающего инженерного решения или технологии в снижение теплотребления на отопление и охлаждение рассматриваемого здания является непростой задачей: количественные показатели одного и того же энергосберегающего инженерного решения или технологии существенно зависят от технологического назначения здания, режима эксплуатации здания, объемно-планировочных решений и могут меняться в достаточно широких пределах. Вместе с тем, задача оценки эффективности применения конкретного энергосберегающего инженерного решения или технологии для рассматриваемого здания остро стоит на стадии проектирования, в связи с чем необходимо разработать ее оперативное решение.

ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ НА ОТОПЛЕНИЕ И ОХЛАЖДЕНИЕ В СУТОЧНОМ И ГОДОВОМ ЦИКЛАХ

2.1 Здание как единая энергетическая система

Представляется возможным разработать единый подход к расчету теплотребления жилых и общественных (офисных и административных) зданий на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах методом математического моделирования.

С этой целью в диссертационной работе математическая модель теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах разработана в соответствии с принципами, изложенными в работе [69], о системном представлении здания как единой энергетической системы, состоящей из трех взаимосвязанных энергетических подсистем:

- энергией, содержащейся в наружном климате и воздействующей на оболочку здания;
- энергией, содержащейся в оболочке здания, т.е. тепловые потоки через светонепроницаемые и светопроницаемые ограждающие конструкции;
- энергией, содержащейся внутри объема здания, т.е. бытовые или технологические тепловыделения, лучистый и конвективный теплообмен, вентиляционный воздухообмен, теплоемкие оборудование и мебель и т.д.

При разработке математической модели приняты следующие допущения [69]:

- Первое допущение относится к локализации части здания – помещения, для которого производится расчет. Для определения теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах суммируются результаты расчетов для всех помещений здания.
- Второе допущение относится к математической модели теплового режима помещения как объекта с частично распределенными параметрами при

раздельном рассмотрении лучистого и конвективного теплообмена в помещении. При этом температура воздуха помещения принимается одинаковой по его объему.

2.2 Назначение математической модели теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах

Математическая модель теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах может быть использована для:

- прогнозирования теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах и продолжительности периодов отопления и охлаждения;
- оценки расчетной теплопроизводительности систем отопления, вентиляции и охлаждения в годовом цикле с целью подбора оборудования и выбора целесообразного режима его функционирования;
- многовариантного анализа и обоснования целесообразности применения в конкурсных проектах зданий инженерных, энергосберегающих, архитектурно-планировочных и других решений, влияющих на теплотребление здания на отопление и охлаждение;
- выполнения требований рейтинговых систем оценки «зеленых» зданий о необходимости повышения энергетической эффективности зданий.

2.3 Математическая модель наружного климата

2.3.1 Требования к значениям параметров наружного климата

Влияние наружного климата на тепловой режим здания и величину теплотребления здания на отопление и охлаждение заключается в комплексном воздействии отдельных параметров наружного климата.

В диссертационной работе математическая модель наружного климата для оценки его влияния на тепловой режим здания и величину теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах должна содержать значения следующих параметров наружного климата:

- температуры наружного воздуха, t_n , °C;
- интенсивности прямой и рассеянной солнечной радиации на различно ориентированные поверхности, $I_{пр}$ и I_r соответственно, Вт/м²;
- скорости и направления ветра, v_n , м/с.

К математической модели могут быть предъявлены следующие требования:

- значения параметров наружного климата должны быть выбраны из многолетней климатологической базы посредством ее статистической обработки;
- выбор значений параметров наружного климата должен осуществляться с учетом их взаимных корреляций;
- параметры наружного климата должны быть представлены почасовыми значениями в годовом цикле для возможности учета нестационарности процессов теплопередачи в ограждающих конструкциях и режима эксплуатации помещения;
- при необходимости должны быть «сглажены» скачкообразные изменения почасовых значений параметров наружного климата в годовом цикле;
- для удобства использования значения параметров наружного климата должны быть представлены в электронном виде.

2.3.2 Представление параметров наружного климата в формате «типового года»

В настоящее время известны отечественные и зарубежные методы разработки таких математических моделей наружного климата, соответствующих вышеперечисленным требованиям, которые называются «типовой метеорологический год», «типовой год», «справочный год» и т.д. В

диссертационной работе такие математические модели наружного климата обозначены как «типовой год».

Примерами «типового года» являются:

- разработанный НИИ Строительной физики для Москвы и Московской области, Россия, «типовой год» [42,43];
- разработанный National Climatic Data Center для США Typical metrological year, TMY (TMY2, TMY3) [116];
- разработанный ASHRAE для США Weather year for energy calculation, WYEC (WYEC2) [109];
- разработанный Numerical Logics и Environment Canada для Канады Canadian Weather for Energy Calculations, CWEC [91];
- разработанный Meteorological Institute для Финляндии, г. Хельсинки, Finnish test year [110];
- разработанный ASHRAE для 227 городов по всему миру (в том числе для городов России, таких как Москва, Санкт-Петербург, Архангельск, Самара) International Weather Year for Energy Calculation, IWEC [113].

Анализ отечественных и зарубежных «типовых годов» показал, что, несмотря на выявленные различия, можно выделить основные этапы, которые характерны большинству методов разработки «типовых годов».

Первый этап заключается в определении границ многолетней климатологической базы, т.е. периода измерений, на основе которого будут определяться значения параметров наружного климата «типового года». Как правило, границы включают в себя от 15 до 30 лет измерений и максимально приближены к настоящему времени для учета изменения климата за последние 15–30 лет [91,92,109,110].

Значения измеренных параметров наружного климата предоставляются метеостанциями и актинометрическими станциями, расположенными в непосредственной близости от географического объекта, для которого разрабатывается «типовой год». Для некоторых параметров наружного климата могут отсутствовать измеренные значения. В этом случае значения для таких

параметров наружного климата определяются расчетно с учетом измеренных значений других параметров наружного климата [7,32].

Второй этап заключается в выборе параметров наружного климата, значения которых будут представлены в «типовом году». Как правило, «типовой год» содержит почасовые значения следующих параметров наружного климата:

- температуры наружного воздуха по сухому термометру ($^{\circ}\text{C}$);
- температуры точки росы ($^{\circ}\text{C}$);
- относительной влажности наружного воздуха (%);
- атмосферного давления (кПа);
- суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации на горизонтальную поверхность ($\text{Вт}/\text{м}^2$);
- прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность ($\text{Вт}/\text{м}^2$);
- рассеянной солнечной радиации на горизонтальную поверхность ($\text{Вт}/\text{м}^2$);
- направления ветра (градусы);
- скорости ветра ($\text{м}/\text{с}$);
- осадков (мм);
- и др.

Третий этап разработки «типового года» является ключевым. Суть третьего этапа заключается в выборе «типовых месяцев», значения параметров наружного климата которых максимально приближены к их средним значениям за весь период измерений.

Выбор «типовых месяцев» может осуществляться различными методами, среди которых основными являются:

- Метод весовых коэффициентов. Этот метод использовался при разработке ТМУ (ТМУ2, ТМУ3) [116], WYEC (WYEC2) [109], IWEC [113].
- Метод ранжирования. Этот метод использовался при разработке «типового года» для Москвы и Московской области [42,43].

Совокупность «типовых месяцев» представляет собой «типовой год».

Четвертый этап формирования «типового года» заключается в соединении «типовых месяцев» в соответствующей последовательности в «типовой год».

Для исключения скачкообразных изменений значений параметров наружного климата при соединении «типовых месяцев», последние 6 или 8 ч. каждого месяца и первые 6 или 8 ч. каждого последующего месяца корректируются методом кубического сплайна [116].

При разработке математической модели теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах учтена возможность использования как отечественных, так и зарубежных «типовых годов». Такая необходимость обусловлена тем обстоятельством, что к настоящему моменту отечественный «типовой год» разработан только для Москвы и Московской области, поэтому отсутствие возможности использования зарубежных «типовых годов», разработанных для других городов России, значительно ограничило бы область применения разработанной математической модели теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах в отечественной практике проектирования.

С учетом вышесказанного, целесообразно проводить расчеты теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах для Москвы и Московской области с использованием «типового года» №5, разработанного НИИ Строительной физики [42,43], а для других городов России – с использованием «типового года» IWEC, разработанного ASHRAE [113].

2.4 Характеристики теплового режима помещений

Как правило, при оценке теплотребления на отопление и охлаждение жилых и общественных (офисных и административных) зданий учитывают следующие основные характеристики теплового режима помещений:

- температуру воздуха помещения;

- бытовые или технологические тепловыделения;
- величину вентиляционного воздухообмена.

В существующих на сегодняшний день отечественных методах расчета теплопотребления здания на отопление и охлаждение используются усредненные значения вышеперечисленных характеристик теплового режима помещений за период отопления, охлаждения или за год [27,64]. Такой подход оправдан в случае, когда метод расчета теплопотребления на отопление и охлаждение опирается на математическую модель стационарного теплового баланса помещений здания, но является нецелесообразным при наличии возможности учета почасовых изменений параметров наружного климата и характеристик теплового режима помещений.

Вместе с тем учет почасовых изменений характеристик теплового режима помещений при оценке теплопотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах осложняется тем обстоятельством, что эти параметры зависят не только от технологического назначения помещений здания, но и от деятельности людей, находящихся в помещениях, и времени их присутствия в этих помещениях.

Время присутствия людей в помещениях является основным фактором, в соответствии с которым определяются основные характеристики теплового режима помещений. Например, в течение рабочего времени суток в офисном помещении имеются технологические тепловыделения, обусловленные присутствием сотрудников, работой компьютеров, оргтехники, осветительных приборов и т.д. В это же время суток бытовые тепловыделения в помещении жилого здания могут быть незначительными, поскольку жильцы могут отсутствовать и, соответственно, могут быть выключены бытовые приборы, телевизор и т.д.

С целью оценки вероятности присутствия жильцов или сотрудников в помещениях и выполняемых ими действий в течение суток, влияющих на теплопотребление здания на отопление и охлаждение, за рубежом проводятся специальные исследования [93,97,101,102,105,106,114], по результатам которых

создаются модели, так называемые « типовые профили », характеризующие почасовые изменения в течение суток величины бытовых или технологических тепловыделений, величины вентиляционного воздухообмена, значений температуры воздуха помещений различного технологического назначения и других характеристик теплового режима помещений. « Типовые профили » содержат значения характеристик теплового режима помещения для каждого часа суток.

Как правило, для помещений жилых и общественных (офисных и административных) зданий можно выделить несколько « типовых профилей », например, характеристики теплового режима для помещения офисного здания для рабочего дня будут представлены одним « типовым профилем », выходного дня – другим « типовым профилем », предпраздничного дня с укороченным графиком работы – третьим « типовым профилем » и так далее. Чередование различных « типовых профилей » в течение года определяется в соответствии с производственным календарем.

В настоящее время известны зарубежные « типовые профили », разработанные с учетом национальных культурных, социальных, климатических и других особенностей разных стран [93,97,102,105,114]. Разработка отечественных « типовых профилей » для жилых и общественных (офисных и административных) зданий должна осуществляться на основе специальных исследований времени присутствия людей, принадлежащих к различным группам населения, и их деятельности в помещениях зданий в течение года.

Несмотря на указанные выше обстоятельства, для расчета теплотребления жилых и общественных (офисных и административных) зданий на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах в диссертационной работе предпринята попытка разработки « типовых профилей » на основе зарубежного опыта и требований к характеристикам теплового режима помещений, установленных в действующих отечественных нормативных документах.

2.4.1 Характеристики теплового режима помещений жилых зданий

Проведенные за рубежом исследования [117] среди различных групп населения показали, что, в отличие от помещений общественных (офисных и административных) зданий, где время присутствия людей регламентировано, точное время присутствия людей в жилых помещениях определить достаточно сложно. Существенные различия во времени присутствия людей в жилых помещениях (рисунок 2.1) и их режимов дня (рисунок 2.2) и как следствие, различие характеристик теплового режима этих помещений, в значительной степени влияют на теплотребление зданий.

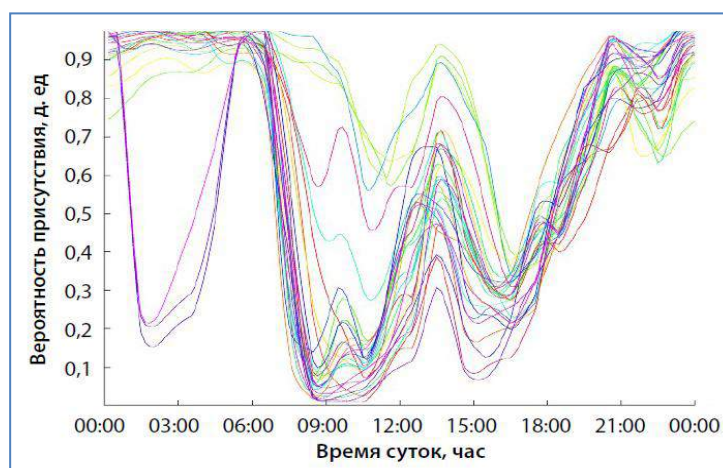


Рисунок 2.1 – Графики изменения вероятности присутствия 30 людей, принадлежащих к различным группам населения, в различных жилых зданиях в течение суток [117]

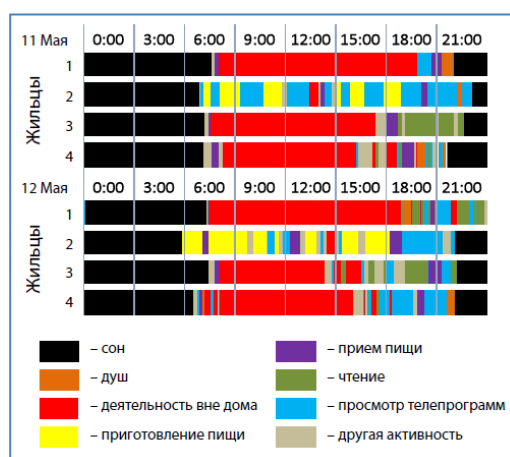


Рисунок 2.2 – Режим дня четырех жильцов одной квартиры 11-12 мая [119]

Вместе с тем, для расчета теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах представляется возможным выделить

характерные периоды в течение года, для которых характеристики теплового режима жилых помещений можно принять одинаковыми и на основании этого разработать « типовые профили ».

Для помещений жилых зданий целесообразно разработать « типовые профили », для рабочего и выходного дней. При этом принимается допущение о времени присутствия людей в жилом помещении: в рабочие дни с 20:00 до 8:00 ч., в выходные дни с 00:00 до 24:00 ч.

Для разработки « типовых профилей » рассмотрены основные характеристики теплового режима жилого помещения.

Температура воздуха помещения.

На основании предварительных исследований теплотребления жилых зданий в годовом цикле [70], сделано предположение, что в некоторые месяцы холодного периода года имеют место часы, когда вместо ожидаемой необходимости отопления, возможна необходимость охлаждения помещения, а в некоторые месяцы теплого периода года имеют место часы, когда вместо ожидаемой необходимости охлаждения, возможна необходимость отопления помещения. С учетом данного обстоятельства, для оценки возможного теплотребления здания в холодный период года на отопление значение температуры воздуха жилого помещения принимается равным минимальному из оптимальных значений плюс 20°C, для оценки возможного теплотребления здания на охлаждение – максимальному из допустимых значений плюс 24°C, согласно [11]. Значение температуры воздуха жилого помещения в теплый период года для оценки возможного теплотребления здания на отопление принимается равным минимальному из допустимых значений плюс 20°C, для оценки возможного теплотребления здания на охлаждение – максимальному из оптимальных значений, плюс 25°C, согласно [11].

Величина вентиляционного воздухообмена.

При разработке « типовых профилей » рабочего и выходного дней для жилого помещения величина вентиляционного воздухообмена принимается из расчета 3 м³/ч на 1 м² площади пола при заселенности менее 20 м² общей

площади квартиры на человека и из расчета $0,35 \text{ ч}^{-1}$, но не менее $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на человека, при заселенности более 20 м^2 общей площади квартиры на человека [65].

Согласно [68], допускается снижение кратности воздухообмена в жилых помещениях до $0,2 \text{ ч}^{-1}$ в часы, когда помещение не эксплуатируется.

С учетом вышеперечисленных обстоятельств, для жилых помещений предусмотрены варианты «типовых профилей» рабочего дня с постоянной и переменной величинами вентиляционного воздухообмена в суточном и годовом циклах.

Бытовые тепловыделения.

Бытовые тепловыделения в помещениях жилых зданий имеют значительное влияние на величину теплотребования здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах. Источниками бытовых тепловыделений в помещениях жилых зданий являются жильцы, бытовая техника, компьютеры, осветительные приборы.

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике проектирования известно несколько подходов к учету бытовых тепловыделений при расчете теплотребования жилых зданий на отопление и охлаждение в годовом цикле.

В отечественной практике проектирования, согласно [64], величину бытовых тепловыделений в помещениях жилых зданий рекомендуется принимать постоянной в диапазоне значений от 10 до 17 Вт/м^2 в зависимости от расчетной заселенности квартир. Как правило, такой подход применяется в методах расчета, опирающихся на стационарную математическую модель теплового баланса жилых зданий.

В зарубежной практике проектирования используются почасовые изменения величины бытовых тепловыделений в течение суток, т.е. « типовые профили » для рабочего и выходного дней. Такой подход применяется в методах расчета, опирающихся на математическую модель нестационарного теплового баланса помещений жилых зданий.

На сегодняшний день имеет место большое разнообразие «типовых профилей» почасовых изменений бытовых тепловыделений для отдельных помещений квартир или для квартир жилых зданий.

Например, в [98], рекомендуется принимать величину бытовых тепловыделений в помещениях жилых зданий по таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Величина бытовых тепловыделений в помещениях жилых зданий, Вт/м²

Дни недели	Часы	Бытовые тепловыделения, Вт/м ²	
		жилая комната и кухня	жилые комнаты (например, спальни)
С понедельника по пятницу	07.00 – 17.00	8,0	1,0
	17.00 – 23.00	20,0	1,0
	23.00 – 07.00	2,0	6,0
Суббота и воскресенье	07.00 – 17.00	8,0	2,0
	17.00 – 23.00	20,0	4,0
	23.00 – 07.00	2,0	6,0

В соответствии с [105], почасовые значения бытовых тепловыделений в квартирах жилых зданий следует принимать в соответствии с графиками, представленными на рисунке 2.3 и рисунке 2.4.



Рисунок 2.3 – Почасовые значения бытовых тепловыделений от жильцов в квартире жилого здания, Вт



Рисунок 2.4 – Почасовые значения бытовых тепловыделений от используемой бытовой техники в квартире жилого здания, Вт

В результате анализа [101,98,105] были выявлены значительные различия между почасовыми значениями бытовых тепловыделений разных «типовых профилей» для жилых зданий. Данное обстоятельство объясняется тем, что рассмотренные «типовые профили» бытовых тепловыделений опираются на разные методики и результаты разных исследований.

В диссертационной работе бытовые тепловыделения в помещениях жилых зданий учитываются двумя способами: как постоянная величина, равная 17 Вт/м^2 в соответствии с [64]; как переменная величина в суточном и годовом циклах. Почасовые изменения бытовых тепловыделений для жилого помещения в рабочий и выходной дни были определены с учетом допущения о времени присутствия людей в жилом помещении. При этом предполагается, что величина бытовых тепловыделений равна 0 Вт/м^2 в часы, когда люди в жилом помещении отсутствуют. Почасовые изменения бытовых тепловыделений в часы, когда люди присутствуют в жилом помещении, принимались таким образом, чтобы среднечасовое годовое значение величины бытовых тепловыделений составило 17 Вт/м^2 . Почасовые значения бытовых тепловыделений в жилом помещении в рабочие и выходной дни представлены соответственно на рисунках 2.5 и 2.6.

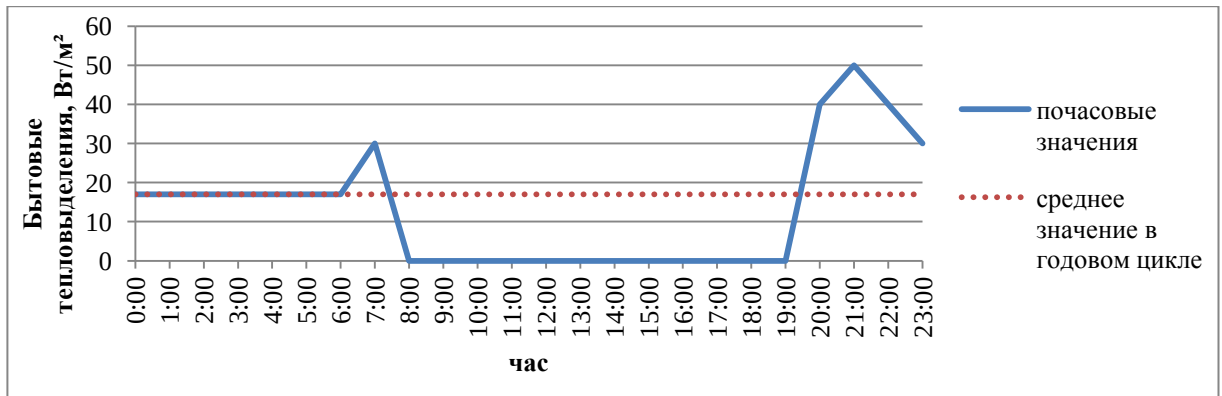


Рисунок 2.5 – График почасовых изменений величины бытовых тепловыделений в жилом помещении в рабочие дни, Вт/м²

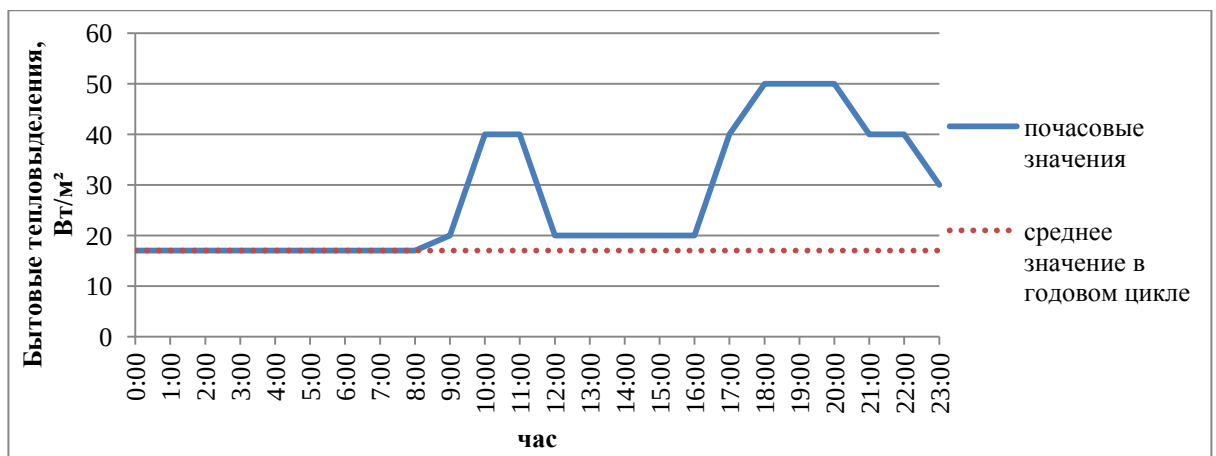


Рисунок 2.6 – График почасовых изменений величины бытовых тепловыделений в жилом помещении в выходные дни, Вт/м²

Таким образом, разработаны «типовые профили» рабочего и выходного дней для помещения жилого здания:

- **«типовой профиль» для жилого помещения №1** для рабочего и выходного дней холодного периода года при постоянной величине бытовых тепловыделений, согласно [64], и величине вентиляционного воздухообмена, согласно [65], в суточном и годовом циклах.
- **«типовой профиль» для жилого помещения №2** для рабочего дня холодного периода года при переменных значениях бытовых тепловыделений и величины вентиляционного воздухообмена в суточном и годовом циклах.
- **«типовой профиль» для жилого помещения №3** для выходного дня холодного периода года при переменной величине бытовых тепловыделений в суточном и годовом циклах.

- **«типовой профиль» для жилого помещения №4** для рабочего и выходного дней теплого периода года при постоянной величине бытовых тепловыделений и величине вентиляционного воздухообмена, согласно [65], в суточном и годовом циклах.
- **«типовой профиль» для жилого помещения №5** для рабочего дня теплого периода года при переменных значениях бытовых тепловыделений и величины вентиляционного воздухообмена в суточном и годовом циклах.
- **«типовой профиль» для жилого помещения №6** для выходного дня теплого периода года при переменной величине бытовых тепловыделений в суточном и годовом циклах.

Почасовые значения характеристик теплового режима жилого помещения для указанных выше «типовых профилей» приведены в приложении 1.

2.4.2 Характеристики теплового режима помещений общественных зданий

В связи с тем, что время присутствия сотрудников и количество рабочих мест в помещениях общественных (офисных и административных) зданий известно, а рабочие и выходные дни определяются в соответствии с производственным календарем, представляется возможным разработать « типовые профили» для офисного помещения для рабочего и выходного дней. При этом принимается допущение о том, что сотрудники присутствуют в офисном помещении только в рабочие дни недели с 9:00 до 18:00 ч.

Для разработки «типовых профилей» рассмотрены основные характеристики теплового режима помещений общественных (офисных и административных) зданий.

Температура воздуха помещения.

На основании предварительных исследований теплотребления общественных (офисных и административных) зданий в годовом цикле [38,39,85], сделано предположение, что в некоторые месяцы холодного периода года имеют место часы, когда вместо ожидаемой необходимости отопления,

возможна необходимость охлаждения помещения, а в некоторые месяцы теплого периода года имеют место часы, когда вместо ожидаемой необходимости охлаждения, возможна необходимость отопления помещения. С учетом данного обстоятельства, при разработке «типовых профилей» для рабочего и выходного дней офисного помещения значение температуры воздуха помещения для оценки возможного теплоснабжения здания на отопление в холодный период года принимается равным минимальному из оптимальных плюс 19°C , для оценки возможного теплоснабжения здания на охлаждение – максимальному из допустимых значений плюс 23°C , согласно [11]. Значение температуры воздуха офисного помещения в теплый период года для оценки возможного теплоснабжения здания на отопление принимается равным минимальному из допустимых значений плюс 18°C , для оценки возможного теплоснабжения здания на охлаждение – максимальному из оптимальных значений плюс 25°C , согласно [11].

Величина вентиляционного воздухообмена.

При разработке «типового профиля» офисного помещения величина вентиляционного воздухообмена в рабочее время принимается из расчета $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ на человека, согласно [65], а в часы, когда помещение не эксплуатируется из расчета кратности воздухообмена $0,2 \text{ ч}^{-1}$, согласно [68].

В современных общественных (офисных и административных) зданиях величина нормативного вентиляционного воздухообмена составляет $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ на человека для рабочих комнат и кабинетов, $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ для приемных и переговорных $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на человека для залов совещаний и т.д.

Технологические тепловыделения.

В общественных (офисных и административных) зданиях источниками технологических тепловыделений являются сотрудники, осветительные приборы и офисная техника (компьютеры, оргтехника, и т.д.), при этом последние вносят наибольший вклад в формирование теплового режима помещений офисных зданий. Исследования, проведенные для различных офисных зданий, расположенных в семи странах [114], показали, что расход электроэнергии

осветительными приборами и офисной техникой может составлять до 50% от суммарного потребления электроэнергии в здании, рисунок 2.7.

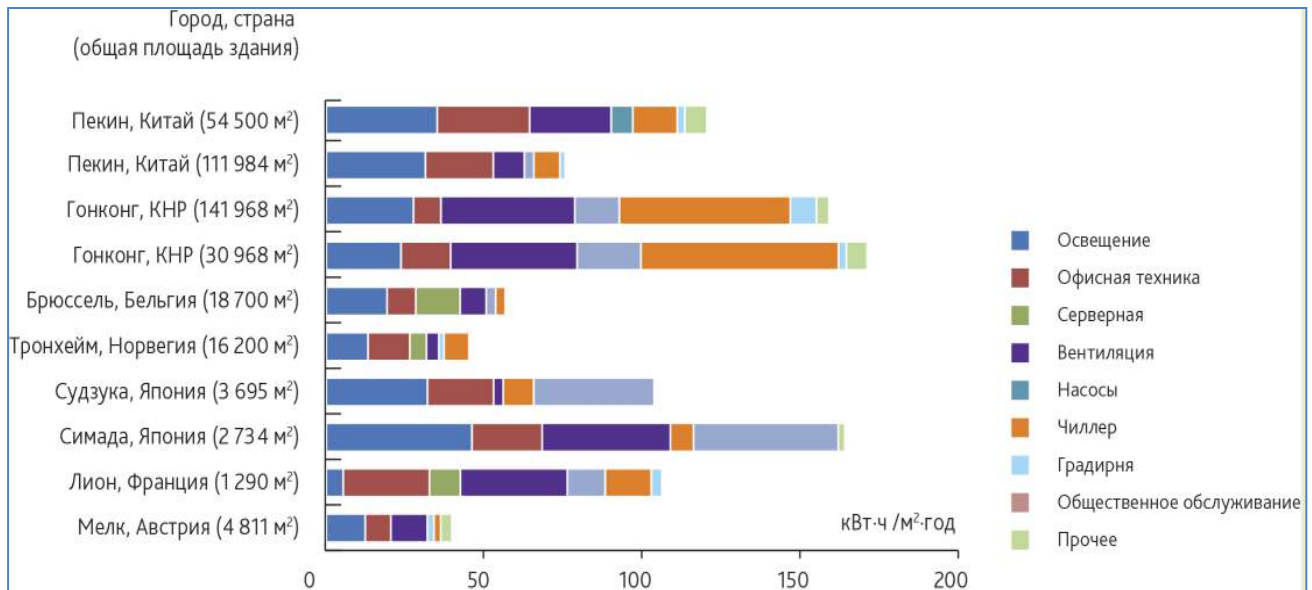


Рисунок 2.7 – Расход электроэнергии в офисных зданиях, кВт·ч/м² год

Как правило, время работы основной части осветительных приборов, компьютеров и оргтехники офисных помещений совпадает с графиком работы сотрудников, который также может отличаться для различных офисных помещений. На рисунке 2.8 представлены графики изменения вероятности присутствия сотрудников в течение рабочего дня в пяти офисных помещениях в одном из офисных зданий Австрии [106].



Рисунок 2.8 – Вероятность присутствия сотрудников в пяти офисных помещениях в одном из офисных зданий Австрии, д.ед.

Например, согласно [64], величину технологических тепловыделений в офисных помещениях следует принимать с учетом тепловыделений от людей (90 Вт на человека), осветительных приборов, оргтехники (10 Вт/м²) и времени присутствия сотрудников в здании.

В соответствии с [98], величину технологических тепловыделений рекомендуется принимать в соответствии с таблицей 2.2.

Таблица 2.2 – Величина технологических тепловыделений в помещениях общественных (офисных и административных) зданий, Вт/м²

Дни недели	Часы	Технологические тепловыделения, Вт/м ²	
		офисные помещения	Прочие комнаты, прихожие, коридоры
С понедельника по пятницу	07.00 – 17.00	20,0	8,0
	17.00 – 23.00	2,0	1,0
	23.00 – 07.00	2,0	1,0
Суббота и воскресенье	07.00 – 17.00	2,0	1,0
	17.00 – 23.00	2,0	1,0
	23.00 – 07.00	2,0	1,0

Вместе с тем, величина технологических тепловыделений в офисных помещениях зависит от количества сотрудников, компьютеров, оргтехники, т.е. от количества рабочих мест в офисном помещении.

В последнее время проводятся исследования по определению величины лучистых и конвективных тепловыделений от компьютеров и оргтехники [103,118], на основе которых можно определить величину технологических тепловыделений в офисных помещениях. Анализ результатов исследований [103] показал, что величина технологических тепловыделений, источниками которых являются компьютеры и оргтехника, в значительной степени зависит от их мощности и класса энергетической эффективности.

В таблице 2.3 приведены значения технологических тепловыделений от различных источников в помещениях офисных зданий, [39]:

Таблица 2.3– Технологические тепловыделения в офисных помещениях, Вт/м²

Источники тепловыделений	Площадь, приходящаяся на одного сотрудника, м ²		
	6	8	10
Тело человека	15,0	11,3	9,0
Компьютер с периферией	25–43	19–31	15–25
Осветительные приборы	15–25	15–25	15–25
Оргтехника (принтеры, копировальные машины, плоттеры, кулеры и т. п.)	5–10	4–8	3–6
Всего	60–90	50–75	40–65

В диссертационной работе величина технологических тепловыделений принимается в зависимости от количества рабочих мест и времени присутствия сотрудников в офисном помещении. Предполагается, что площадь пола, приходящаяся на одного сотрудника составляет 8 м². При этом тепловыделения от тела человека принимаются равными 90 Вт, от компьютера с периферией 200 Вт, от осветительных приборов 25 Вт/м². На рисунке 2.10 представлен график изменения величины технологических тепловыделений для рассматриваемого офисного помещения для рабочего дня.



Рисунок 2.9 – График почасовых изменений величины технологических тепловыделений в офисном помещении в рабочие дни, Вт/м²

Таким образом, разработаны « типовые профили » для офисного помещения для рабочего и выходного дней:

- «**типовой профиль**» для **офисного помещения №7** для рабочего дня холодного периода года.
- «**типовой профиль**» для **офисного помещения №8** для выходного дня холодного периода года.
- «**типовой профиль**» для **офисного помещения №9** для рабочего дня теплого периода года.
- «**типовой профиль**» для **офисного помещения №10** для выходного дня теплого периода года.

Почасовые значения характеристик теплового режима офисного помещения для указанных выше «типовых профилей» приведены в приложении 1.

2.5 Математическая модель лучистого и конвективного теплообмена в помещениях

Математическая модель лучистого теплообмена в помещении в задачах отопления, вентиляции, кондиционирования и строительной теплофизики предполагает отдельный учет длинноволновой радиации, которую излучают слабонагретые внутренние поверхности ограждающих конструкций, и коротковолновой радиации, поступающей в помещение от осветительных приборов и через заполнения световых проемов вследствие воздействия солнечной радиации. Коротковолновая радиация определяется как сумма потоков коротковолновой радиации, падающей на поверхность непосредственно от источника, и потоков коротковолновой радиации, отраженной от других поверхностей в помещении [49, 69].

Расчет лучистого теплообмена в помещении осуществляется с учетом допущений, изложенных в работах [49, 69].

Лучистый теплообмен между поверхностью (или ее характерной частью), имеющей номер i ($i=1,2,3,\dots,n$), и другими поверхностями помещения, имеющими номер j ($j=1,2,3,\dots,n; j \neq i$), определяется по формуле, Вт, [49, 69]:

$$Q_{li} = \sum_j c_0 \varepsilon_{i-j} \left[\left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_j + 273}{100} \right)^4 \right] \varphi_{i-j} F_i, \quad (2.1)$$

где c_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м²·К⁴);

ε_{i-j} – приведенный коэффициент излучения при теплообмене между серыми телами, определяется согласно [69];

t_i – температура поверхности (или ее характерной части), имеющей номер i , °С;

t_j – температура поверхности (или ее характерной части), имеющей номер j , °С;

φ_{i-j} – коэффициент облученности с поверхности (или ее характерной части), имеющей номер i , на поверхность (или ее характерную часть), имеющую номер j , при их произвольном расположении, определяется согласно [69];

F_i – площадь поверхности, имеющей номер i , м².

Для инженерных расчетов лучистого теплообмена между поверхностью (или ее характерной частью) и другими поверхностями помещения в формуле (2.1) заменяют разность четвертых степеней абсолютных температур разностью температур, в первой степени, Вт, [49, 69]:

$$Q_{li} = \sum_j c_0 \varepsilon_{i-j} b_{i-j} (t_i - t_j) \varphi_{i-j} F_i, \quad (2.2)$$

где $c_0, \varepsilon_{i-j}, t_i, t_j, \varphi_{i-j}, F_i$ – то же, что в формуле (2.1);

b_{i-j} – корректирующий коэффициент, определяется согласно [69].

Поскольку в помещении находятся мебель и оборудование, расположение которых неизвестно, при расчете лучистого теплообмена в помещении принимается некоторая стандартная модель помещения, описание которой приведено в [72].

Конвективный теплообмен в помещении рассчитывается как алгебраическая сумма тепловыделений от внутренних конвективных источников

теплоты и конвективных тепловых потоков между внутренними поверхностями ограждающих конструкций, мебели, оборудования и воздухом, омывающим эти поверхности, которые определяются по формуле, Вт, [49, 69]:

$$Q_{ki} = \alpha_{ki}(\tau_{в.н.i} - t_{в})F_i, \quad (2.3)$$

где α_{ki} — коэффициент конвективного теплообмена между внутренней поверхностью ограждающей конструкции и омывающим ее воздухом, Вт/(м²·°C), определяется согласно [69];

$\tau_{в.н.i}$ — температура внутренней поверхности ограждающей конструкции, °C;

$t_{в}$ — температура воздуха помещения, °C;

F_i — площадь ограждающей конструкции, м².

С учетом вышесказанного, уравнение теплового баланса внутренней поверхности ограждающей конструкции имеет вид:

$$q_i = \alpha_{ki}(\tau_{в.н.i} - t_{в}) + \alpha_{л}(\tau_{в.н.i} - t_{окр}), \quad (2.4)$$

где α_{ki} , $t_{в}$, $\tau_{в.н.i}$ — то же, что в формуле (2.3);

$\alpha_{л}$ — коэффициент лучистого теплообмена между поверхностью (или ее характерной частью), имеющей номер i ($i=1,2,3,\dots,n$), и другими поверхностями помещения, имеющими номер j ($j=1,2,3,\dots,n$; $j \neq i$), определяется по формуле, Вт/(м²·°C), [49, 69]:

$$\alpha_{л} = \sum_j c_0 \varepsilon_{i-j} b_{i-j} \varphi_{i-j}, \quad (2.5)$$

где c_0 , ε_{i-j} , b_{i-j} , φ_{i-j} — то же, что в формуле (2.1);

$t_{окр}$ — температура окружающих поверхностей, °C, вычисляется по формуле:

$$t_{\text{окр}} = \frac{\sum_i t_i \cdot F_i}{\sum_i F_i}, \quad (2.6)$$

где t_i — то же, что в формуле (2.1);

F_i — то же, что в формуле (2.3).

2.6 Математическая модель теплопередачи через ограждающие конструкции

2.6.1 Светонепроницаемые ограждающие конструкции

В настоящее время широкое распространение получили многослойные ограждающие конструкции с фасадными системами, такими как [13]:

- теплоизоляционный фасад с тонким штукатурным слоем;
- облицовка кирпичом или другими штучными материалами;
- фасады с вентилируемым воздушным зазором.

Для ограждающих конструкций наружных стен с такими фасадными системами характерно чередование эффективных утеплителей и тяжелых конструктивных слоев, а также наличие теплопроводных включений (металлических связей). Процесс теплопередачи в таких ограждающих конструкциях трехмерен, поскольку распределение температуры в этих ограждающих конструкциях определяется перпендикулярными плоскости стены потоками теплоты и потоками вдоль плоскости стены [33]. Вместе с тем, благодаря работам В.Г. Гагарина получил широкое практическое применение метод учета теплопроводных включений посредством коэффициента теплотехнической однородности ограждающих конструкций [8], характеризующего долю приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с теплопроводными включениями от условного сопротивления теплопередаче этой конструкции без учета теплопроводных включений [33]. Таким образом, при определении теплопередачи через наружные ограждающие конструкции можно сделать допущение, что

температурное поле таких ограждающих конструкций является одномерным, теплофизические характеристики материалов слоев не зависят от температуры наружного воздуха и являются постоянными в пределах слоя, а теплопередача описывается уравнением теплопроводности с разрывными коэффициентами [4, 49, 69]:

$$c(y)\gamma(y) \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(y) \frac{\partial t}{\partial y} \right] \text{ при } 0 < y < \delta, \quad (2.7)$$

где $c(y)\gamma(y)$ – произведение удельной теплоемкости материала слоя ограждающей конструкции, Вт·ч/(кг·°C), на его плотность, кг/м³;

$\lambda(y)$ – коэффициент теплопроводности материала слоя ограждающей конструкции, Вт/(м·°C);

δ – толщина ограждающей конструкции, м.

Граничные условия для уравнения (2.7) имеют вид, [4, 49, 69]:

- для наружных поверхностей ограждающих конструкций без вентилируемой воздушной прослойки:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_{к.н}(\tau_{н.н.i} - t_n) + \alpha_{л.н}(\tau_{н.н.i} - t_{н.окр}) + \rho I, \quad (2.8)$$

где $\alpha_{к.н}$ – коэффициент конвективного теплообмена между наружной поверхностью ограждающей конструкции и омывающим ее воздухом, Вт/(м²·°C), определяется согласно [4];

$\tau_{н.н.i}$ – температура наружной поверхности ограждающей конструкции, °C;

t_n – температура наружного воздуха, °C;

$\alpha_{л.н}$ – коэффициент лучистого теплообмена между наружной поверхностью ограждающей конструкции и «окружением», Вт/(м²·°C), определяется согласно [69];

$t_{н.окр}$ – температура «окружения», °C, определяется согласно [69];

ρ – коэффициент поглощения суммарной солнечной радиации наружным слоем ограждающей конструкции, д. ед, определяется согласно [64];

I – значение суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации, Вт/м².

- для наружных поверхностей ограждающих конструкций с вентилируемой воздушной прослойкой, граничные условия для уравнения 2.7 принимаются согласно [69].

- для внутренних поверхностей ограждающих конструкций, [4, 49, 69]:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_{ki}(t_v - \tau_{в.н.i}) + \alpha_l(t_{окр} - \tau_{в.н.i}) + q_{сол} + q_l, \quad (2.9)$$

где α_{ki} , t_v , $\tau_{в.н.i}$, α_l — то же, что в формуле (2.3);

$t_{окр}$ – температура окружающих поверхностей, °С, определяется по формуле (2.6);

$q_{сол}$ – сквозные теплопоступления через заполнения световых проемов вследствие воздействия солнечной радиации, которые учитываются в тепловом балансе помещения как равномерно распределенные по площади всех внутренних поверхностей ограждающих конструкций источники теплопоступлений с мощностью, Вт/м², [49, 69]:

$$q_{сол} = \frac{\sum Q_{скв}}{\sum F_i}, \quad (2.10)$$

где $\sum Q_{скв}$ – сумма сквозных теплопоступлений вследствие воздействия солнечной радиации через заполнения световых проемов, Вт, определяется по формуле (2.17);

$\sum F_i$ – площадь внутренних поверхностей ограждающих конструкций, включая заполнения световых проемов, м²;

q_l – лучистый тепловой поток, падающий на внутреннюю поверхность ограждающей конструкции от внутренних источников лучистых тепловыделений, Вт/м².

Уравнение (2.9) можно представить в виде, [49, 69]:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_{\epsilon}^{ysl} (t_{\epsilon}^{ysl} - \tau_{в.н.и}) \quad , \quad (2.11)$$

где α_{ϵ}^{ysl} – условный коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C), определяется по формуле, [49, 69]:

$$\alpha_{\epsilon}^{ysl} = \alpha_{\kappa i} + \alpha_l = \alpha_{\kappa} + \sum_j c_0 \epsilon_{i-j} b_{i-j} \varphi_{i-j} \quad , \quad (2.12)$$

t_{ϵ}^{ysl} – условная температура воздуха помещения, °C, определяется по формуле, [49, 69]:

$$t_{\epsilon}^{ysl} = \frac{\alpha_{\kappa i} t_{\epsilon} + \sum_j c_0 \epsilon_{i-j} b_{i-j} \varphi_{i-j} t_j + q_{сол} + q_l}{\alpha_{\epsilon}^{ysl}} \quad , \quad (2.13)$$

где $\alpha_{\kappa i}$ – то же, что в формуле (2.3);

$c_0, \epsilon_{i-j}, b_{i-j}, \varphi_{i-j}, t_j$ – то же, что в формуле (2.1).

Для расчета необходимо иметь начальные условия, относящиеся к ограждающим конструкциям и температуре воздуха помещения. Будем обозначать начальное условие температуры воздуха помещения как $t_{\epsilon} = t_{\epsilon,0}$ в начальный момент времени, а температуру в наружных ограждающих конструкциях будем рассчитывать по формуле, где температура наружного воздуха соответствует значению $t_n = t_{n,0}$ в начальный момент времени, [49, 69]:

$$t(y, 0) = t_n + \left(\left[\frac{1}{\alpha_{\kappa,н} + \alpha_{л,н}} - R(y) \right] (t_{\epsilon} - t_n) \right) / R_{огр} \quad , \quad (2.14)$$

где $t_n, \alpha_{к.н}, \alpha_{л.н}$ – то же, что в формуле (2.8);

$R(y)$ –сопротивление теплопередаче слоя ограждающей конструкции (от наружной поверхности ограждающей конструкции до рассматриваемой плоскости), $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

t_θ –то же, что в формуле (2.3);

R_{opr} – приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Для температуры внутренних ограждающих конструкций, разделяющих помещения с одинаковой температурой воздуха, начальное условие имеет вид, [49, 69]:

$$t(y, 0) = \text{const} = t_\theta^{\text{усл}} \quad , \quad (2.15)$$

где $t_\theta^{\text{усл}}$ – условная температура воздуха помещения, $^\circ\text{C}$, определяется по формуле (2.13).

2.6.2 Светопроницаемые ограждающие конструкции

Известные светопроницаемые ограждающие конструкции можно разделить на три типа, в зависимости от их конструктивных решений, влияющих на теплотехнические характеристики:

- светопроницаемые ограждающие конструкции с постоянными теплотехническими характеристиками;
- светопроницаемые ограждающие конструкции с изменяемыми теплотехническими характеристиками (например, с устройством межстекольных теплозащитных экранов, которые используются в холодный период года в ночное время);
- светопроницаемые ограждающие конструкции с вентилируемой воздушной прослойкой.

В диссертационной работе будут рассмотрены тепловые потоки через светопроницаемые ограждающие конструкций первых двух типов, поскольку определение тепловых потоков через светопроницаемые ограждающие конструкции с вентилируемой воздушной прослойкой представляет собой самостоятельную задачу.

Тепловой поток через светопроницаемые ограждающие конструкции вследствие разницы температур внутреннего и наружного воздуха определяется по формуле, Вт, [49, 69]:

$$Q_{ок.т} = \frac{1}{R_{ок}(\tau)} (t_g^{ycl} - t_n) F_{ок} \quad , \quad (2.16)$$

где $R_{ок}(\tau)$ – приведенное сопротивление теплопередаче заполнения светового проема, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

t_g^{ycl} – условная температура воздуха помещения, определяется по формуле (2.13);

t_n – то же, что в формуле (2.8);

$F_{ок}$ – площадь заполнения светового проема, м^2 ;

Математическое описание тепlopоступлений вследствие воздействия солнечной радиации через светопроницаемые ограждающие конструкции представляет собой достаточно сложные системы уравнений [57].

В диссертационной работе тепlopоступления вследствие воздействия солнечной радиации делятся на сквозные и поглощенные тепlopоступления, которые определяются соответственно по формулам, Вт, [49, 69]:

$$Q_{скв} = (I_{np} k_{1np}(\tau) + I_p k_{1p}(\tau)) (F_{ок} - F_{притв}) \quad , \quad (2.17)$$

$$Q_{ног} = (I_{np} k_{2np}(\tau) + I_p k_{2p}(\tau)) (F_{ок} - F_{притв}) \quad , \quad (2.18)$$

где $k_{I_{np}}(\tau)$, $k_{I_p}(\tau)$ – коэффициент сквозных теплопоступлений от прямой и рассеянной солнечной радиации соответственно;

$k_{2_{np}}(\tau)$, $k_{2_p}(\tau)$ – коэффициент поглощенных теплопоступлений от прямой и рассеянной солнечной радиации соответственно.

$F_{ок}$ – то же, что в формуле (2.16).

$F_{притв}$ – площадь притворов заполнения светового проема, м².

Коэффициенты $k_{I_{np}}(\tau)$, $k_{I_p}(\tau)$, $k_{2_{np}}(\tau)$, $k_{2_p}(\tau)$ определяются по данным производителей светопроницаемых ограждающих конструкций или по таблице 2.4, [51].

Таблица 2.4 – Коэффициенты поглощения и проникания солнечной радиации через светопроницаемые наружные ограждающие конструкции

Конструкция заполнения светового проема	Коэффициент проникания прямой солнечной радиации $k_{I_{np}}(\tau)$	Коэффициент поглощения рассеянной солнечной радиации $k_{I_p}(\tau)$	Коэффициент проникания прямой солнечной радиации $k_{2_{np}}(\tau)$	Коэффициент поглощения рассеянной солнечной радиации $k_{2_p}(\tau)$
Двойное остекление из обычного стекла	0,76	0,05	0,62	0,05
Двойное остекление, первое стекло обычное, второе теплопоглощающее	0,5	0,09	0,38	0,09
Двойное остекление, первое стекло обычное, второе теплоотражающее	0,54	0,07	0,4	0,07
Двойное остекление, наружная солнцезащита типа «венетцианская штора-жалюзи»	0,02	0,11	0,01	0,1
Двойное остекление, межстекольная солнцезащита типа «венетцианская штора-жалюзи»	0,02	0,33	0,01	0,29
Двойное остекление, внутренняя солнцезащита	0,02	0,49	0,01	0,41

типа «венецианская штора-жалюзи»				
-------------------------------------	--	--	--	--

Наряду с теплопередачей через светопроницаемые ограждающие конструкции имеют место теплотери или теплопоступления вследствие инфильтрации наружного воздуха или эксфильтрации воздуха помещения, Вт, определяемые по формуле, [49, 69]:

$$Q_{ок.ф} = c_{\phi} i_{ф.ок} (t_{\phi} - t_n) F_{ок} \quad , \quad (2.19)$$

где c_{ϕ} – удельная теплоемкость воздуха, Вт·ч/(кг·°C);

$i_{ф.ок}$ – количество воздуха, проходящего через единицу площади светопроницаемого ограждения, кг/(м²·ч);

t_{ϕ} – то же, что в формуле (2.3);

t_n – то же, что в формуле (2.8);

$F_{ок}$ – то же, что в формуле (2.16);

Тепловой поток между внутренней поверхностью заполнения светового проема и воздухом помещения, Вт, определяется по формуле, [49, 69]:

$$Q_{ок} = \alpha_k (\tau_{в.п} - t_{\phi}) F_{ок} \quad , \quad (2.20)$$

где α_k , t_{ϕ} – то же, что в формуле (2.3);

$F_{ок}$ – то же, что в формуле (2.16);

$\tau_{в.п}$ – температура внутренней поверхности заполнения светового проема, °C, определяемая по формуле, [49, 69]:

$$\tau_{в.п} = \frac{t_n - t_{\phi}^{ysl}}{R_{ок}(\tau) \alpha_{\phi}^{ysl}} + \frac{Q_{поз}}{\alpha_{\phi}^{ysl} (F_{ок} - F_{притв})} + t_{\phi}^{ysl} \quad , \quad (2.21)$$

где t_n – то же, что в формуле (2.8);

t_{ϵ}^{ysl} – условная температура воздуха помещения, определяется по формуле (2.13);

$R_{ок}(\tau), F_{ок}$ – то же, что в формуле (2.16);

α_{ϵ}^{ysl} – то же, что в формуле (2.12);

$F_{притв}, Q_{поз}$ – то же, что в формуле (2.18).

2.7 Математическая модель теплотерь или теплопоступлений в результате вентиляционного воздухообмена в помещении

Расход тепловой энергии на возмещение теплотерь в холодный период и теплопоступлений в теплый период в результате вентиляционного воздухообмена является одним из наиболее весомых составляющих теплотребления на отопление и охлаждение помещений здания. Теплотери или теплопоступления в результате вентиляционного воздухообмена $Q_{вент}$, Вт, определяются по формуле [49, 69]:

$$Q_{вент} = m(\tau) V c_{\epsilon} \gamma_{\epsilon} (t_{\epsilon} - t_{пр}(\tau)) \quad , \quad (2.22)$$

где $m(\tau)$ – кратность вентиляционного воздухообмена, $ч^{-1}$, принимается как переменное значение в суточном цикле в связи с регулированием величины воздухообмена по потребности или как постоянное значение при отсутствии возможности регулирования воздухообмена;

V – объем помещения, $м^3$;

c_{ϵ} – то же, что в формуле (2.19);

γ_{ϵ} – плотность воздуха, $кг/м^3$;

t_{ϵ} – то же, что в формуле (2.3);

$t_{пр}(\tau)$ – температура приточного воздуха, $^{\circ}C$.

Температура приточного воздуха может быть принята равной температуре наружного воздуха, например, при устройстве системы вентиляции с

естественным притоком, или равной температуре воздуха помещения, например, при системе вентиляции с механическим притоком.

2.8 Учет мебели в тепловом балансе помещения

Реальное помещение есть не только совокупность теплоемких ограждающих конструкций, но и теплоемкой мебели [67,70,83]. Оборудование и мебель можно рассматривать как дополнительную теплоемкость, повышающую теплоаккумулирующую способность помещения, которая определяется из уравнения [49, 69]:

$$c_{об} G_{об} \frac{dt_{об}}{dt} = \alpha_{об} (t_{об} - t_v), \quad (2.23)$$

где $c_{об}$ – удельная теплоемкость материала оборудования или мебели, Вт·ч/(кг·°C);

$G_{об}$ – масса оборудования или мебели, отнесенная к единице площади пола, кг/м²;

$t_{об}$ – температура оборудования или мебели, °C;

$\alpha_{об}$ – коэффициент теплоотдачи оборудования или мебели, учитывающий конвективный теплообмен с воздухом помещения и лучистый теплообмен с окружением, Вт/(м²·°C).

2.9 Обобщенное уравнение теплового баланса воздуха помещения

2.9.1 Учет энергосберегающих инженерных решений и технологий в уравнении теплового баланса воздуха помещений

В настоящее время известен широкий класс энергосберегающих инженерных решений и технологий, позволяющих снизить теплопотребление зданий на отопление и охлаждение. Однако, математические модели некоторых

энергосберегающих инженерных решений и технологий, например, таких как утилизация теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного воздуха посредством пластинчатого теплообменника, устройство комнатных контроллеров, автоматизированного узла управления, достаточно сложны, а для большинства других энергосберегающих инженерных решений и технологий отсутствуют математические модели.

Однако можно обратить внимание на следующие обстоятельства. Энергосберегающие инженерные решения и технологии в том или ином виде влияют на составляющие теплового баланса воздуха помещений: например, повышение теплозащитных характеристик наружных ограждающих конструкций позволяет обеспечить снижение трансмиссионных теплопотерь через эти конструкции, регулирование объема приточного воздуха по потребности позволяет сократить теплопотери или теплопоступления вследствие вентиляционного воздухообмена, или на тепловой баланс воздуха помещения в целом, например, устройство комнатных контроллеров позволяет снизить теплопотребление на отопление за счет регулирования температуры воздуха по потребности.

Таким образом, показателем эффективности применения энергосберегающего инженерного решения или технологии является снижение теплопотребления здания на отопление или охлаждение по отношению к теплопотреблению здания на отопление или охлаждение до внедрения этого энергосберегающего инженерного решения или технологии. В общем виде данный показатель можно представить формулой:

$$\alpha = 1 - \frac{Q_{от/ох2}}{Q_{от/ох1}}, \quad (2.24)$$

где α – коэффициент эффективности энергосберегающего инженерного решения или технологии, д.ед, характеризующий относительную величину снижения теплопотребления на отопление или охлаждение рассматриваемого здания за

счет применения конкретного энергосберегающего инженерного решения или технологии;

$Q_{от/ох1}$ – теплопотребление на отопление или охлаждение рассматриваемого здания до применения конкретного энергосберегающего инженерного решения или технологии, Вт;

$Q_{от/ох2}$ – теплопотребление на отопление или охлаждение рассматриваемого здания после применения конкретного энергосберегающего инженерного решения или технологии, Вт.

Эффективность некоторых энергосберегающих инженерных решений или технологий, например, утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного воздуха, зависит от параметров наружного климата и от характеристик теплового режима помещения, которые изменяются в течение года [46,76]. Кроме того, одни энергосберегающие инженерные решения или технологии могут быть направлены на снижение теплопотребления на отопление в холодный период года, а другие на снижение теплопотребления на охлаждение в теплый период года. В связи с этим, необходимо предусмотреть возможность учета почасовых значений или усредненных за период времени (сутки, месяц, период отопления или период охлаждения) значений коэффициентов эффективности энергосберегающих инженерных решений или технологий. Будем считать, что коэффициент эффективности энергосберегающего инженерного решения или технологии есть функция от времени, т.е. $\alpha = \alpha(\tau)$.

Коэффициент эффективности энергосберегающего инженерного решения или технологии может характеризовать относительную величину снижения отдельной составляющей теплового баланса воздуха помещения или величину снижения теплопотребления на отопление или охлаждение за счет применения этого энергосберегающего инженерного решения или технологии.

Например, применение утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного воздуха посредством пластинчатого теплообменника может быть охарактеризовано коэффициентом эффективности:

$$\alpha_{\text{вент.ут}}(\tau) = 1 - \frac{Q_{\text{вент2}}}{Q_{\text{вент1}}} \quad , \quad (2.25)$$

где $\alpha_{\text{вент.ут}}(\tau)$ – коэффициент эффективности применения утилизации теплоты вытяжного воздуха посредством пластинчатого теплообменника для подогрева приточного воздуха, д.ед; $Q_{\text{вент1}}$ – теплотребление на нагрев вентиляционной нормы наружного воздуха до применения утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного воздуха, Вт; $Q_{\text{вент2}}$ – теплотребление на нагрев вентиляционной нормы наружного воздуха при применении утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного воздуха, Вт.

Таким образом, теплотребление на нагрев вентиляционной нормы наружного воздуха с учетом энергосберегающих инженерных решений или технологий можно оценить по формуле, Вт:

$$Q_{\text{вент2}} = Q_{\text{вент1}}(1 - \alpha_{\text{вент.ут}}(\tau)) \quad (2.26)$$

Эффективность применения утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного воздуха подтверждена многочисленными примерами реализации этого энергосберегающего инженерного решения в системах вентиляции различных зданий, среди которых энергоэффективный жилой дом, расположенный в Москве по Красностуденческому проезду [41]. Система вентиляции в этом жилом доме механическая поквартирная с утилизацией теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного воздуха посредством пластинчатого теплообменника. Исследования, проведенные в рассматриваемом жилом здании с целью оценки снижения теплотребления на нагрев приточного воздуха за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха посредством пластинчатого теплообменника, показали, что при температуре наружного воздуха минус 3,7 °С, при температуре воздуха помещений плюс 20 °С и кратности вентиляционного воздухообмена 1,15 ч⁻¹, теплотребление на нагрев приточного воздуха составляет:

– 18,9 Вт/м² без утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного посредством пластинчатого теплообменника;

– 7,4 Вт/м² при утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного посредством пластинчатого теплообменника.

Таким образом, для данных условий коэффициент эффективности определяется по формуле (2.25) следующим образом:

$$\alpha_{\text{вент}}(\tau) = 1 - \frac{7,4}{18,9} = 0,61 .$$

Аналогичным образом можно оценить вклад в тепловой баланс воздуха помещений других энергосберегающих инженерных решений и технологий

С учетом вышесказанного, введем уравнение теплового баланса воздуха помещения, которое будем называть обобщенным уравнением теплового баланса воздуха помещения, учитывающим широкий класс энергосберегающих инженерных решений и технологии:

$$c_{\text{в}} \gamma_{\text{в}} V \frac{dt_{\text{в}}}{d\tau} = [(1 - \alpha_{\text{огр}}(\tau))Q_{\text{огр}} + (1 - \alpha_{\text{ок}}(\tau))Q_{\text{ок}} + (1 - \alpha_{\text{вент}}(\tau))Q_{\text{вент}} \pm Q_{\text{вн}}(\tau) + Q_{\text{об}}](1 - \alpha_{\text{от/ох}}(\tau)) \times \\ \times (1 - \alpha_{\text{тепл/хол}}(\tau)) , \quad (2.27)$$

где $Q_{\text{огр}}$ - трансмиссионные теплотери или теплопоступления через наружные светонепроницаемые ограждающие конструкции здания, Вт, определяются на основе уравнения (2.7);

$Q_{\text{ок}}$ - трансмиссионные теплотери или теплопоступления через наружные светопроницаемые ограждающие конструкции здания, Вт, определяются на основе уравнения (2.16);

$Q_{\text{вент}}$ - теплотери или теплопоступления вследствие вентиляционного воздухообмена, Вт, определяются на основе уравнения (2.22);

$Q_{\text{вн}}(\tau)$ - бытовые или технологические тепловыделения, источниками которых являются периодически используемые бытовые и осветительные

приборы, оргтехника и временно находящиеся в помещении жильцы или сотрудники, Вт;

$Q_{об}$ – теплопотери за счет поглощения теплоты мебелью или оборудованием, Вт, определяются на основе уравнения (2.23);

$\alpha_{огр}(\tau)$, $\alpha_{ок}(\tau)$, $\alpha_{вент}(\tau)$, $\alpha_{от/ох}(\tau)$, $\alpha_{тепл/хол}(\tau)$ – коэффициенты эффективности энергосберегающих инженерных решений или технологии, д.ед, характеризующие, соответственно, снижение трансмиссионных теплопотерь или теплопоступлений через светонепроницаемые ограждающие конструкции; снижение трансмиссионных теплопотерь или теплопоступлений через светопроницаемые ограждающие конструкции; снижение теплопотерь или теплопоступлений вследствие вентиляционного воздухообмена; снижение теплопотребления в системе отопления или охлаждения; снижение теплопотребления в системе теплоснабжения или холодоснабжения.

При одновременном устройстве нескольких энергосберегающих инженерных решений или технологий, влияющих на одну и ту же составляющую теплового баланса воздуха помещения или на тепловой баланс воздуха помещения в целом, коэффициенты эффективности этих энергосберегающих инженерных решений и технологий перемножаются.

2.9.1 Экспертная оценка эффективности энергосберегающих инженерных решений и технологий

Значения коэффициентов эффективности энергосберегающих инженерных решений и технологий могут быть определены различными методами, например, на основе результатов натурных экспериментов и испытаний, на основе использования данных фирм производителей энергосберегающего оборудования и т.д. В диссертационной работе значения коэффициентов эффективности энергосберегающих инженерных решений и технологий определяются методом на основе экспертных оценок.

Выбор метода определения коэффициентов эффективности энергосберегающих инженерных решений и технологий на основе экспертных оценок объясняется следующими его достоинствами:

- оперативность, поскольку не требуется больших временных затрат в отличие от проведения натурных экспериментов и испытаний;
- беспристрастность, в силу отсутствия заинтересованности у экспертов в назначении высоких показателей эффективности конкретных энергосберегающих решений;
- учет накопленного опыта применения энергосберегающих решений в строительной практике.

Для оценки значений коэффициентов эффективности применения энергосберегающих инженерных решений и технологий в качестве экспертов были приглашены специалисты, имеющие опыт разработки, проектирования, применения и эксплуатации различных энергосберегающих инженерных решений и технологий.

Экспертная оценка осуществлялась методом «Дельфи». Данный метод является многоэтапным количественным методом групповых оценок, который предполагает независимость мнений экспертов друг от друга, позволяет обеспечить высокую надежность при прогнозировании, [16,47], и включает следующие этапы:

Этап 1. Проведение опроса экспертов методом анкетирования.

Экспертам были переданы анкета и пояснительная записка, содержащая информацию о целях проведения экспертизы и задачах опроса, необходимые организационные сведения и инструкцию по заполнению анкеты, в которой приведен пример порядка и способа заполнения.

Экспертам было предложено дать количественную оценку эффективности применения энергосберегающих инженерных решений и технологий для жилых и общественных (офисных и административных) зданий, эффективных за счет:

- регулирования расхода теплотребления на вводе в здание или квартиру;

- регулирования теплоотдачи отопительных приборов;
- регулирования величины вентиляционного воздухообмена в зависимости от потребности;
- утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного воздуха;
- снижения трансмиссионных теплопотерь через наружные светонепроницаемые ограждающие конструкции.

Эффективность применения энергосберегающих инженерных решений и технологий оценивалась экспертами по шкале от 0 до 1, где 0 – внедрение рассматриваемого энергосберегающего инженерного или технологии не обеспечивает снижение отдельной составляющей теплового баланса воздуха помещения и снижение теплопотребления на отопление за период отопления, а 1 – внедрение рассматриваемого энергосберегающего инженерного решения или технологии обеспечивает снижение до нуля отдельной составляющей теплового баланса воздуха помещения и значительное снижение теплопотребления на отопление за период отопления. При этом было принято следующее допущение – обязательным условием является выполнение архитектурно–строительных и санитарно–гигиенических норм, правильная наладка и эксплуатация инженерных систем и энергосберегающего оборудования [84].

Этап 2. Обработка результатов опроса, полученных по завершению первого этапа.

Обработка результатов экспертных оценок осуществлялась методом весовых коэффициентов [16], учитывающим опыт работы эксперта в области проектирования и эксплуатации инженерных систем с устройством энергосберегающих решений, и опыт изучения зарубежной и отечественной практики применения различных энергосберегающих инженерных решений и технологий. После обработки результатов были получены групповые оценки эффективности для каждого энергосберегающего инженерного решения или технологии.

Этап 3. Корректировка результатов экспертных оценок эффективности энергосберегающих инженерных решений и технологий, полученных по завершению второго этапа.

Экспертам были представлены результаты обработки экспертных оценок, ознакомившись с которыми, они имели возможность предоставить свои аргументированные замечания. После ознакомления всех экспертов с полученными замечаниями, был проведен повторный опрос, по результатам которого были повторно определены групповые оценки эффективности для каждого энергосберегающего инженерного решения и технологии с учетом представленных замечаний.

Этап 4. Завершение экспертной оценки.

После обработки результатов экспертных оценок, полученных по завершению третьего этапа, составлены итоговые сводные таблицы коэффициентов эффективности энергосберегающих инженерных решений и технологий.

Значения коэффициентов эффективности энергосберегающих инженерных решений и технологий, определенные по результатам экспертной оценки, для жилых зданий приведены в таблице 2.5, для общественных (офисных и административных) зданий в таблице 2.6.

Таблица 2.5 – Коэффициенты эффективности энергосберегающих инженерных решений и технологий для жилых зданий

Наименование энергосберегающего инженерного решения или технологии	Эффект энергосбережения	Коэффициент эффективности	Примечание
Вентиляция			
Естественная вентиляция, регулируемая за счет применения регулируемых приточных устройств	Эффект энергосбережения достигается за счет устранения сверхнормативного воздухообмена, уменьшения воздухообмена до минимально допустимого уровня в периоды, когда помещение не эксплуатируется [20,40,80]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,25$	Эффективность энергосберегающих инженерных решений или технологий оценивается по отношению к устройству естественной нерегулируемой системы вентиляции, коэффициент эффективности которой принимается равным нулю
Естественная вентиляция, регулируемая за счет применения регулируемых вытяжных устройств	Эффект энергосбережения достигается за счет устранения сверхнормативного воздухообмена и уменьшения воздухообмена до минимально допустимого уровня в периоды, когда помещение не эксплуатируется [75]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,2$	
Гибридная вентиляция	Эффект энергосбережения достигается за счет за счет устранения сверхнормативного воздухообмена [3,30,31]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,3$	
Центральная механическая вентиляция с регулируемым расходом приточного воздуха	Эффект энергосбережения достигается за счет регулирования расхода приточного воздуха и снижения теплопотребления на ее подогрев [22,75]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,2$	Эффективность энергосберегающих инженерных решений или технологий оценивается по отношению к устройству центральной механической нерегулируемой системы вентиляции, коэффициент эффективности которой принимается равным нулю
Поквартирная механическая вентиляция регулируемая	Эффект энергосбережения достигается за счет регулирования расхода и температуры приточного воздуха и снижения теплопотребления на его подогрев [35]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,5$	
Механическая вентиляция с утилизацией теплоты вытяжного воздуха посредством пластинчатых теплообменников	Эффект энергосбережения достигается за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха в пластинчатых теплообменниках для подогрева приточного воздуха [36,56]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,75$	

Продолжение таблицы 2.5

Механическая вентиляция с утилизацией теплоты вытяжного воздуха посредством теплообменников с вращающейся теплообменной насадкой (роторных рекуператоров)	Эффект энергосбережения достигается за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха в теплообменниках с вращающейся теплообменной насадкой (роторных рекуператорах) для подогрева приточного воздуха [76]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,85$	
Механическая вентиляция с утилизацией теплоты вытяжного воздуха посредством теплообменников с промежуточным теплоносителем	Эффект энергосбережения достигается за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха в теплообменниках с промежуточным теплоносителем для подогрева приточного воздуха [21]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,6$	
Поквартирная механическая вентиляция с забором приточного воздуха из остекленных лоджий	Эффект энергосбережения достигается за счет предварительного подогрева приточного воздуха в пространстве остекленных лоджий. При этом температура воздуха в лоджиях выше температуры наружного воздуха [35,41]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,2$	Эффективность энергосберегающих инженерных решений или технологий оценивается по отношению к устройству поквартирной механической системы вентиляции, коэффициент эффективности которой принимается равным нулю
Отопление и теплоснабжение			
Индивидуальный тепловой пункт (ИТП)	Эффект энергосбережения достигается за счет регулирования параметров теплоносителя, циркулирующего в системе отопления [17,28]	$\alpha_{\text{тепл}}(\tau)=0,4$	Эффективность энергосберегающих инженерных решений или технологий оценивается по отношению к устройству
Автоматизированный узел управления (АУУ)	Эффект энергосбережения достигается за счет регулирования параметров теплоносителя, циркулирующего в системе отопления [14,29]	$\alpha_{\text{тепл}}(\tau)=0,5$	

Продолжение таблицы 2.5

Квартирный тепловой пункт (КТП)	Эффект энергосбережения достигается за счет регулирования параметров теплоносителя, циркулирующего в системе отопления [52]	$\alpha_{\text{тепл}}(\tau)=0,6$	элеваторного узла, коэффициент эффективности которого принимается равным нулю
Система водяного отопления горизонтальная (поквартирная)	Эффект энергосбережения достигается: 1. За счет индивидуального регулирования теплоотдачи отопительных приборов и температуры воздуха помещения. 2. За счет индивидуального учета и оплаты фактически потребленной тепловой энергии по показаниям квартирных теплосчетчиков [53]	$\alpha_{\text{от}}(\tau)=0,4$	Эффективность энергосберегающих инженерных решений или технологий оценивается по отношению к устройству системы водяного отопления с вертикальными стояками без возможности индивидуального регулирования теплоотдачи отопительных приборов, коэффициент эффективности которой принимается равным нулю
Термостатический клапан (термостат)	Эффект энергосбережения достигается за счет индивидуального регулирования теплоотдачи отопительных приборов и температуры воздуха помещения [55]	$\alpha_{\text{от}}(\tau)=0,3$	
Комнатный контроллер	Эффект энергосбережения достигается за счет индивидуального регулирования теплоотдачи отопительных приборов и температуры воздуха помещения (по таймеру, программе, датчикам и т.д.) [77]	$\alpha_{\text{от}}(\tau)=0,35$	
Ограждающие конструкции			
Остекление лоджий, балконов	Эффект энергосбережения достигается за счет снижения трансмиссионных теплопотерь через ограждающую конструкцию, разделяющую помещение квартиры и лоджию [41]	$\alpha_{\text{огр}}(\tau)=0,3$	Эффективность энергосберегающих инженерных решений или технологий оценивается по отношению к устройству неостекленных балконов и лоджий, коэффициент эффективности которого принимается равным нулю

Таблица 2.6 – Коэффициенты эффективности энергосберегающих инженерных решений и технологий для общественных (офисных и административных) зданий.

Наименование энергосберегающего инженерного решения или технологии	Эффект энергосбережения	Коэффициент эффективности	Примечание
Вентиляция			
Центральная механическая вентиляция с регулируемым расходом приточного воздуха	Эффект энергосбережения достигается за счет регулирования расхода приточного воздуха [22]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,2$	Эффективность энергосберегающих инженерных решений или технологий оценивается по отношению к устройству центральной механической нерегулируемой системы вентиляции, коэффициент эффективности которой принимается равным нулю
Механическая вентиляция с утилизацией теплоты вытяжного воздуха посредством пластинчатых теплообменников	Эффект энергосбережения достигается за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха в пластинчатых теплообменниках для подогрева приточного воздуха [75]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,75$	
Механическая вентиляция с утилизацией теплоты вытяжного воздуха посредством теплообменников с вращающейся теплообменной насадкой (роторных рекуператоров)	Эффект энергосбережения достигается за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха в теплообменниках с вращающейся теплообменной насадкой (роторных рекуператорах) для подогрева приточного воздуха [76]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,85$	
Механическая вентиляция с утилизацией теплоты вытяжного воздуха посредством теплообменников с промежуточным теплоносителем	Эффект энергосбережения достигается за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха в теплообменниках с промежуточным теплоносителем для подогрева приточного воздуха [21]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,6$	

Продолжение таблицы 2.6

Адаптивная вентиляция	Эффект энергосбережения достигается за счет индивидуального регулирования температуры и расхода приточного воздуха, работы вентиляции в зависимости от фактического присутствия сотрудников [34,37]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,85$	
Механическая вентиляция с забором воздуха из зимних садов, остекленных лоджий и подобных помещений	Забор приточного воздуха из пространства зимних садов и подобных помещений обеспечивает снижение теплопотребления на его нагрев [75]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,35$	
Грунтовый теплообменник для подогрева приточного воздуха	Эффект энергосбережения достигается за счет снижения теплопотребления при непосредственном подогреве приточного воздуха за счет теплового потенциала грунта [75]	$\alpha_{\text{вент}}(\tau)=0,2$	
Отопление			
Термостатический клапан (термостат)	Эффект энергосбережения достигается за счет индивидуального регулирования теплоотдачи отопительных приборов и температуры воздуха помещения [55]	$\alpha_{\text{от}}(\tau)=0,3$	Эффективность энергосберегающих инженерных решений или технологий оценивается по отношению к устройству системы водяного отопления с вертикальными стояками без возможности индивидуального регулирования теплоотдачи отопительных приборов, коэффициент эффективности которой принимается равным нулю
Комнатный контроллер	Эффект энергосбережения достигается за счет индивидуального регулирования теплоотдачи отопительных приборов и температуры воздуха помещения (по таймеру, программе, датчикам и т.д.) [75,77]	$\alpha_{\text{от}}(\tau)=0,35$	
Система автоматизации и диспетчеризации для управления теплопотреблением на отопление	Эффект энергосбережения обеспечивается за счет выбора эффективных алгоритмов управления теплопотреблением на отопление, учитывающих, например, заполняемость помещений, режим их использования и т. д. [75]	$\alpha_{\text{от}}(\tau)=0,6$	
Система отопления с «прерывистым» режимом	Эффект энергосбережения достигается за счет регулирования температуры воздуха помещения [69]	$\alpha_{\text{от}}(\tau)=0,2$	

2.10 Метод реализации математической модели

Отличительными особенностями разработанной математической модели от математической модели, изложенной в [69], являются следующие положения:

- Математическая модель наружного климата задается почасовыми значениями параметров наружного климата в суточном и годовом циклах, среди которых температура наружного воздуха, интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации на различно ориентированные поверхности, скорость и направление ветра.

- Бытовые или технологические тепловыделения задаются переменными почасовыми значениями в суточном и годовом циклах в соответствии с изменяемым режимом эксплуатации помещения.

- Величина вентиляционного воздухообмена задается переменными почасовыми значениями в суточном и годовом циклах в соответствии с регулированием расхода приточного воздуха по потребности.

- Сопротивление теплопередаче светопроницаемых ограждающих конструкций задается переменными почасовыми значениями в суточном и годовом циклах, изменяющимися в результате применения энергосберегающих инженерных решений или технологий, например, теплозащитных «ночных» штор.

- Уравнение теплового баланса воздуха помещения задается в обобщенном виде с коэффициентами эффективности широкого класса энергосберегающих инженерных решений или технологий.

Эти отличительные особенности приводят к определенным требованиям при выборе структурной схемы расчета теплопотребления здания на отопление и охлаждение и метода ее реализации.

По своему физическому смыслу и по структуре уравнение теплового баланса помещения состоит из отдельных составляющих, так называемых блоков: блок для определения параметров наружного климата, блок для расчета теплопередачи через ограждающие конструкции, блок для расчета

вентиляционного воздухообмена помещения, и т.д. Очевидно, что целесообразно структуру решения системы уравнений (2.7), (2.23) и (2.27) представить в виде отдельных блоков. Такой подход позволит при необходимости вносить изменения в тот или иной блок не меняя решения задачи в целом.

Уравнение теплопередачи через ограждающие конструкции по математической классификации является уравнением параболического типа и для его решения используются специальные схемы сквозного счета, при этом во всех узлах сетки и для любых коэффициентов пишутся одни и те же формулы (без какого-либо изменения формул в окрестности разрыва) [69].

Требования сходимости и точности схем сквозного счета накладывают ограничения на вид этих схем. Схемы, которые сходятся в случае разрывных коэффициентов, можно получить методом баланса или интегро-интерполяционного метода.

Сущность этого метода заключается в следующем. Для каждой элементарной ячейки составляется уравнение баланса, которое содержит интегралы от функции и ее производных вдоль границы ячейки. Для их вычисления необходимы дополнительные предположения о профиле функций. В зависимости от выбора локальной интерполяции производных, как по координате, так и по времени, получаем различные схемы [69].

Уравнение теплового баланса воздуха помещения по математической классификации представляет собой дифференциальное уравнение первого порядка с переменными коэффициентами, так называемая, задача Коши.

Алгоритм решения указанных уравнений в общем виде изложен в работах Ю.А. Табунщикова [69].

Алгоритм расчета предусматривает дискретизацию времени и решение для каждого временного шага соответствующих уравнений. Дискретный момент времени принимается равным 10 мин.

Большинство составляющих уравнения теплового баланса воздуха помещения, такие как бытовые или технологические тепловыделения, кратность вентиляционного воздухообмена задаются либо в аналитическом, либо в

табличном виде. Параметры наружного климата задаются только в табличном виде, при этом дискретный момент времени для этих заданных значений составляет 1 час. В результате предусмотрен специальный блок, предполагающий определение промежуточных значений параметров наружного климата для временного шага 10 мин. методом линейной интерполяции по заданным в табличном виде почасовым значениям параметров наружного климата.

Значения температуры воздуха помещения, кратности вентиляционного воздухообмена и сопротивления теплопередачи светопроницаемых ограждающих конструкций являются контролируемыми и регулируемыми параметрами, т.е. на определенном временном шаге может оказаться, что их значения не соответствуют требуемым значениям и в этом случае для их контроля и регулирования требуется возвращение счета на предыдущий шаг с целью изменения значения этих параметров.

Предполагается, что начальному моменту времени расчета соответствует время наступления полуночи первого января, температура воздуха помещения принимается равной 20°C , а температура наружного воздуха соответствует значению для 00:00 ч. первого января «типового года», принятого для расчета.

Исходные данные характеристик теплового режима помещения задаются в виде почасовых значений в соответствии «типовыми профилями». Чередование «типовых профилей» для рабочего и выходного дней в течение года в разработанной компьютерной программе осуществляется с учетом производственного календаря. Коэффициенты эффективности энергосберегающих инженерных решений или технологий задаются в соответствии с таблицами 2.5 и 2.6 или могут быть заданы вручную в виде почасовых значений или усредненных значений за период времени (сутки, месяц, период отопления или период охлаждения).

Далее производится расчет в течение двух идентичных годов с заданными параметрами наружного климата и характеристикам теплового режима помещения. Рассчитанные для второго года значения теплотребования здания

на отопление и охлаждение являются результирующими. В завершении расчета формируется отчет.

Реализация математической модели теплопотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах осуществляется посредством компьютерной программы, написанной на языке программирования FORTRAN [1].

Особенностью компьютерной программы является возможность производить расчеты теплопотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах с использованием почасовых значений параметров наружного климата, представленных в электронном формате CSV, что обеспечивает возможность использования отечественных и зарубежных «типовых годов» и при необходимости, простоту редактирования почасовых значений параметров наружного климата.

Блок-схема компьютерной программы приведена в приложении 2.

Разработанная компьютерная программа прошла сертификацию в Центре сертификации программного обеспечения НП «АВОК» и может быть использована специалистами и проектировщиками для:

- прогнозирования теплопотребления зданий на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах и продолжительности периодов отопления и охлаждения;
- оценки расчетной теплопроизводительности систем отопления, вентиляции и охлаждения в годовом цикле с целью подбора оборудования и выбора целесообразного режима его функционирования;
- многовариантного анализа и обоснования целесообразности применения в конкурсных проектах зданий инженерных, энергосберегающих, архитектурно-планировочных и других решений, влияющих на теплопотребление здания на отопление и охлаждение;
- выполнения требований рейтинговых систем оценки «зеленых» зданий о необходимости повышения энергетической эффективности зданий.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

3.1 Описание эксперимента

Целью проведения эксперимента является оценка возможности применения разработанной математической модели для прогнозирования теплотребления зданий на основе сопоставления рассчитанных и измеренных почасовых и среднесуточных значений теплотребления здания на отопление.

В качестве метода проведения эксперимента был выбран метод так называемого «пассивного эксперимента». Данный метод подразумевает наблюдение и сбор необходимой информации об исследуемом объекте при его нормальном режиме эксплуатации, т.е. без активного вмешательства исследователя.

Объект, принятый для «пассивного эксперимента», представляет собой здание, расположенное в Москве. Сведения об архитектурно-планировочных решениях, теплотехнических характеристиках ограждающих конструкций и инженерных системах были получены в проектной организации, занимавшейся разработкой проекта и строительством здания.

Продолжительность временного периода, в течение которого длился эксперимент, составляет шесть месяцев.

3.2 Описание объекта, принятого для «пассивного эксперимента»

Объект, принятый для «пассивного эксперимента», представляет собой multifunctional жилой комплекс, расположенный по адресу Москва, Хорошевское ш., д.16, рисунок 3.1.

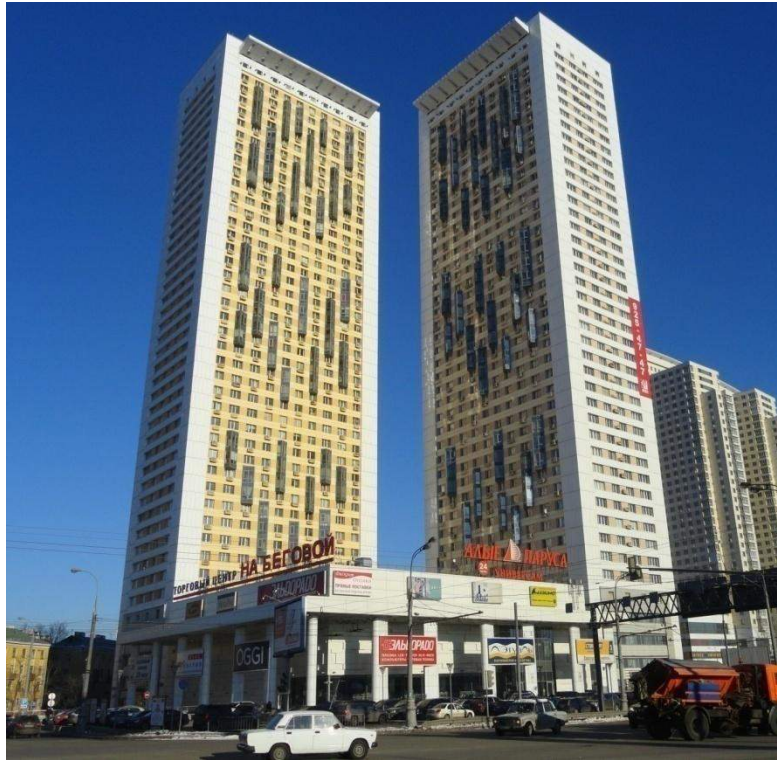


Рисунок 3.1 – Общий вид объекта, принятого для «пассивного эксперимента» – многофункционального жилого комплекса, расположенного по адресу Москва, Хорошевское ш., д.16.

Архитектурно-планировочные решения

Многофункциональный жилой комплекс состоит из двух корпусов высотой 42 этажа, расположенных под прямым углом друг к другу и объединенных стилобатной частью. Подземный уровень располагается под зданием и прилегающей территорией, и предназначен для размещения торгового центра и гостевой автостоянки. На первых четырех этажах многофункционального жилого комплекса расположены помещения общественного назначения (офисы и др.), имеющие автономные входы, самостоятельные лестнично-лифтовые блоки и входные группы.

Технические этажи расположены на 5, 17, 30 и 42 этажах. Высота этажей от пола до потолка составляет – 2,7 м.

Общая площадь здания составляет 62 265 м², в том числе суммарная площадь квартир – 35615 м².

Количество квартир в многофункциональном жилом комплексе – 612.

При проведении эксперимента принято решение проводить оценку теплотребования на отопление жилой части многофункционального жилого комплекса в связи с невозможностью получения всех необходимых данных о режиме эксплуатации помещений общественного назначения (офисы, прокуратура и др.) для выполнения оценки теплотребования здания на отопление по разработанной математической модели.

В каждом корпусе многофункционального жилого комплекса жилая часть состоит из 34 жилых и 4 технических этажей, расположенных в двух корпусах. Планировка жилых этажей корпусов отличается расположением квартир, лестничных клеток и лестнично-лифтовых узлов (далее – ЛЛУ). Планы типовых жилых этажей первого и второго корпусов представлены на рисунке 3.2 и рис. 3.3.

Ограждающие конструкции

Конструкции наружных стен жилой части многофункционального жилого комплекса выполнены из керамзитобетона с минераловатным утеплителем и отделкой из алюмокомпозитных панелей по принципу вентилируемого фасада.

Теплотехнические характеристики слоев наружных стен жилой части, согласно проектной документации, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1– Теплотехнические характеристики слоев наружных стен

Наименование слоя	Толщина слоя, м	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Объемная теплоемкость, кДж/м ³ ·°С
Цементно-песчаный раствор	0,02	0,930	1512
Керамзитобетонные блоки	0,25	0,470	840
Плиты минераловатные типа «Баттс Роквулл»	0,14	0,045	105

Суммарная площадь наружных стен жилой части многофункционального жилого комплекса составляет 25760 м².

Конструкция покрытия жилой части многофункционального жилого комплекса представляет собой монолитную железобетонную плиту перекрытия,

на которую по выравнивающей цементно-песчаной стяжке через 1 слой пароизоляции (геотекстиля) и мембраны ТЭП «Карлайл» уложен слой экструдированного пенополистирола типа «Roofmate» и, через слой пароизоляции (геотекстиля), засыпан керамзитовый гравий.

Теплотехнические характеристики слоев покрытия жилой части, согласно проектной документации, приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Теплотехнические характеристики слоев покрытия

Наименование слоя	Толщина слоя, м	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Объемная теплоемкость, кДж/м ³ ·°С
Железобетонная монолитная плита перекрытия	0,30	2,040	2100
Цементно-песчаная стяжка	0,07	0,930	1512
Мембрана ТЭПК «Карлайл»	0,01	0,17	1680
Экструдированный пенополистерол типа «Roofmate»	0,10	0,032	60,3
Засыпка из керамзитового гравия	-	-	-

Площадь покрытия жилой части многофункционального жилого комплекса составляет 1968 м².

В качестве оконных блоков в квартирах многофункционального жилого комплекса установлены однокамерные стеклопакеты, заполненные аргоном с низкоэмиссионным покрытием стекла в одинарных пластмассовых переплетах. Приведенное сопротивление теплопередаче оконных блоков квартир составляет 0,56 м²·°С/Вт, а сопротивление воздухопроницанию 0,9 м²·ч/кг. Суммарная площадь остекления жилой части многофункционального жилого комплекса равна 6954 м².

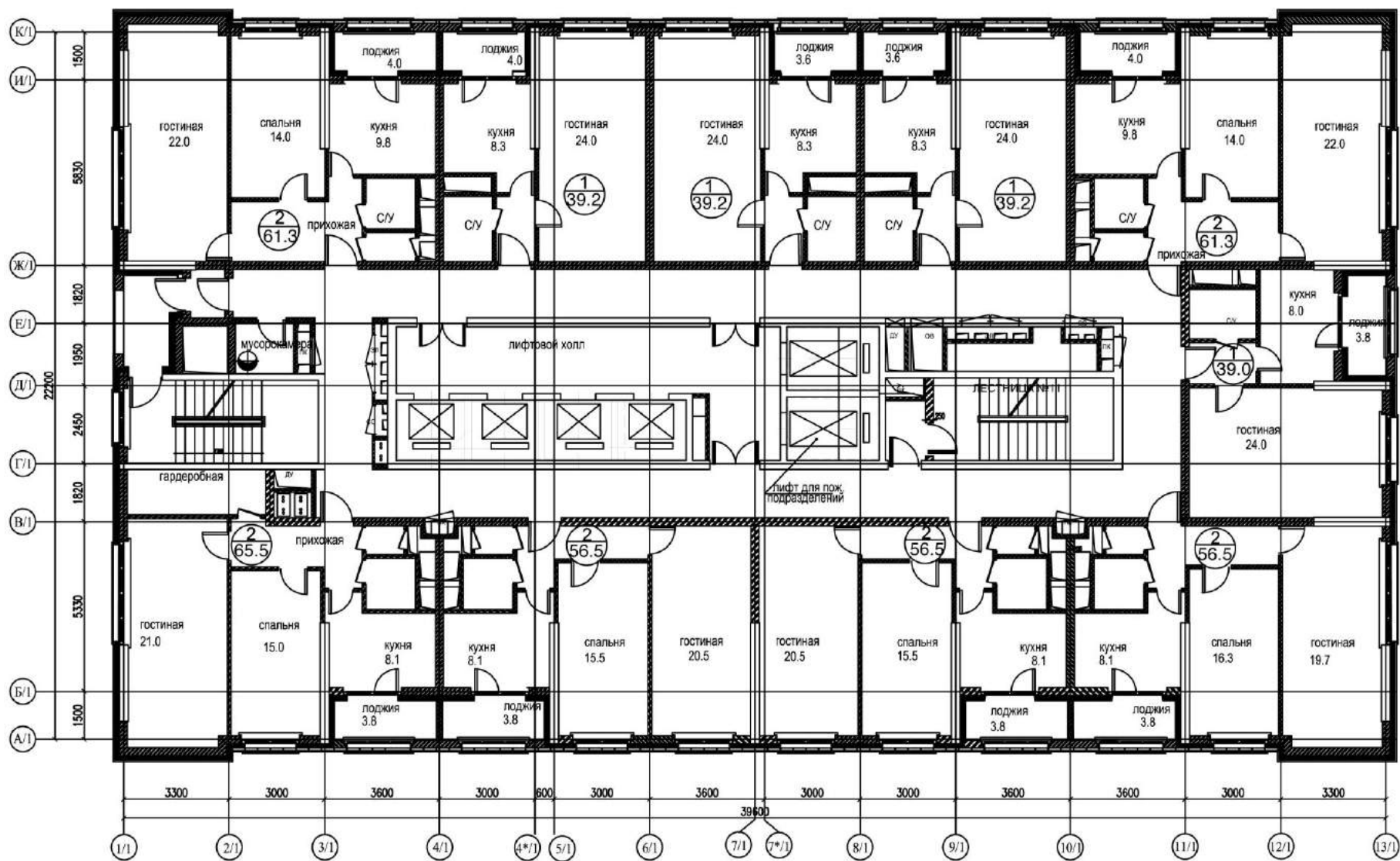


Рисунок 3.2 – План типового жилого этажа multifункционального жилого комплекса, корпус 1.

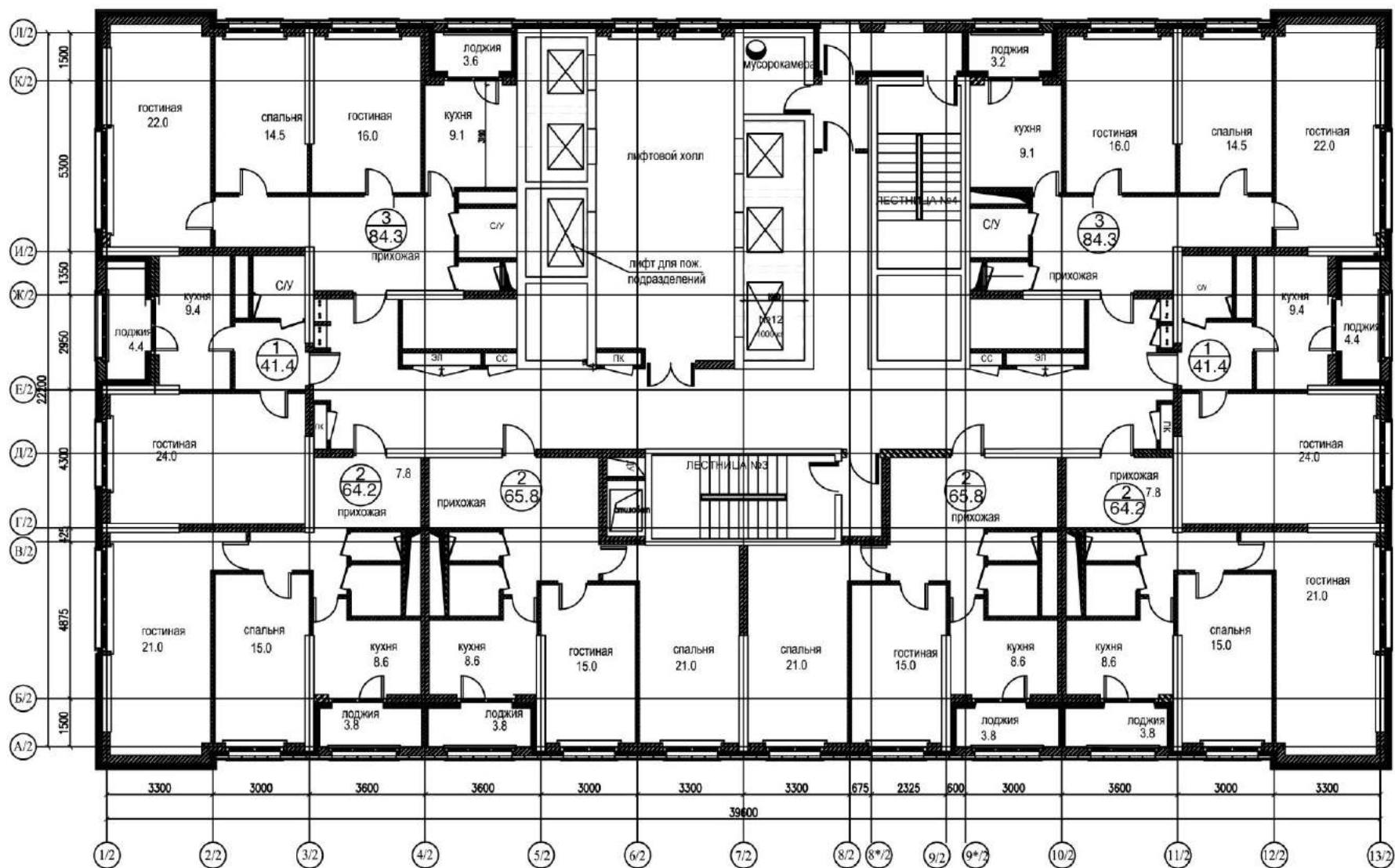


Рисунок 3.3 – План типового жилого этажа многофункционального жилого комплекса, корпус 2.

Оконные блоки и балконные двери ЛЛУ имеют ту же конструкцию, но с обычным стеклом. Приведенное сопротивление теплопередаче оконных блоков и балконных дверей ЛЛУ составляет $0,45 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Сопротивление воздухопроницанию оконных блоков ЛЛУ – $0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}/\text{кг}$, балконных дверей ЛЛУ – $0,47 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}/\text{кг}$. Суммарная площадь остекления ЛЛУ жилой части многофункционального жилого комплекса составляет 243 м^2 .

Входные наружные двери многофункционального жилого комплекса утепленные тройные с двумя тамбурами между ними. Сопротивление телепередаче входных наружных дверей составляет $0,8 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, а суммарная площадь – $19,2 \text{ м}^2$.

Внутренние несущие стены (колонны) многофункционального жилого комплекса – монолитные железобетонные толщиной 280мм с коэффициентом теплопроводности $2,04 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$. Межквартирные стены толщиной 250мм и внутренние перегородки, толщиной 120мм, выполнены из керамзитобетонных блоков с коэффициентом теплопроводности $0,47 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$.

Межэтажные перекрытия жилой части многоквартирного жилого комплекса выполнены из монолитных железобетонных плит толщиной 220мм с коэффициентом теплопроводности $2,04 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$.

Теплоснабжение

Подключение инженерных систем к центральным тепловым сетям осуществляется по независимой схеме в индивидуальном тепловом пункте (далее – ИТП), который расположен в подземной части многофункционального жилого комплекса. Температуры теплоносителя после ИТП в подающем и обратном трубопроводах системы отопления для расчетных условий соответственно равны $95-70^\circ\text{C}$. Регулирование температуры теплоносителя, циркулирующего в системе отопления, осуществляется в соответствии с требованиями [63] путем изменения расхода теплоносителя, поступающего в теплообменник ИТП, в зависимости от температуры наружного воздуха и температуры теплоносителя в обратном трубопроводе после теплообменника

ИТП. Предусмотрена установка узла учета тепловой энергии и расхода теплоносителя.

Отопление

В каждом из корпусов многофункционального жилого комплекса выполнена двухзонная система водяного отопления жилой части. Первая зона включает в себя этажи с 5-го по 16-й, вторая зона, в свою очередь, разделена на две подзоны: с 17-го по 30-й и с 31-го по 42-й этажи.

Система отопления двухтрубная горизонтальная с поквартирной разводкой.

В качестве отопительных приборов в квартирах многофункционального жилого комплекса установлены биметаллические радиаторы "Global-style" с боковой подводкой и конвекторы "Элегант" фирмы "НТЦ Радиатор". На подводках к отопительным приборам установлены термостатические и запорные клапаны.

В качестве отопительных приборов на лестничных клетках, ЛЛУ и на технических этажах установлены конвекторы "Универсал-ТБ".

Магистральные участки трубопроводов системы отопления, расположенные в технических этажах, имеют теплоизоляцию «Thermaflex».

Вентиляция

В квартирах жилой части многофункционального жилого комплекса реализована система вытяжной вентиляции с механическим побуждением и естественным притоком через приточные клапаны «АЭРЕКО», установленные в верхней части оконных переплетов.

В помещениях технических этажей вентиляция с естественным побуждением.

Вытяжные каналы системы вентиляции реализованы по схеме с каналами-спутниками, соединяющимися со сборным вытяжным каналом под потолком вышележащего этажа. Вытяжные воздуховоды выполнены из тонколистовой оцинкованной стали.

3.3 Измерение почасовых значений теплотребления на отопление

Измерение почасовых значений теплотребления в многофункциональном жилом комплексе осуществляется теплосчетчиком Aswega SA-94/2M, установленным в ИТП. Пределы допускаемой приведенной погрешности теплосчетчика не превышают $\pm 2\%$.

Временной период измерений в рамках эксперимента составил с 1 ноября 2012г. по 28 апреля 2013г. По данным службы эксплуатации 29 апреля 2013г. отопление многофункционального жилого комплекса было прекращено в связи с окончанием отопительного периода.

Поскольку расход тепловой энергии, измеренный теплосчетчиком, учитывает теплотребление на отопление и горячее водоснабжение всего многофункционального жилого комплекса, возникла необходимость определения теплотребления только для нужд жилой части. С этой целью у службы эксплуатации многоквартирного жилого комплекса было получено процентное соотношение теплотребления для нужд жилой и общественной частей здания, которое составляет соответственно 93,1 и 6,9% от общего теплотребления.

Для определения теплотребления на отопление многофункционального жилого комплекса у службы эксплуатации так же были получены статистические данные о почасовых изменениях теплотребления на горячее водоснабжение в течение суток.

За вычетом соответствующих почасовых значений теплотребления на горячее водоснабжение и теплотребления для нужд общественной части, были определены почасовые значения теплотребления на отопление жилой части многофункционального жилого комплекса.

3.4 Оценка теплотребления на отопление на основе разработанной математической модели

Исходные данные для расчета почасовых значений теплотребления на отопление жилой части многофункционального жилого комплекса по архитектурно-планировочным решениям, теплотехническим характеристикам ограждающих конструкций и режиму эксплуатации помещений квартир были приняты в соответствии с проектной документацией.

Согласно проектной документации, величина вентиляционного воздухообмена в квартирах многофункционального жилого комплекса определяется из расчета $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади жилых комнат и компенсации вытяжки из помещений кухонь, с/у, ванных и туалетных комнат. Величина вентиляционного воздухообмена в помещениях технических этажей, так же принимается равной нормативным значениям, согласно [65].

Величина нестационарных бытовых тепlopоступлений в помещениях квартир имеет непредсказуемый характер. Вместе с тем, данная величина может иметь значительное влияние на тепловой баланс помещений и, как следствие, на почасовые значения теплотребления на отопление. Для расчета почасовых значений теплотребления на отопление жилой части многофункционального жилого комплекса величина бытовых тепловыделений была принята согласно «типовым профилям» для жилого помещения № 2 и №3. Значения температур воздуха помещений квартир многофункционального жилого комплекса для расчета почасовых значений теплотребления на отопление приняты соответственно плюс $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ для жилых комнат, плюс 21°C для помещений кухонь, согласно [11].

В качестве исходных данных параметров наружного климата для расчета почасовых значений теплотребления на отопление были приняты фактические значения температур наружного воздуха полученные по данным метеостанции «Москва, ВВЦ» [121]. В связи с тем, что эти данные представляют собой

значения, измеренные с временным шагом в 3 часа, для определения почасовых значений был применен метод линейной интерполяции.

Почасовые значения других параметров наружного климата, например, интенсивности прямой и рассеянной солнечной радиации на различно ориентированные поверхности, приняты в соответствии с данными «типового года» № 5 для Москвы [42,43].

В результате расчета были получены почасовые значения теплотребления на отопление жилой части многофункционального жилого комплекса за временной период с 1 ноября 2012г. по 28 апреля 2013г.

3.5 Сопоставление результатов расчета и эксперимента

На рисунке 3.4 и рисунке 3.5 приведены графики суточных изменений измеренных и рассчитанных значений теплотребления на отопление жилой части многофункционального жилого комплекса и среднесуточные значения температуры наружного воздуха за временной период с 1 ноября 2012г. по 28 апреля 2013г. На рисунке 3.6 представлен график изменения невязки измеренных и рассчитанных суточных значений теплотребления на отопление.

Сопоставление графиков измеренных и рассчитанных суточных значений теплотребления на отопление жилой части многофункционального жилого комплекса показывает их достаточную степень совпадения. Анализ графика изменения невязки измеренных и рассчитанных суточных значений теплотребления на отопление показал, что расхождения между измеренными и рассчитанными значениями не превышает 22% за исключением периода с 16 апреля по 20 апреля и 27 апреля 2013 г.



Рисунок 3.4 – Суточные изменения теплотребления на отопление жилой части многофункционального жилого комплекса, кВт·ч/м², за временной период с 1 ноября 2012г. по 28 апреля 2013г.

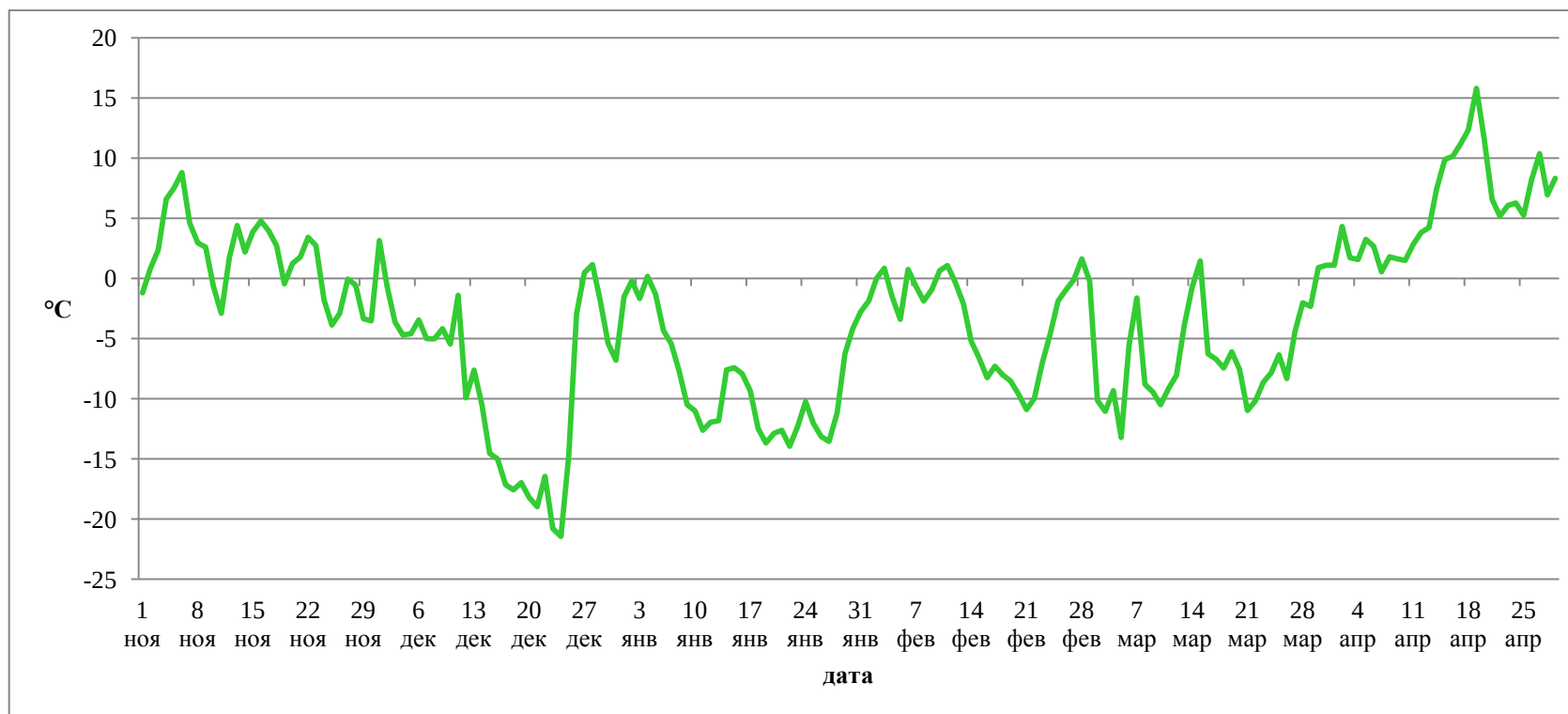


Рисунок 3.5 – Среднесуточные изменения температуры наружного воздуха, °C, за временной период с 1 ноября 2012г. по 28 апреля 2013г.

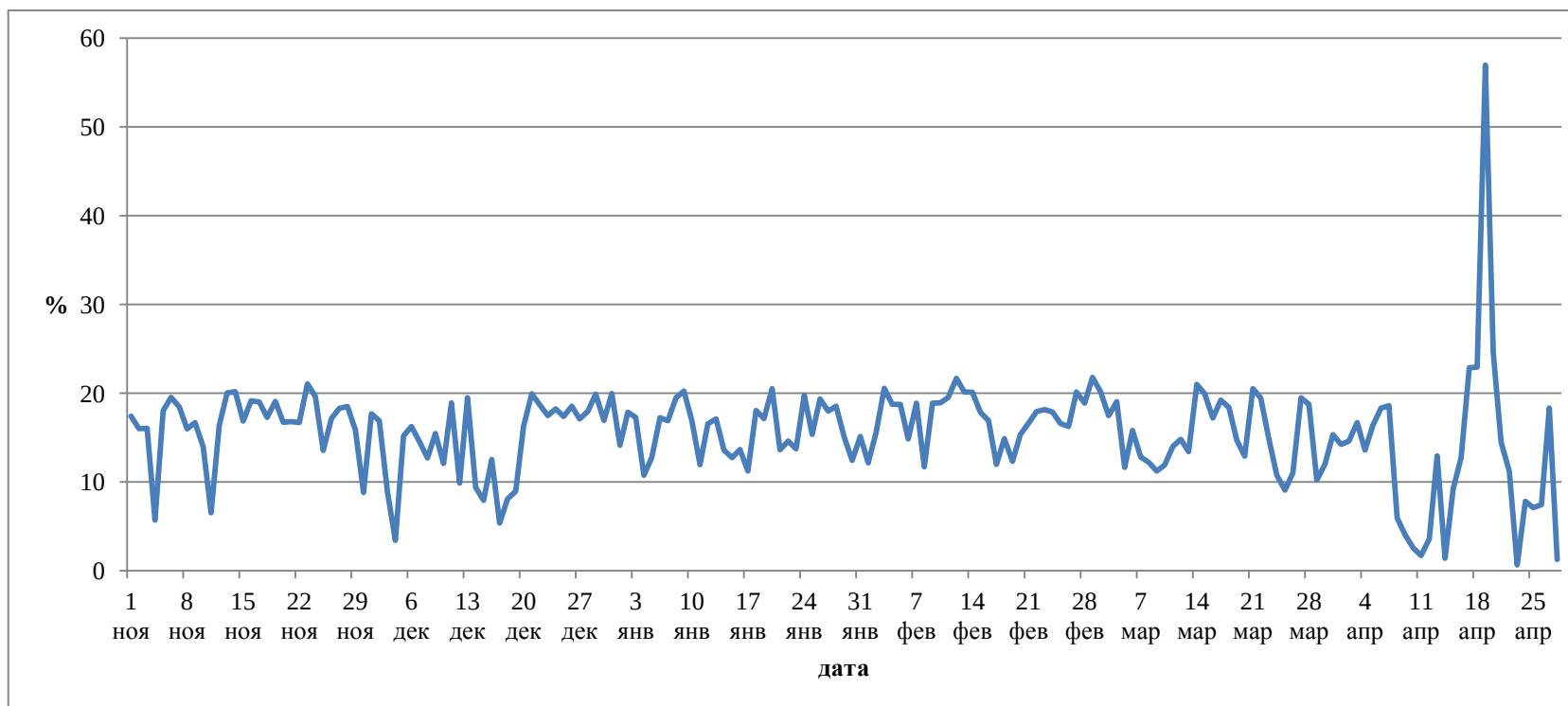


Рисунок 3.6 – Изменение невязки измеренных и рассчитанных суточных значений теплотребления на отопление жилой части многофункционального жилого комплекса, %, с 1 ноября 2012г. по 28 апреля 2013г.

В результате анализа почасовых изменений измеренных и рассчитанных значений теплопотребления на отопление, рисунок 3.7, и почасовых изменений температуры наружного воздуха в апреле 2013г., рисунок 3.8, установлено, что при температуре наружного воздуха выше плюс 10 °С расхождения между измеренными и рассчитанными значениями за период измерений могут превышать 22%. Максимальное расхождение почасовых значений измеренного и рассчитанного теплопотребления на отопление было зафиксировано 19 апреля с 14:00 до 19:00 ч., когда температура наружного воздуха превысила отметку плюс 20 °С. Согласно рассчитанным значениям теплопотребления на отопление, в указанные часы отопление помещений квартир не требуется, а наоборот, для обеспечения температуры воздуха помещения плюс 22 °С необходимо охлаждение.

В часы, когда трансмиссионные теплопотери и теплопотери за счет вентиляционного воздухообмена компенсируются бытовыми тепловыделениями и теплопоступлениями вследствие воздействия солнечной радиации, термостатические клапаны, установленные на подводках к отопительным приборам, перекрывают проход теплоносителя. Вместе с тем, теплоноситель в системе отопления продолжает циркулировать, минуя отопительные приборы. В данном случае, измеренные значения теплопотребления на отопление жилой части многофункционального жилого комплекса не характеризуют тепловой режим в помещениях квартир. В результате, при прогнозировании и оценке теплопотребления зданий на отопление, теплоснабжение которых осуществляется центральными тепловыми сетями, может иметь место несоответствие рассчитанных и измеренных теплосчетчиком, установленном в ИТП здания, значений теплопотребления на отопление для обеспечения теплового режима помещений.

На основании проведенного эксперимента сделаны вывод о том, что разработанная математическая модель позволяет с достаточной степенью точности оценить среднесуточные и почасовые изменения теплопотребления на отопление зданий.

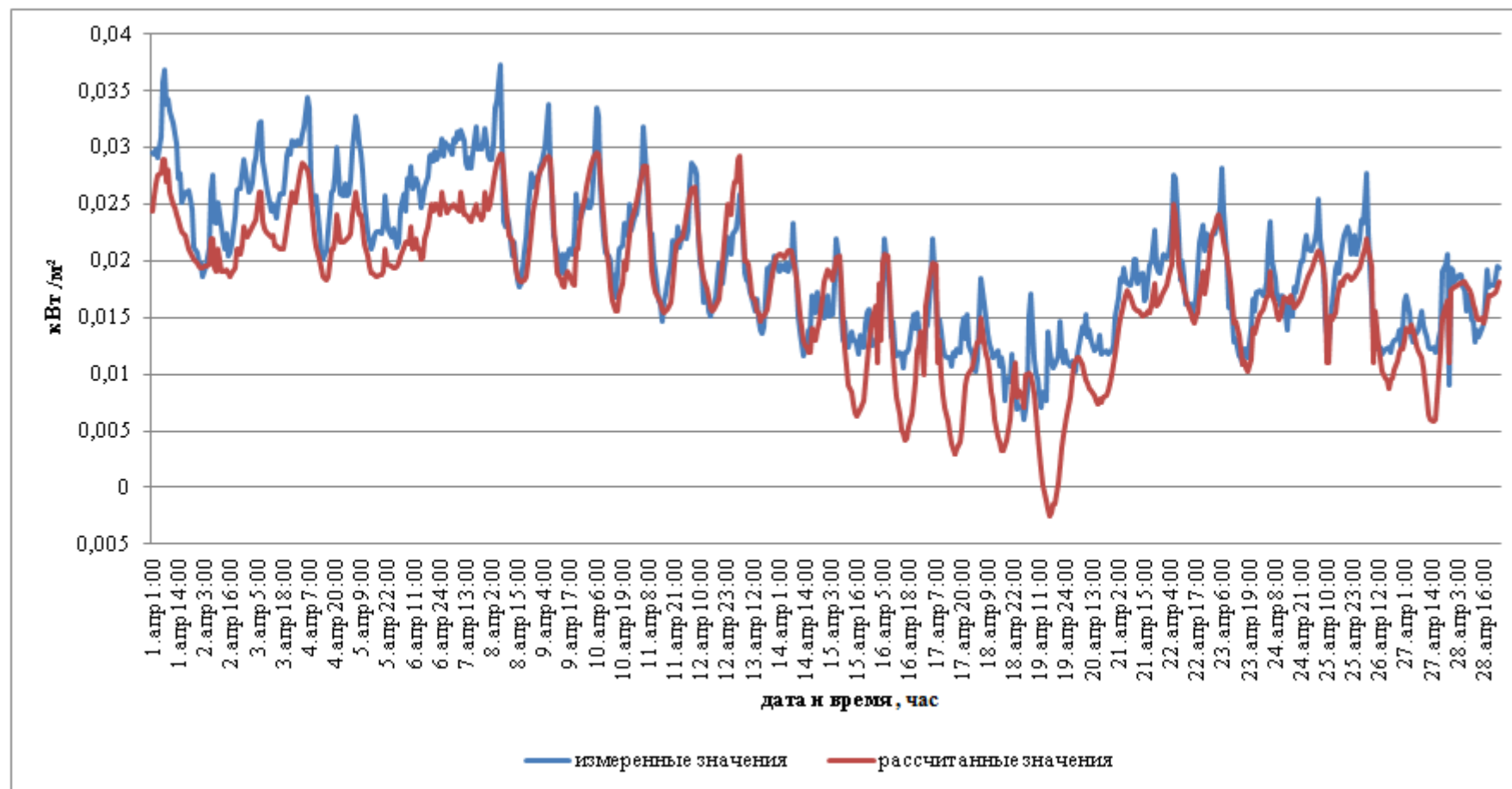


Рисунок 3.7 – Почасовые изменения теплопотребления на отопление жилой части многофункционального жилого комплекса, kWt/m^2 площади квартир, за временной период с 1 апреля 2013г. по 28 апреля 2013г.

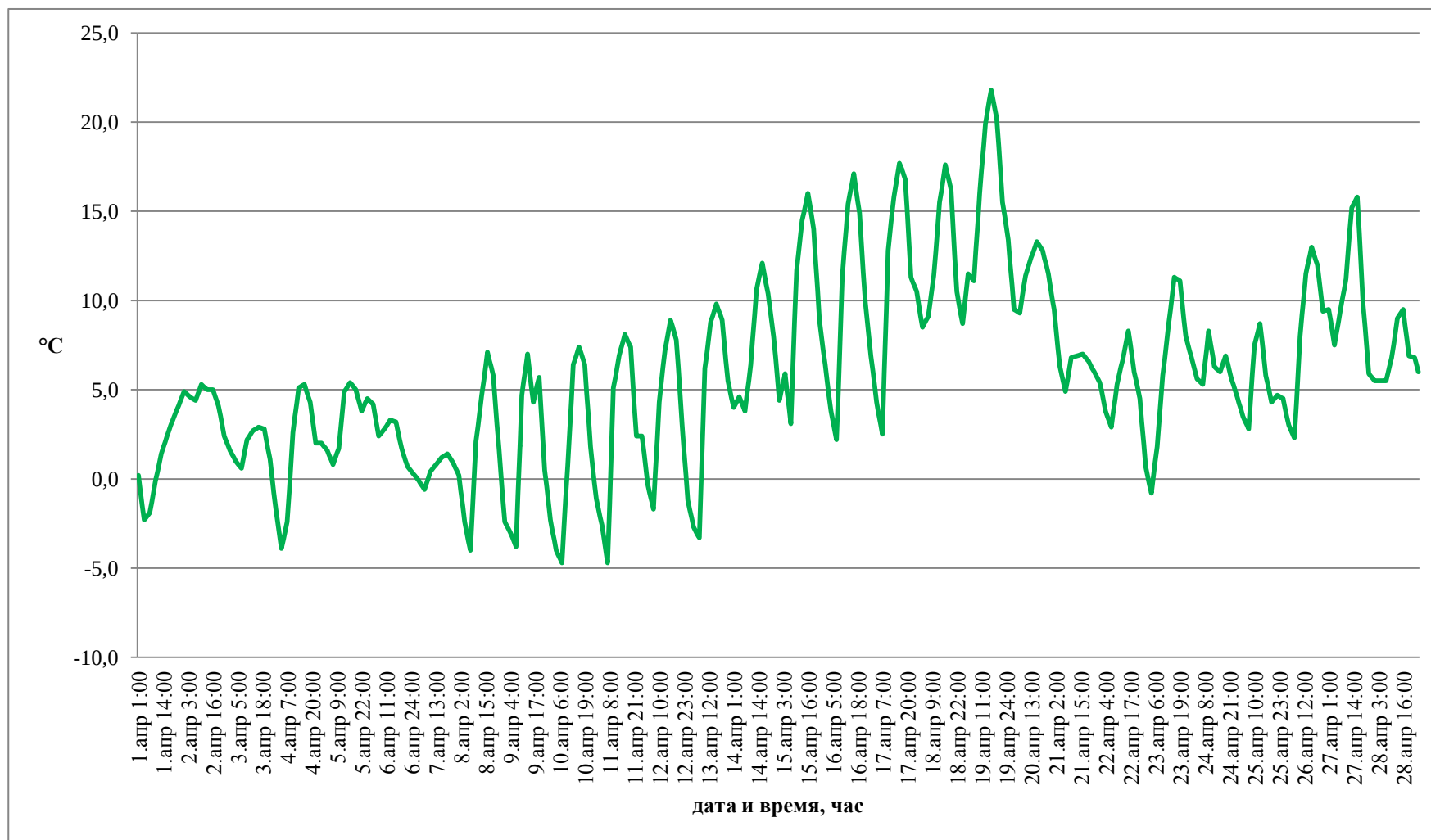


Рисунок 3.8 – Почасовые изменения температуры наружного воздуха, °C, за временной период с 1 апреля 2013г. по 28 апреля 2013г.

ГЛАВА 4. ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

4.1 Исследование теплотребления зданий на отопление и охлаждение

Целью исследования является оценка влияния почасовых изменений параметров наружного климата, величины бытовых или технологических тепловыделений, величины вентиляционного воздухообмена, значений температуры воздуха помещений на величину теплотребления жилых и общественных (офисных и административных) зданий на отопление и охлаждение.

Инструментом исследования является разработанная математическая модель теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах.

4.1.1 Теплотребление жилого здания на отопление и охлаждение

С учетом допущения о локализации части здания, объект исследования представляет собой жилое помещение, расположенное на 5 этаже жилого здания. Объем помещения составляет 60 м^3 , размеры помещения по внутреннему обмеру: ширина 4,48 м, глубина 4,48 м, высота 3 м, площадь пола 20 м^2 . Характеристики теплового режима и теплотехнические характеристики ограждающих конструкций смежных помещений аналогичны по отношению к рассматриваемому помещению.

Описание ограждающих конструкций.

Наружная стена рассматриваемого жилого помещения выполнена из кирпича, минераловатного утеплителя с отделкой из тонкослойной наружной штукатурки. Внутренняя поверхность наружной стены оштукатурена. Теплотехнические характеристики слоев наружной стены жилого помещения представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Теплотехнические характеристики слоев наружной стены жилого помещения

Наименование слоя конструкции наружной стены	Толщина слоя, м	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Объемная теплоемкость, кДж/м ³ ·°С
Цементно-песчаный раствор	0,020	0,930	1512
Кирпич	0,250	0,81	1584
Плиты минераловатные	0,130	0,046	117
Тонкослойная наружная штукатурка	0,006	0,81	1344

Коэффициент поглощения солнечной радиации наружной поверхностью стены составляет 0,4, [64].

Ориентация наружной стены рассматриваемого помещения – юг.

Конструкция внутренних стен рассматриваемого жилого помещений выполнена из монолитного железобетона толщиной 250 мм, с коэффициентом теплопроводности 2,04 Вт/м·°С и объемной теплоемкостью 2100 кДж/м³·°С.

Межэтажные перекрытия рассматриваемого жилого помещения представляют собой железобетонные плиты с цементно-песчаной стяжкой. Теплотехнические характеристики слоев межэтажных перекрытий представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Теплотехнические характеристики межэтажных перекрытий жилого помещения

Наименование слоя конструкции внутренней стены	Толщина слоя, м	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Объемная теплоемкость, кДж/м ³ ·°С
Цементно-песчаная стяжка	0,08	0,930	1512
Железобетонная плита перекрытия	0,22	2,040	2100

В наружной стене рассматриваемого жилого помещения установлен оконный блок – однокамерный стеклопакет, сопротивление теплопередаче которого составляет 0,54 м²·°С/Вт, сопротивление воздухопроницанию 0,9 м²·ч/кг. Площадь светопроницаемого заполнения оконного блока составляет 2,8

м². Коэффициенты проникания и поглощения солнечной радиации через светопроницаемое заполнение оконного блока принимаются по таблице 2.4.

Описание режима эксплуатации.

Характеристики теплового режима жилого помещения принимаются для холодного периода года в соответствии с «типовым профилем» для жилого помещения №1 и для теплого периода года в соответствии с «типовым профилем» для жилого помещения № 4.

Параметры наружного климата.

Почасовые значения параметров наружного климата принимаются для «типового года» №5, [42,43], такие как:

- температура наружного воздуха, t_n , °C;
- интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации на различно ориентированные поверхности, $I_{пр}$ и I_p соответственно, Вт/м²;
- направление и скорость ветра, v_n , м/с.

Результаты расчета

Результаты расчета почасовых изменений теплопотребления рассматриваемого жилого помещения на отопление и охлаждение в годовом цикле представлены на рисунках 4.1 и 4.2. Почасовые изменения температуры наружного воздуха в течение года представлены на рисунках 4.3 и 4.4.

Из графиков, представленных на рисках 4.1 и 4.2, следует, что необходимость отопления рассматриваемого жилого помещения для поддержания на заданном уровне температуры воздуха помещения не является непрерывной функцией по времени в течение холодного периода, а необходимость охлаждения не является непрерывной функцией по времени в течение теплого периода года. Например, в апреле для поддержания температуры воздуха жилого помещения в заданных пределах от плюс 20 до плюс 24°C в некоторые периоды времени требуется отопление, а в другие охлаждение.

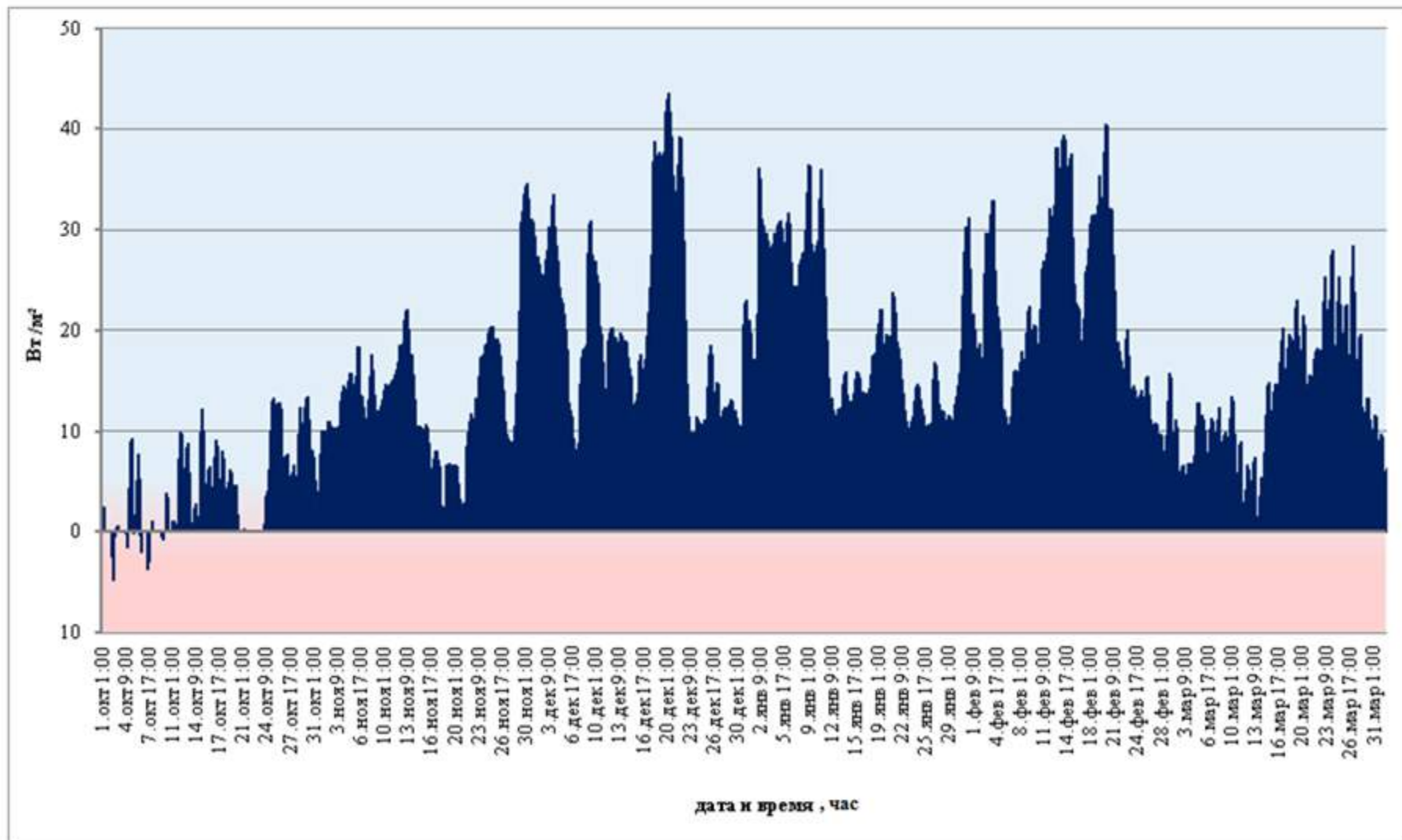


Рисунок 4.1 – Почасовые изменения теплопотребления жилого помещения на отопление (выше оси абсцисс) и охлаждение (ниже оси абсцисс), Вт/м^2 , с 1 октября по 31 марта.

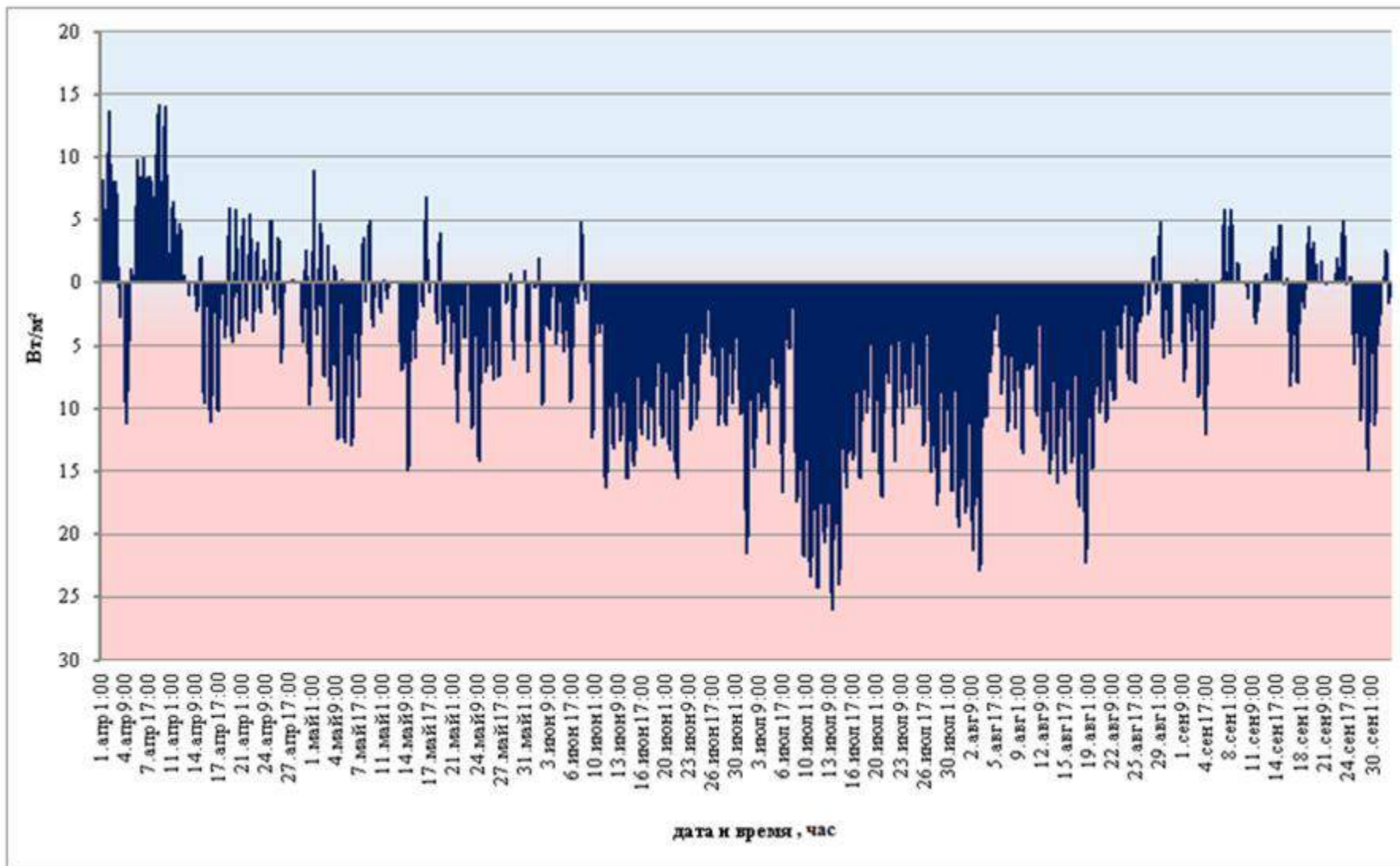


Рисунок 4.2 – Почасовые изменения теплотребления жилого помещения на отопление (выше оси абсцисс) и охлаждение (ниже оси абсцисс), Вт/м^2 , с 1 апреля по 30 сентября.

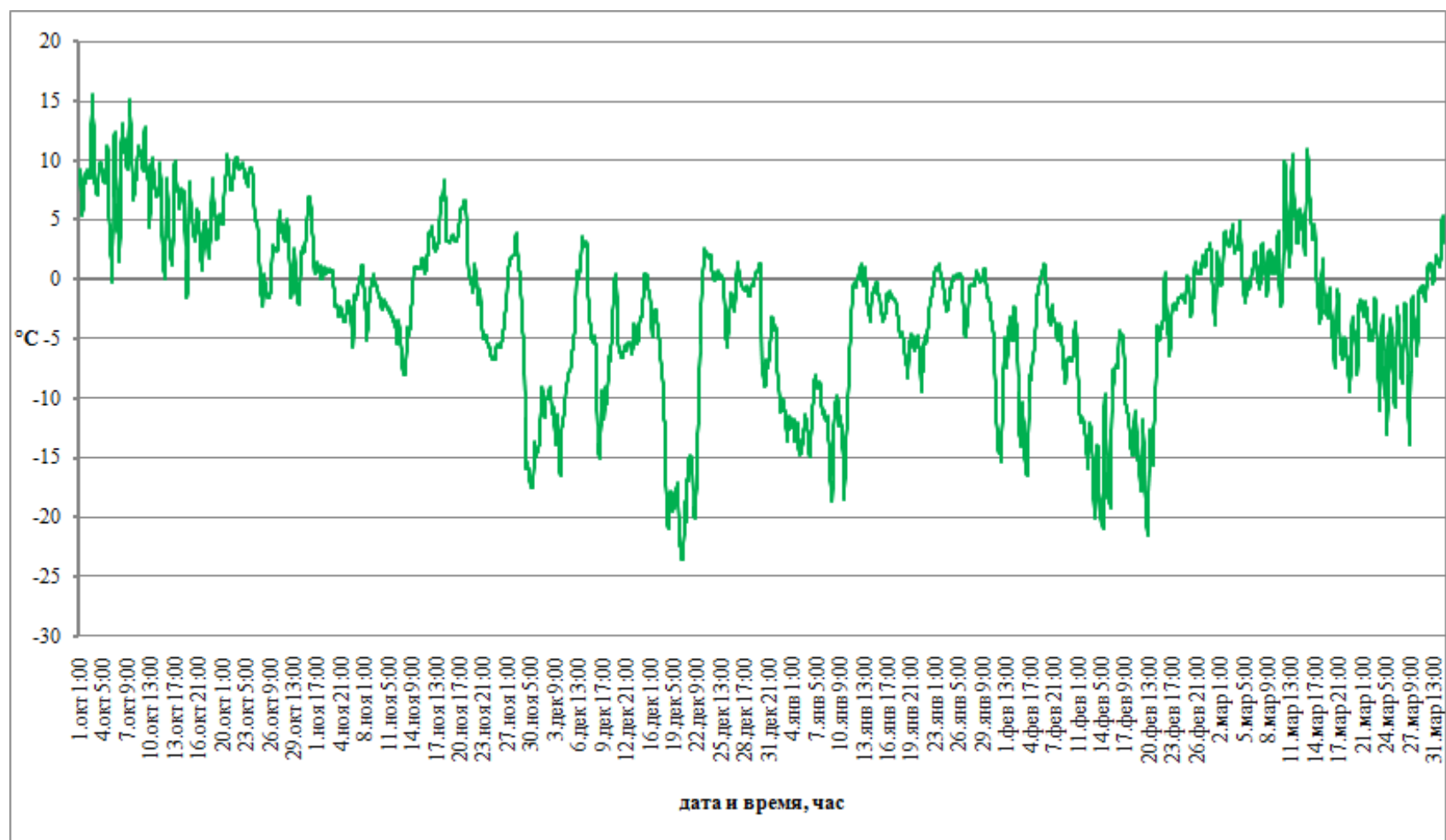


Рисунок 4.3 – Почасовые изменения температуры наружного воздуха, °C, с 1 октября по 31 марта.

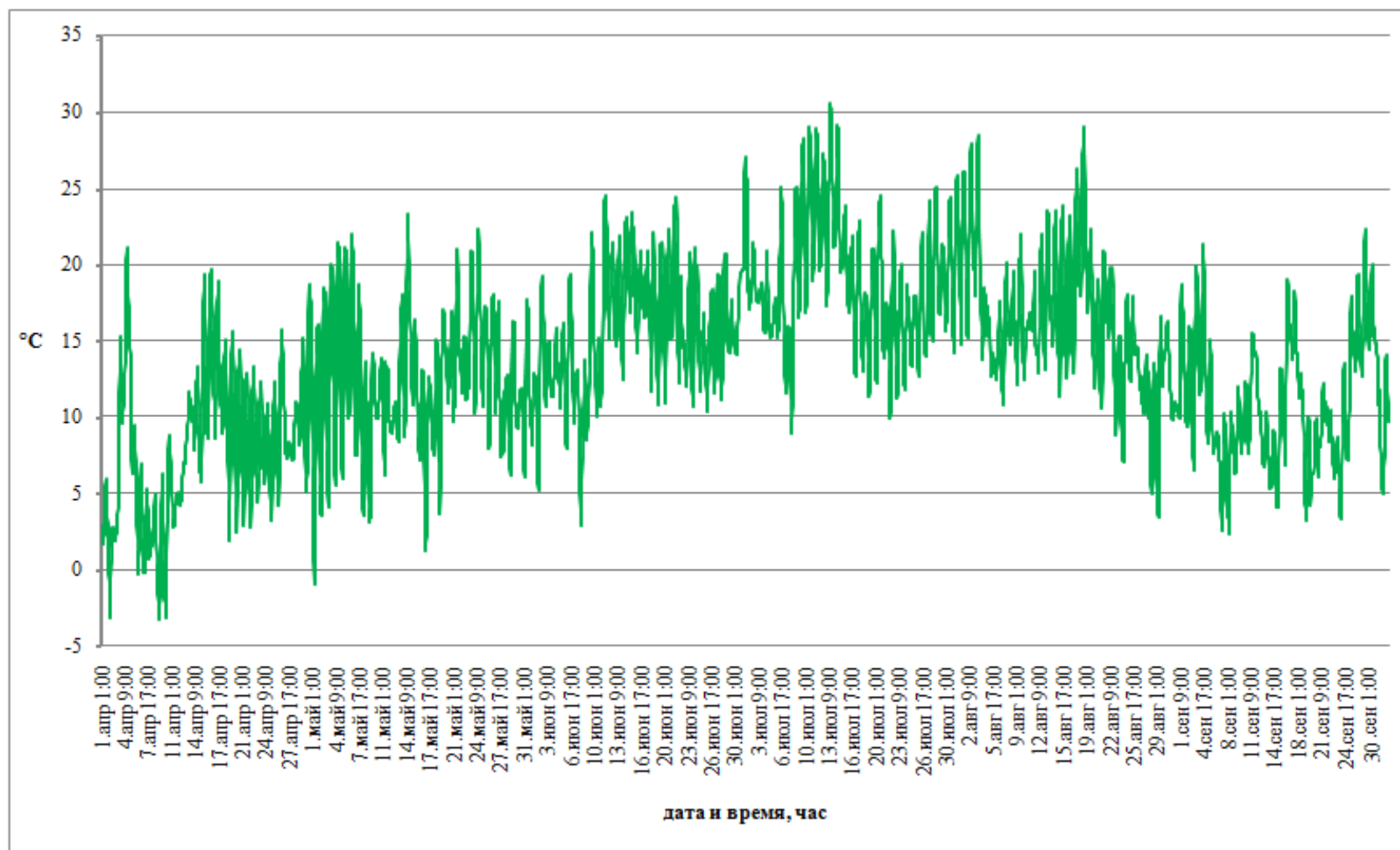


Рисунок 4.4 – Почасовые изменения температуры наружного воздуха, °C, с 1 апреля по 30 сентября.

В случае если суммарная доля трансмиссионных теплопотерь через ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена в общей структуре теплового баланса жилого помещения составляет более 50%, то для поддержания температуры воздуха помещения на заданном уровне необходимо отопление. В случае если суммарная доля тепlopоступлений через наружные ограждающие конструкции за счет воздействия температуры наружного воздуха и солнечной радиации, тепlopоступлений от солнечной радиации через заполнение светового проема, тепlopоступлений вследствие вентиляционного воздухообмена и бытовых тепловыделений в общей структуре теплового баланса жилого помещения составляет более 50%, то для поддержания температуры воздуха помещения на заданном уровне необходимо охлаждение.

На рисунке 4.5 представлены почасовые изменения суммарной доли трансмиссионных теплопотерь через ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена при температуре воздуха помещения плюс 20°C в общей структуре теплового баланса рассматриваемого жилого помещения в течение суток 23 апреля. Почасовые изменения суммарной доли бытовых тепловыделений и тепlopоступлений от солнечной радиации через заполнение светового проема при температуре воздуха помещения плюс 24°C в общей структуре теплового баланса рассматриваемого жилого помещения для 23 апреля приведены на рис 4.6. Почасовые изменения температуры наружного воздуха в течение суток 23 апреля представлены на рисунке 4.7.

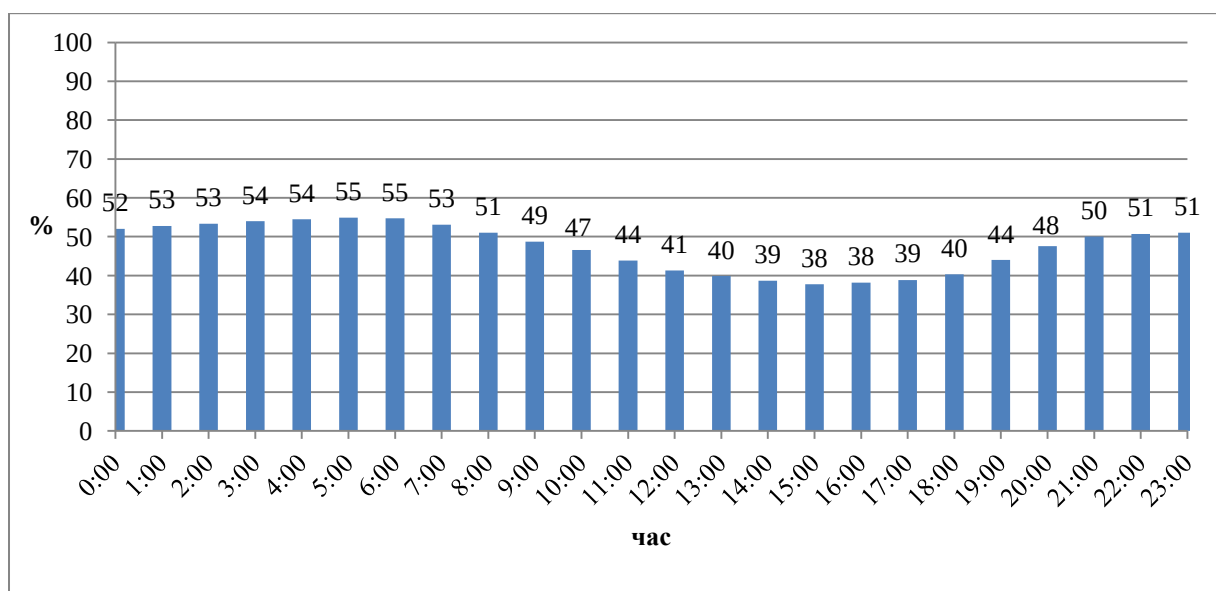


Рисунок 4.5 – Почасовые изменения суммарной доли трансмиссионных теплопотерь через ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена в общей структуре теплового баланса рассматриваемого жилого помещения, %, в течение суток 23 апреля.

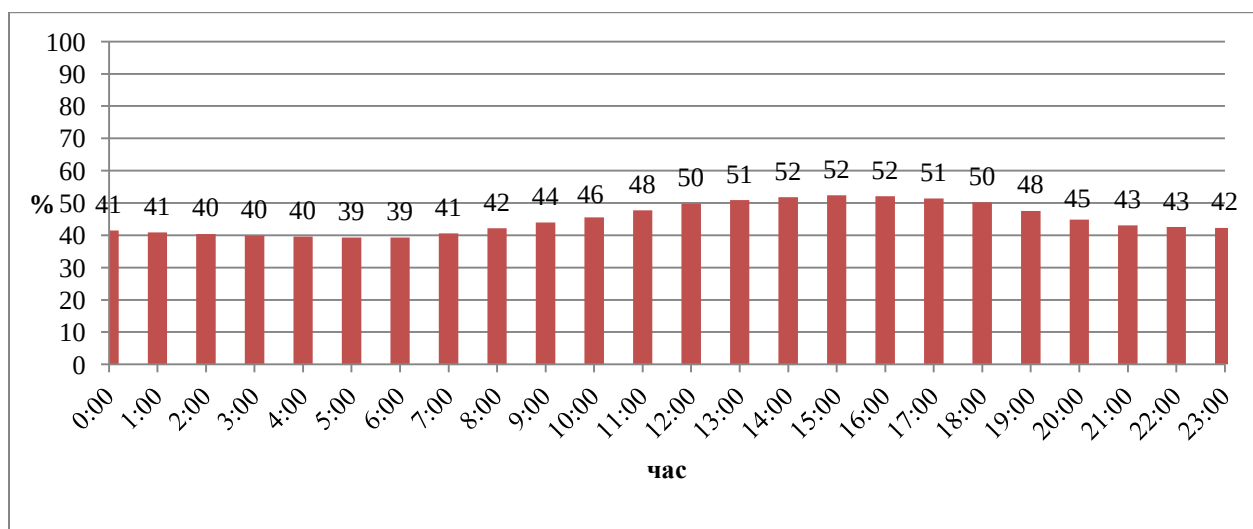


Рисунок 4.6 – Почасовые изменения суммарной доли бытовых тепловыделений и теплопоступлений от солнечной радиации через заполнение светового проема в общей структуре теплового баланса рассматриваемого жилого помещения, %, в течение суток 23 апреля.

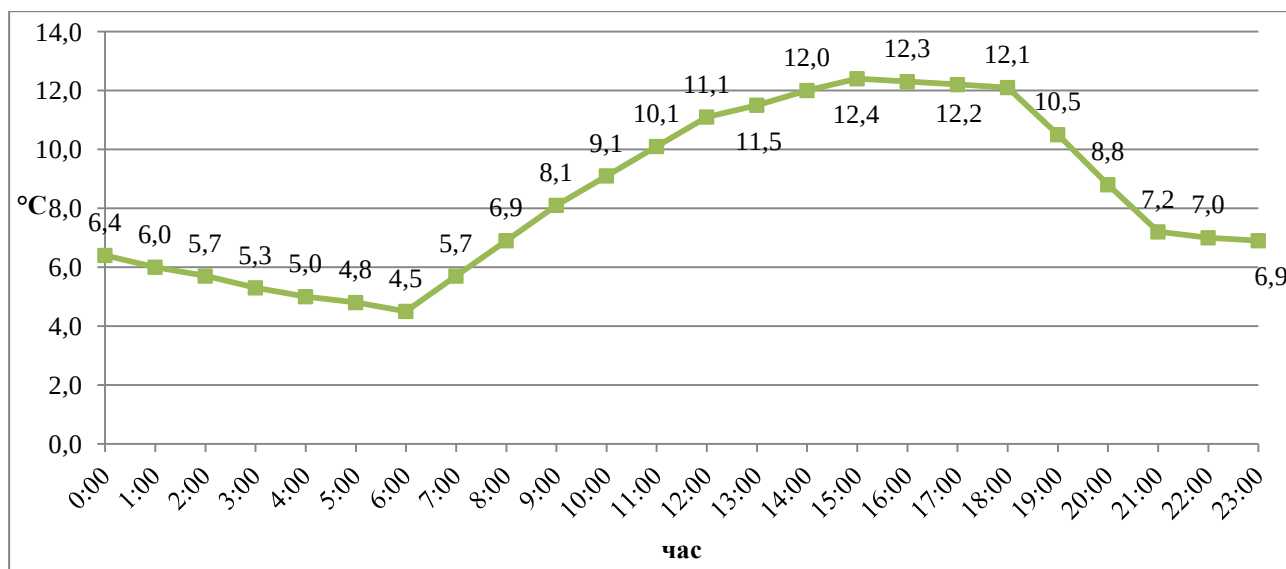


Рисунок 4.7 – Почасовые изменения температуры наружного воздуха, °C, 23 апреля.

Анализ графиков, представленных на рисунках 4.5–4.7, показал, что в течение рассматриваемых суток 23 апреля для поддержания температуры воздуха жилого помещения на заданном уровне:

- плюс 20°C – необходимо отопление с 21:00 до 8:00 ч., когда суммарная доля трансмиссионных теплопотерь через ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена составляет более 50% в общей структуре теплового баланса жилого помещения;
- плюс 24°C – необходимо охлаждение с 12:00 до 18:00 ч., когда суммарная доля бытовых тепловыделений и теплопоступлений от солнечной радиации через заполнение светового проема составляют более 50% в общей структуре теплового баланса жилого помещения;
- от плюс 20 до плюс 24°C – не требуется отопление или охлаждение с 8:00 до 12:00 ч. и с 18:00 до 21:00 ч., когда суммарная доля трансмиссионных теплопотерь через ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена при температуре воздуха помещения плюс 20°C и суммарная доля бытовых тепловыделений и теплопоступлений от солнечной радиации через заполнение светового проема при температуре воздуха помещения плюс 24°C составляют менее 50% в общей структуре теплового баланса жилого помещения, а температура воздуха рассматриваемого жилого помещения колеблется в заданном диапазоне от плюс 20 до плюс 24°C.

Для определения продолжительности периодов, когда для обеспечения температуры воздуха помещения на заданном уровне необходимо отопление, охлаждение или отопление или охлаждение помещения не требуется, введены следующие понятия:

- период активного отопления;
- период пассивного отопления;
- период активного охлаждения;
- период пассивного охлаждения.

Определения приведенных выше терминов даны в разделе диссертации «Словарь терминов».

Расчеты продолжительности периодов активного и пассивного отопления и активного и пассивного охлаждения проведены для четырех вариантов расположения рассматриваемого жилого помещения в здании: 1 – наружные ограждающие конструкции помещения ориентированы на юг; 2 – наружные ограждающие конструкции помещения ориентированы на север; 3 – наружные ограждающие конструкции помещения ориентированы на запад; 4 – наружные ограждающие конструкции помещения ориентированы на восток. Результаты расчетов представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Продолжительность периодов активного, пассивного отопления и активного, пассивного охлаждения рассматриваемого жилого помещения

Наименование периода	Продолжительность периода, час в год			
	вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 4
Период активного отопления	4605	4672	4642	4644
Период пассивного отопления	517	462	482	478
Период активного охлаждения	2738	2603	2638	2636
Период пассивного охлаждения	900	1023	998	1002

Теплопотребление рассматриваемого жилого помещения составляет: для 1 варианта – на отопление $67,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год, на охлаждение – $18,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год; для 2 варианта – на отопление $68,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год, на охлаждение – $17,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год; для 3 варианта – на отопление $67,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год, на охлаждение – $18,5$

кВт·ч/м² в год; для 4 варианта – на отопление 68,0 кВт·ч/м² в год, на охлаждение – 18,5 кВт·ч/м² в год.

Для выявления потенциала снижения теплопотребления жилого здания на отопление и охлаждение исследована структура теплового баланса рассматриваемого жилого помещения. При этом были рассмотрены три варианта расположения помещения в жилом здании: рядовое помещение (одна наружной стена и одно окно), угловое помещение (две наружных стены и одно окно) и угловое помещение верхнего этажа (двумя наружных стены, покрытие, теплотехнические показатели которого соответствуют требованиям, установленным в [64], одно окно).

Соотношение в общей структуре теплового баланса рассматриваемых жилых помещений доли трансмиссионных теплопотерь через светонепроницаемые, светопроницаемые ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена при температуре воздуха помещения плюс 20°C для 20 декабря в 15:00 часов при температуре наружного воздуха минус 19,6°C представлено на рисунке 4.8; для 23 апреля в 6:00 часов при температуре наружного воздуха плюс 4,5°C представлено на рисунке 4.9.

Результаты расчета, представленные на рисунках 4.8 и 4.9, показали, что для рассматриваемых жилых помещений теплопотери вследствие вентиляционного воздухообмена составляют до 75% в общей структуре теплового баланса и значительно превышают трансмиссионные теплопотери через ограждающие конструкции. Только для углового помещения верхнего этажа здания теплопотери вследствие вентиляционного воздухообмена, как и теплопотери через ограждающие конструкции, могут составлять 50% в общей структуре теплового баланса. С учетом данного обстоятельства можно сделать вывод о целесообразности применения энергосберегающих инженерных решений в системе вентиляции, например, утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного воздуха.

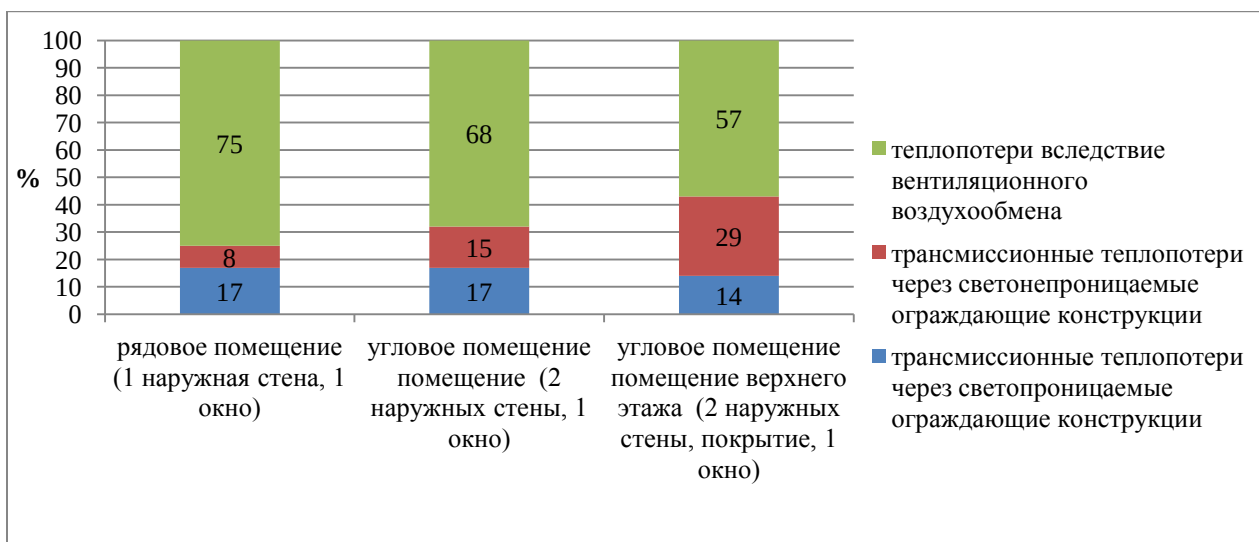


Рисунок 4.8 – Соотношение доли трансмиссионных теплопотерь через светонепроницаемые, светопроницаемые ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена в общей структуре теплового баланса жилых помещений, %, для 20 декабря.

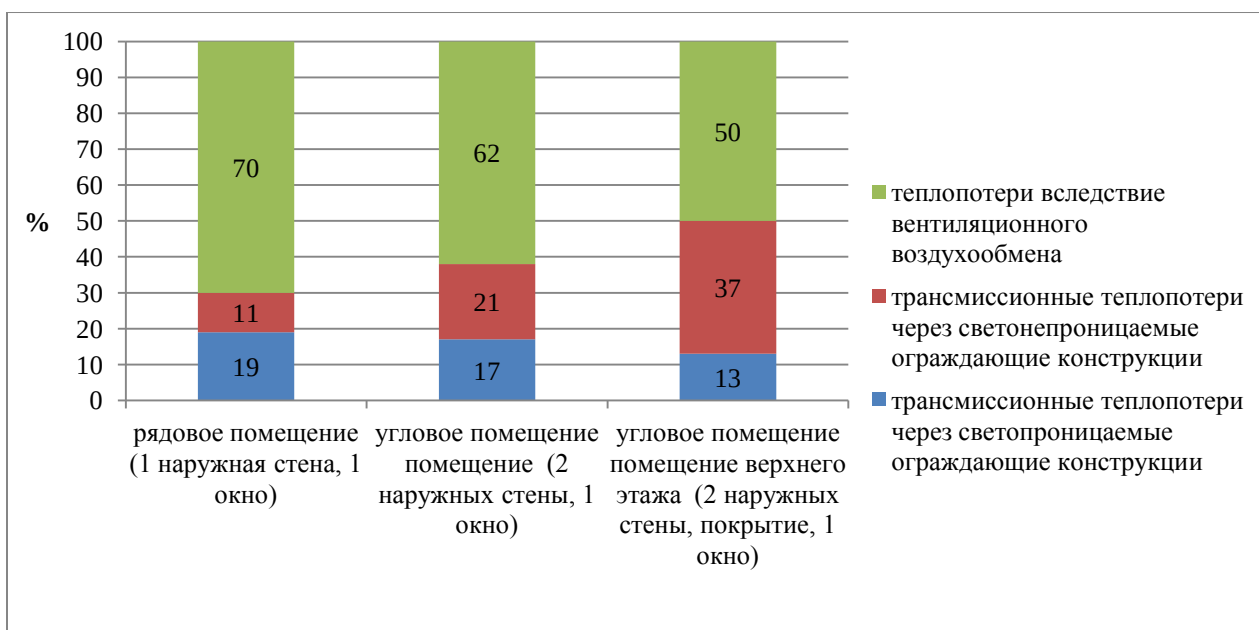


Рисунок 4.9 – Соотношение доли трансмиссионных теплопотерь через светонепроницаемые, светопроницаемые ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена в общей структуре теплового баланса жилых помещений, %, для 23 апреля.

Соотношение в общей структуре теплового баланса рассматриваемого жилого помещения теплоступлений через наружные светонепроницаемые и светопроницаемые ограждающие конструкции за счет воздействия температуры наружного воздуха и солнечной радиации, теплоступлений вследствие вентиляционного воздухообмена и бытовых тепловыделений при температуре

воздуха помещения плюс 25°C для 13 июля в 15:00 часов при температуре наружного воздуха плюс 29,1°C представлено на рисунке 4.10.



Рисунок 4.10 – Соотношение доли теплопоступлений через наружные светонепроницаемые и светопроницаемые ограждающие конструкции за счет воздействия температуры наружного воздуха и солнечной радиации, теплопоступлений вследствие вентиляционного воздухообмена и бытовых тепловыделений в общей структуре теплового баланса жилых помещений, %, для 13 июля.

Из графика, представленного на рисунке 4.10, следует, что в теплый период бытовые тепловыделения составляют наибольшую долю в общей структуре теплового баланса жилого помещения – до 53%, вместе с тем данная величина может существенно меняться и зависит от метода учета бытовых тепловыделений: как постоянной или как переменной величины в суточном и годовом циклах.

При этом переменные значения бытовых тепловыделений в суточном и годовом циклах в большей степени соответствуют фактическому режиму эксплуатации жилого помещения и расчеты теплопотребления на отопление и охлаждение следует производить с учетом данного обстоятельства.

4.1.2 Теплотребление на отопление и охлаждение офисного здания

С учетом допущения о локализации части здания, объект исследования представляет собой офисное помещение, расположенное на 3 этаже здания. Объем помещения составляет 72 м^3 , размеры помещения по внутреннему обмеру: ширина 4,48 м, глубина 5,35 м, высота 3 м, площадь пола 24 м^2 . Характеристики теплового режима и теплотехнические характеристики ограждающих конструкций смежных помещений аналогичны по отношению к рассматриваемому помещению.

Описание ограждающих конструкций.

Наружная стена рассматриваемого офисного помещения выполнена из кирпича, минераловатного утеплителя с отделкой из тонкослойной наружной штукатурки. Внутренняя поверхность наружной стены оштукатурена. Теплотехнические характеристики слоев наружной стены офисного помещения представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Теплотехнические характеристики слоев наружной стены офисного помещения

Наименование слоя конструкции наружной стены	Толщина слоя, м	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Объемная теплоемкость, кДж/м ³ ·°С
Цементно-песчаный раствор	0,020	0,930	1512
Кирпич	0,250	0,81	1584
Плиты минераловатные	0,120	0,048	151
Тонкослойная наружная штукатурка	0,006	0,81	1344

Ориентация наружной стены рассматриваемого помещения – юг.

Коэффициент поглощения солнечной радиации наружной поверхностью стены составляет 0,5, [64].

Конструкция внутренних стен рассматриваемого офисного помещения выполнена из монолитного железобетона толщиной 250 мм, с коэффициентом теплопроводности $2,04 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$ и объемной теплоемкостью $2100 \text{ кДж/м}^3 \cdot ^\circ\text{С}$. Межэтажные перекрытия рассматриваемого офисного помещения представляют

собой железобетонные плиты с цементно-песчаной стяжкой. Теплотехнические характеристики слоев межэтажных перекрытий представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Теплотехнические характеристики межэтажных перекрытий офисного помещения

Наименование слоя конструкции внутренней стены	Толщина слоя, м	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Объемная теплоемкость, кДж/м ³ ·°С
Цементно-песчаная стяжка	0,08	0,930	1512
Железобетонная плита перекрытия	0,22	2,040	2100

В наружной стене рассматриваемого офисного помещения установлен оконный блок – однокамерный стеклопакет с сопротивлением теплопередаче 0,45 м²·°С/Вт, сопротивлением воздухопроницанию 0,9 м²·ч/кг. Площадь светопроницаемого заполнения оконного блока составляет 4,8 м². Коэффициенты проникания и поглощения солнечной радиации через светопроницаемое заполнение оконного блока принимаются по таблице 2.4.

Описание режима эксплуатации.

Характеристики теплового режима рассматриваемого офисного помещения принимаются для рабочего дня холодного периода в соответствии с «типовым профилем» для офисного помещения № 7, для выходного дня холодного периода в соответствии с «типовым профилем» для офисного помещения № 8, для рабочего дня теплого периода в соответствии с «типовым профилем» для офисного помещения № 9 и для выходного дня теплого периода в соответствии с «типовым профилем» для офисного помещения № 10.

Параметры наружного климата.

В качестве значений параметров наружного климата принимаются значения «типового года №5», [42,43], такие как:

- температура наружного воздуха, t_n , °С;
- интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации на различно ориентированные поверхности, $I_{пр}$ и I_p соответственно, Вт/м²;
- направление и скорость ветра, v_n , м/с.

Результаты расчета.

Результаты расчета почасовых изменений теплотребления рассматриваемого офисного помещения на отопление и охлаждение в годовом цикле представлены на рисунках 4.11 и 4.12. Почасовые изменения температуры наружного воздуха в течение года представлены на рисунках 4.3 и 4.4. Из графиков, представленных на рисунках 4.11 и 4.12, следует что, как и для жилого помещения, необходимость отопления рассматриваемого офисного помещения для поддержания на заданном уровне температуры воздуха помещения не является непрерывной функцией по времени в течение холодного периода, а необходимость охлаждения не является непрерывной функцией по времени в течение теплого периода года. На рисунке 4.13 представлены почасовые изменения суммарной доли трансмиссионных тепловпотерь через ограждающие конструкции и тепловпотерь вследствие вентиляционного воздухообмена при температуре воздуха помещения плюс 19°C в общей структуре теплового баланса рассматриваемого офисного помещения в течение суток 14 марта. Почасовые изменения суммарной доли технологических тепловыделений и тепlopоступлений от солнечной радиации через заполнение светового проема при температуре воздуха помещения плюс 23°C в общей структуре теплового баланса рассматриваемого офисного помещения для 14 марта приведены на рисунке 4.14. Почасовые изменения температуры наружного воздуха в течение суток 14 марта представлены на рисунке 4.15.

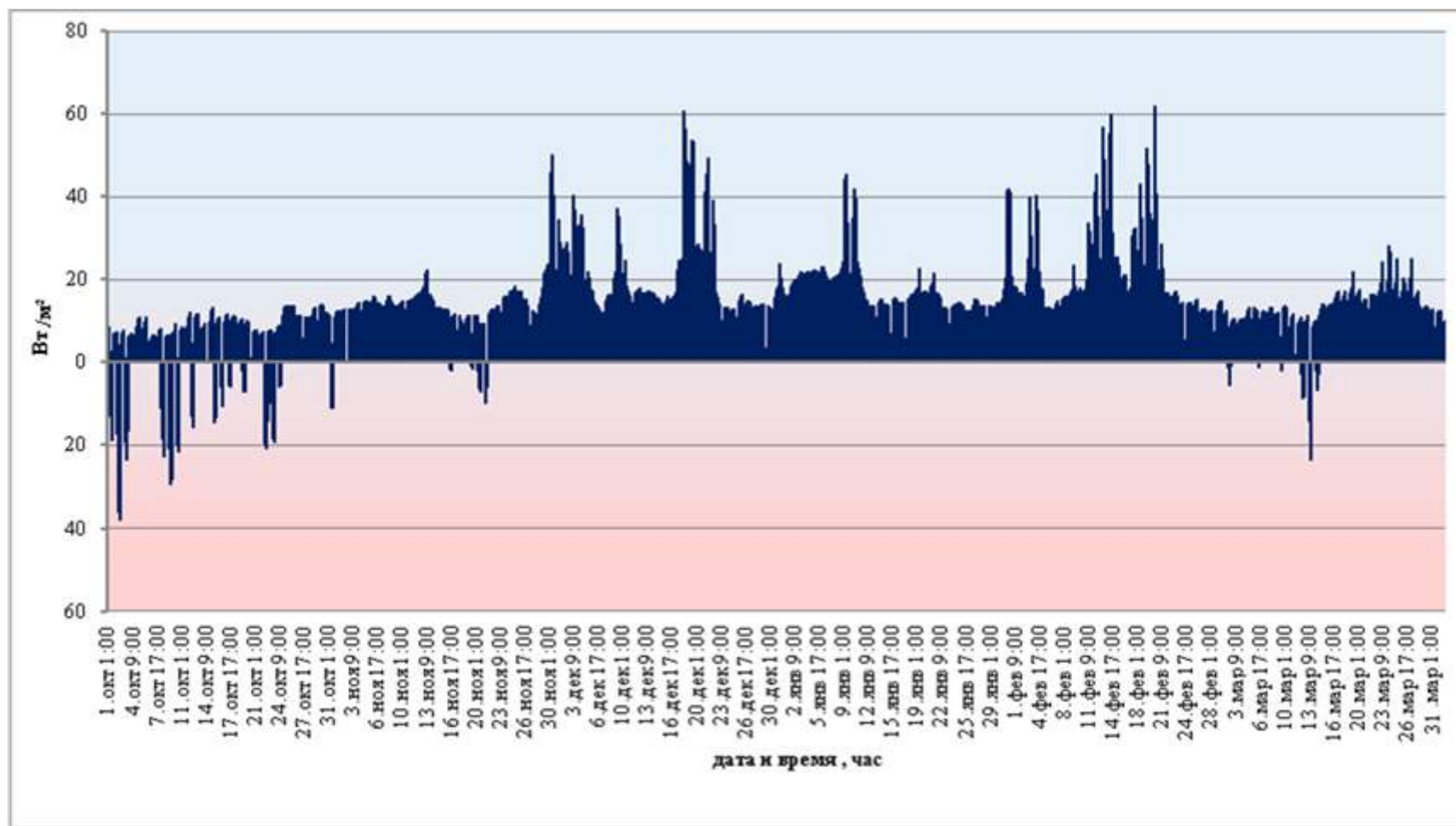


Рисунок 4.11 – Почасовые изменения теплопотребления офисного помещения на отопление (выше оси абсцисс) и охлаждение (ниже оси абсцисс), Вт/м^2 , с 1 октября по 31 марта.

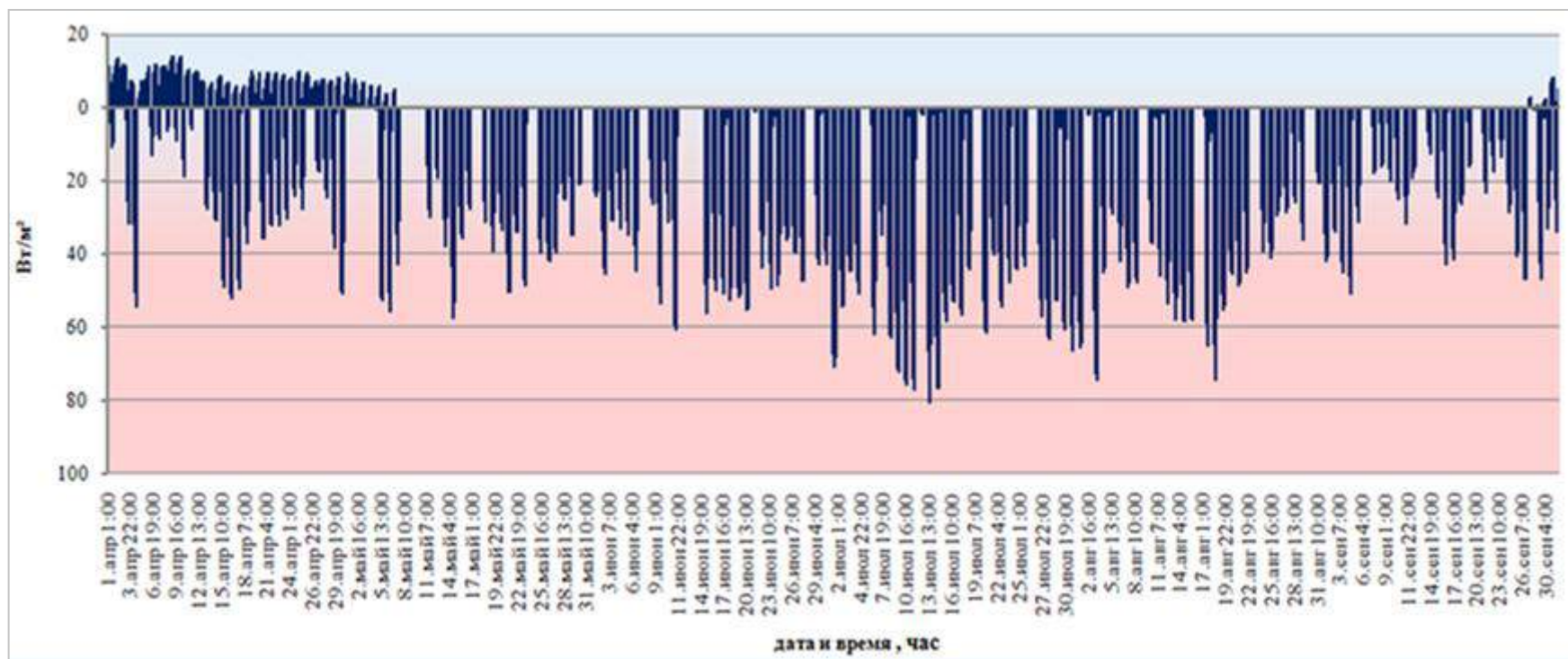


Рисунок 4.12 – Почасовые изменения теплотребования офисного помещения на отопление (выше оси абсцисс) и охлаждение (ниже оси абсцисс), Вт/м^2 , с 1 апреля по 30 сентября.

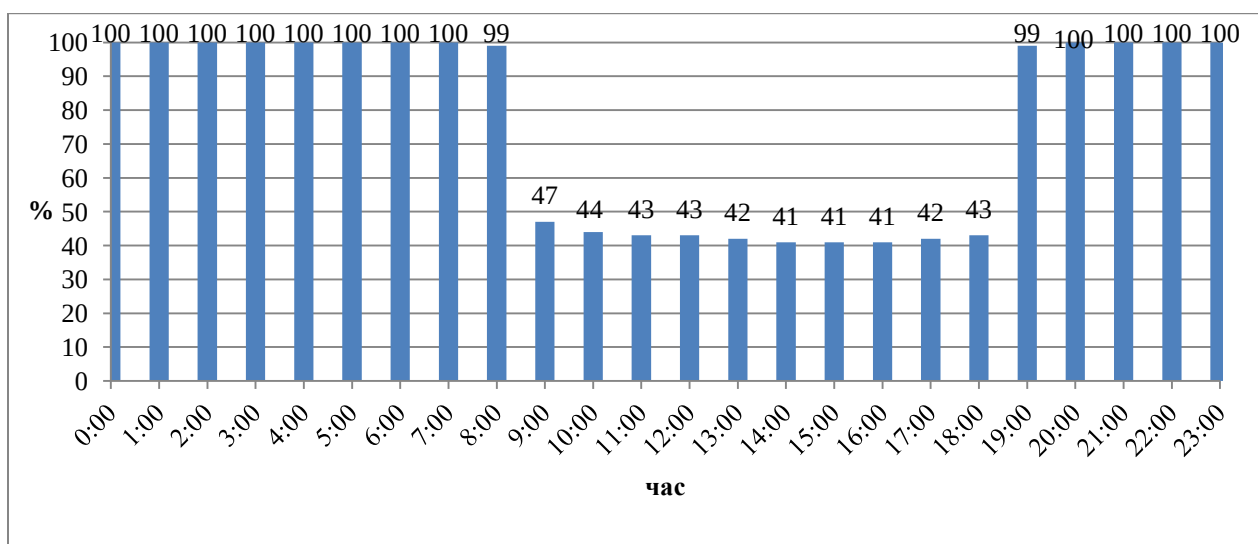


Рисунок 4.13 – Почасовые изменения суммарной доли трансмиссионных теплопотерь через ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена в общей структуре теплового баланса рассматриваемого офисного помещения, %, в течение суток 14 марта.

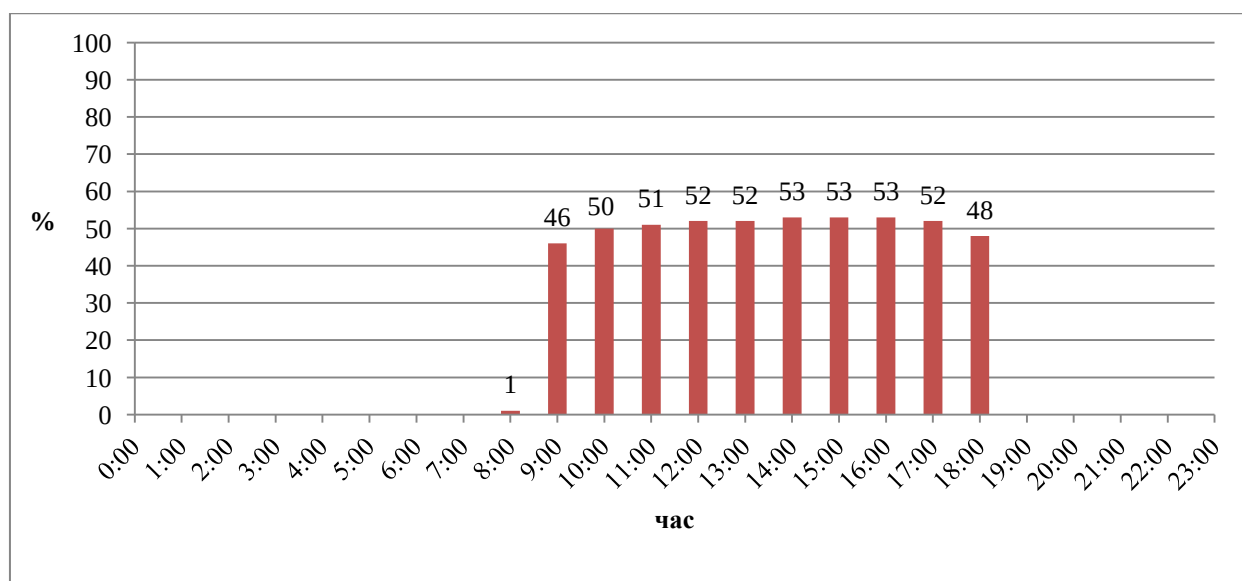


Рисунок 4.14 – Почасовые изменения суммарной доли технологических тепловыделений и теплопоступлений от солнечной радиации через заполнение светового проема в общей структуре теплового баланса рассматриваемого офисного помещения, %, в течение суток 14 марта.

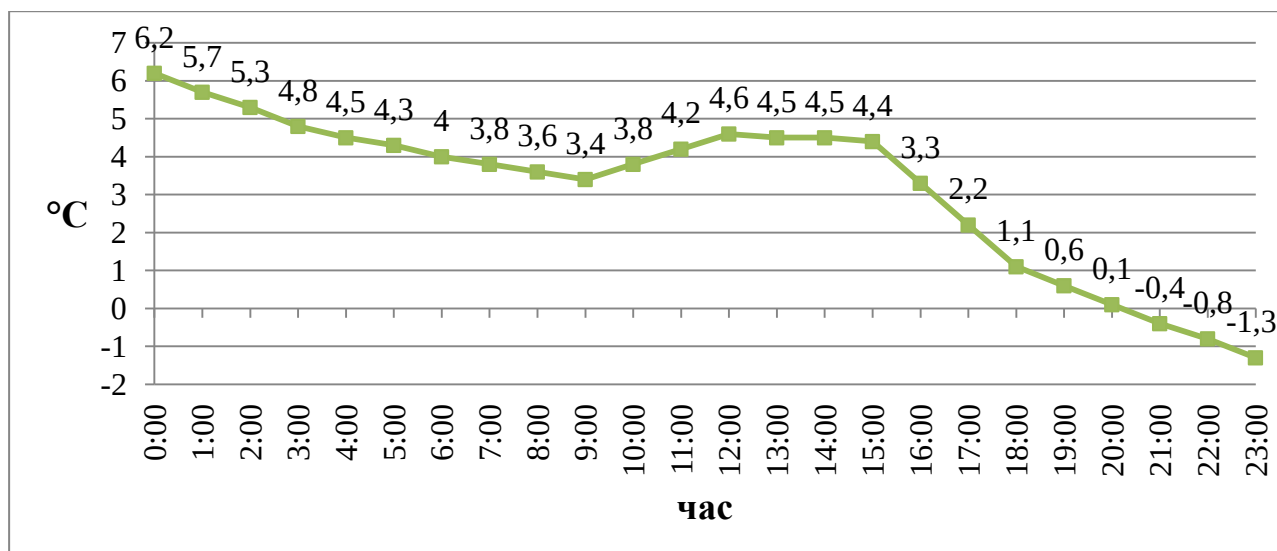


Рисунок 4.15 – Почасовые изменения температуры наружного воздуха, °C, 14 марта.

Анализ графиков, представленных на рисунках 4.13-4.15, показал, что в течение рассматриваемых суток 14 марта для поддержания температуры воздуха офисного помещения на заданном уровне:

- плюс 19°C – необходимо отопление с 18:00 до 9:00 ч., когда суммарная доля трансмиссионных теплопотерь через ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена составляет более 50% в общей структуре теплового баланса офисного помещения;
- плюс 23°C – необходимо охлаждение с 10:00 до 17:00 ч., когда суммарная доля технологических тепловыделений и теплопоступлений от солнечной радиации через заполнение светового проема составляют более 50% в общей структуре теплового баланса офисного помещения;
- от плюс 19 до плюс 23°C – не требуется отопление или охлаждение с 9:00 до 10:00 ч. и с 17:00 до 18:00 ч., когда суммарная доля трансмиссионных теплопотерь через ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена при температуре воздуха помещения плюс 19°C и суммарная доля технологических тепловыделений и теплопоступлений от солнечной радиации через заполнение светового проема при температуре воздуха помещения плюс 23°C составляют менее 50% в общей структуре теплового баланса офисного помещения, а температура воздуха

рассматриваемого помещения колеблется в заданном диапазоне от плюс 19 до плюс 23°C.

Расчеты продолжительности периодов активного и пассивного отопления и активного и пассивного охлаждения проведены для четырех вариантов расположения рассматриваемого офисного помещения в здании: 1 – наружные ограждающие конструкции помещения ориентированы на юг; 2 – наружные ограждающие конструкции помещения ориентированы на север; 3 – наружные ограждающие конструкции помещения ориентированы на запад; 4 – наружные ограждающие конструкции помещения ориентированы на восток. Результаты расчета представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Продолжительность периодов активного, пассивного отопления и активного, пассивного охлаждения офисного помещения здания в годовом цикле

Наименование периода	Продолжительность периода, час в год			
	вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 4
Период активного отопления	4160	4228	4200	4202
Период пассивного отопления	626	576	596	598
Период активного охлаждения	1175	1045	1075	1078
Период пассивного охлаждения	2799	2911	2889	2882

Теплопотребление на отопление рассматриваемого офисного помещения составляет: для 1 варианта – на отопление 64,3 кВт·ч/м² в год, на охлаждение – 55,3 кВт·ч/м² в год; для 2 варианта – на отопление 66,1 кВт·ч/м² в год, на охлаждение – 53,2 кВт·ч/м² в год; для 3 варианта – на отопление 65,0 кВт·ч/м² в год, на охлаждение – 55,2 кВт·ч/м² в год; для 4 варианта – на отопление 65,2 кВт·ч/м² в год, на охлаждение – 55,2 кВт·ч/м² в год.

Для выявления потенциала снижения теплопотребления офисного здания на отопление и охлаждение исследована структура теплового баланса рассматриваемого офисного помещения.

Соотношение в общей структуре теплового баланса рассматриваемого офисного помещения доли трансмиссионных теплопотерь через светонепроницаемые, светопроницаемые ограждающие конструкции и

теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена при температуре воздуха помещения плюс 19°C для рабочего дня 19 декабря в 15:00 часов при температуре наружного воздуха минус 17,4°C и в 22:00 часа при температуре наружного воздуха минус 22,0°C представлено на рисунке 4.16; для рабочего дня 14 марта в 15:00 часов при температуре наружного воздуха плюс 4,4°C и в 22:00 часа при температуре наружного воздуха минус 0,8°C представлено на рисунке 4.17.

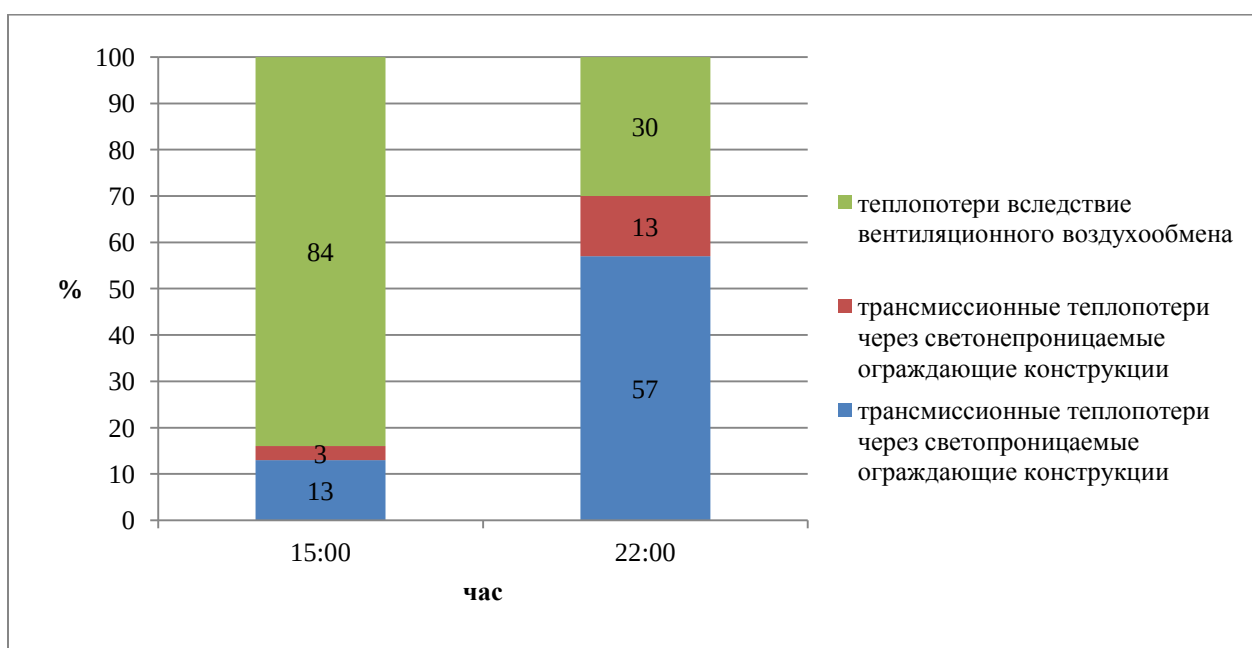


Рисунок 4.16 – Соотношение доли трансмиссионных теплопотерь через светонепроницаемые, светопроницаемые ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена в общей структуре теплового баланса рассматриваемого офисного помещения, %, для 19 декабря.

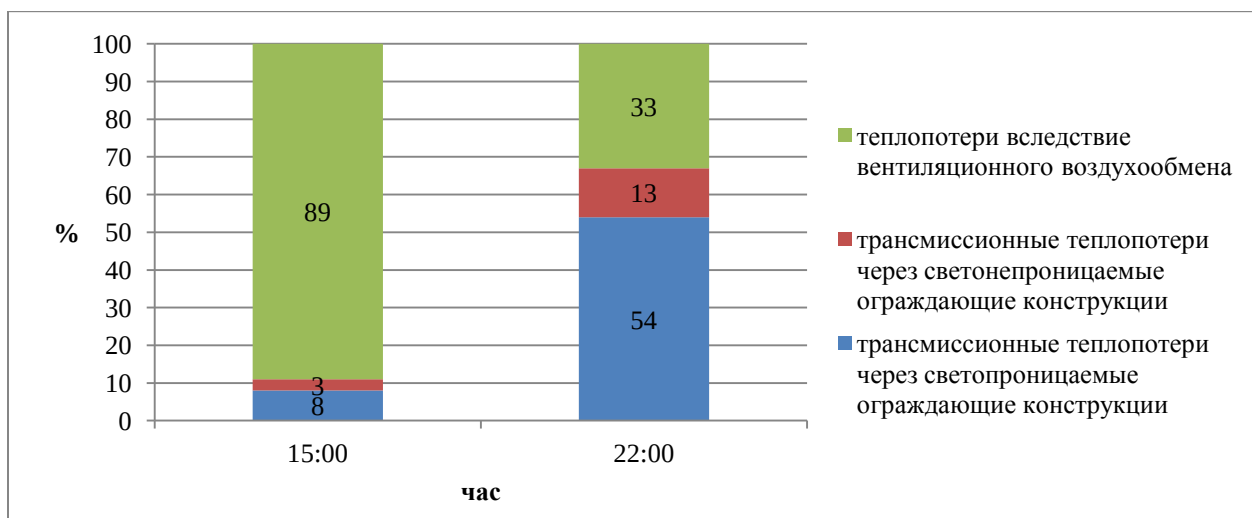


Рисунок 4.17 – Соотношение доли трансмиссионных теплопотерь через светонепроницаемые, светопроницаемые ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена в общей структуре теплового баланса рассматриваемого офисного помещения, %, для 14 марта.

Результаты расчета, представленные на рисунках 4.16 и 4.17, показали, что теплопотери вследствие вентиляционного воздухообмена в рабочее время суток составляют до 89% в общей структуре теплового баланса, а в нерабочее время суток, когда величина вентиляционного воздухообмена снижается до $0,2 \text{ ч}^{-1}$, наибольшую долю в общей структуре теплового баланса офисного помещения составляют трансмиссионные теплопотери через светопроницаемые ограждающие конструкции – 57%. Последнее свидетельствует о целесообразности использования в нерабочее время суток устройств, позволяющих снизить трансмиссионные теплопотери через светопроницаемые ограждающие конструкции.

Соотношение в общей структуре теплового баланса рассматриваемого офисного помещения теплоступлений через наружные светонепроницаемые и светопроницаемые ограждающие конструкции за счет воздействия температуры наружного воздуха и солнечной радиации, теплоступлений вследствие вентиляционного воздухообмена и технологических тепловыделений при температуре воздуха помещения плюс 25°C для 13 июля в 15:00 часов при температуре наружного воздуха плюс $29,1^{\circ}\text{C}$ представлено на рисунке 4.18.

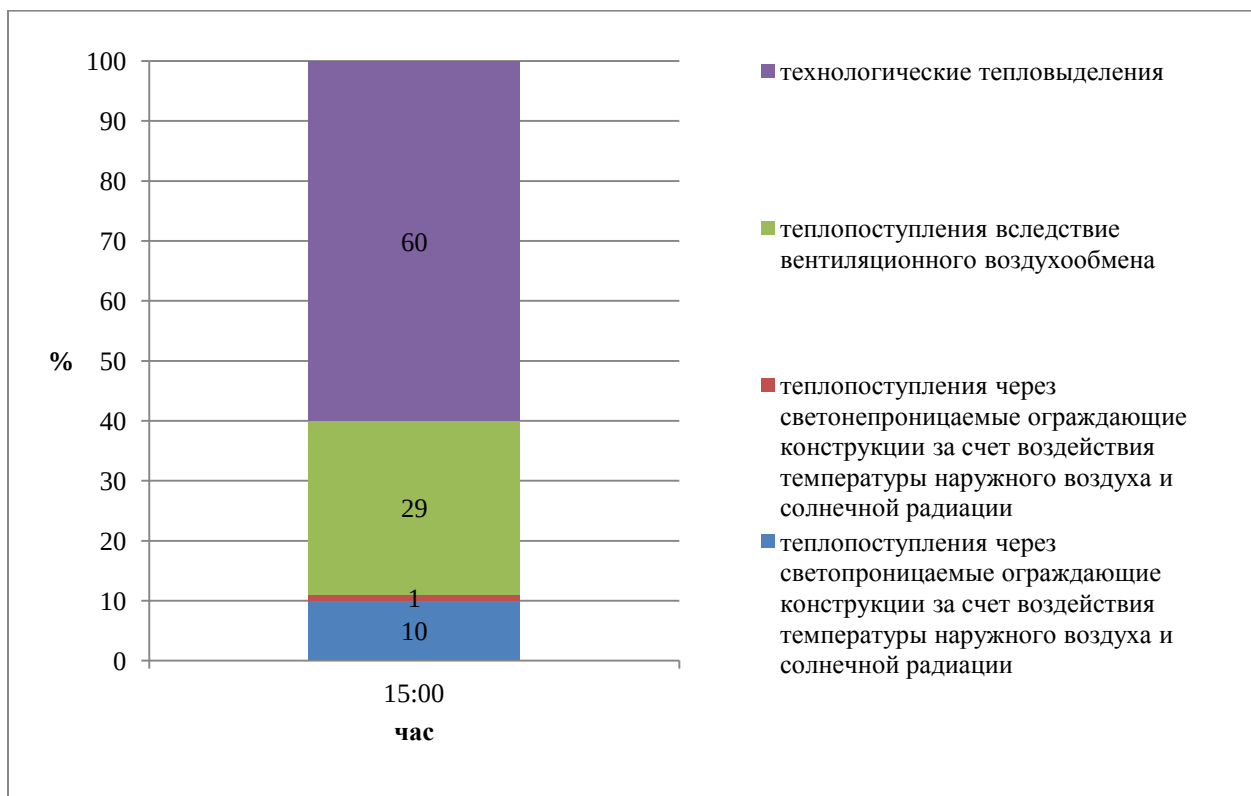


Рисунок 4.18 – Соотношение доли теплопоступлений через наружные светонепроницаемые и светопроницаемые ограждающие конструкции за счет воздействия температуры наружного воздуха и солнечной радиации, теплопоступлений вследствие вентиляционного воздухообмена и технологических тепловыделений в общей структуре теплового баланса рассматриваемого офисного помещения, %, для 13 июля.

Из графика, представленного на рисунке 4.18 следует, что технологические тепловыделения составляют наибольшую долю в структуре теплового баланса офисного помещения – 60%, теплопоступления вследствие вентиляционного воздухообмена составляют – 29%, а теплопоступления через светонепроницаемые и светопроницаемые ограждающие конструкции за счет воздействия температуры наружного воздуха и солнечной радиации составляют соответственно 1 и 10%. В связи с этим для снижения теплопотребления на охлаждение в теплый период возможно увеличение кратности вентиляционного воздухообмена в часы, когда температура наружного воздуха ниже требуемого значения температуры воздуха помещения и имеется необходимость охлаждения помещения.

4.2 Исследование влияния составляющих теплового баланса помещений на величину теплопотребления здания на отопление и охлаждение

С учетом результатов анализа структуры теплового баланса для жилых и офисных помещений целью дальнейших исследований являлась оценка влияния на величину теплопотребления здания на отопление и охлаждение изменения составляющих теплового баланса помещений зданий в результате:

1. Учета почасовых изменений бытовых тепловыделений и почасовых изменений величины вентиляционного воздухообмена для жилого помещения.
2. Увеличения кратности вентиляционного воздухообмена в офисном помещении, как альтернативы искусственному охлаждению.
3. Устройства теплозащитных «ночных» штор в офисном помещении.
4. Использования утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного воздуха для жилого помещения.

При исследовании влияния почасовых изменений бытовых тепловыделений и величины вентиляционного воздухообмена на величину теплопотребления жилого помещения на отопление и охлаждение предполагается, что в часы, когда жильцы в помещении отсутствуют величина бытовых тепловыделений принимается равной 0 Вт/м^2 , а величина вентиляционного воздухообмена снижается до $0,2 \text{ ч}^{-1}$. В часы, когда жильцы присутствуют в помещении, почасовые значения бытовых тепловыделений принимаются в соответствии со специальным графиком изменения бытовых тепловыделений в течение суток, разработанным таким образом, чтобы среднечасовое годовое значение величины бытовых тепловыделений составило 17 Вт/м^2 , при этом величина вентиляционного воздухообмена принимается $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади пола.

Почасовые изменения величины бытовых тепловыделений и величины вентиляционного воздухообмена в жилом помещении принимаются для рабочего дня холодного периода года согласно «типовому профилю» для жилого помещения № 2, для выходного дня холодного периода года согласно «типовому

профилю» для жилого помещения № 3, для рабочего дня теплого периода года согласно «типовому профилю» для жилого помещения № 5 и для выходного дня теплого периода года согласно «типовому профилю» для жилого помещения № 6.

Результаты расчета теплотребования жилого помещения на отопление и охлаждение представлены на рисунке 4.19, результаты расчета продолжительности периодов отопления и охлаждения представлены на рисунке 4.20.

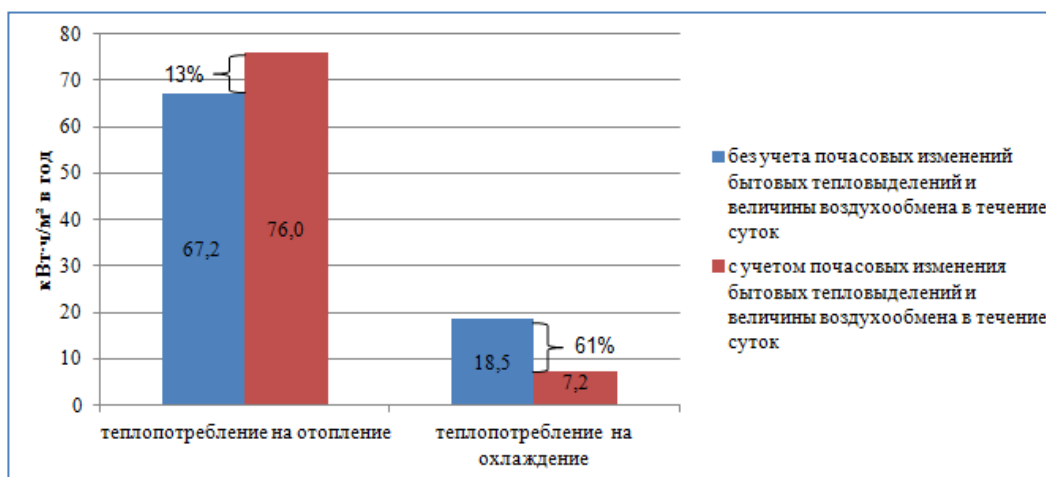


Рисунок 4.19 – Теплотребление на отопление и охлаждение жилого помещения, $\text{kVt} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год

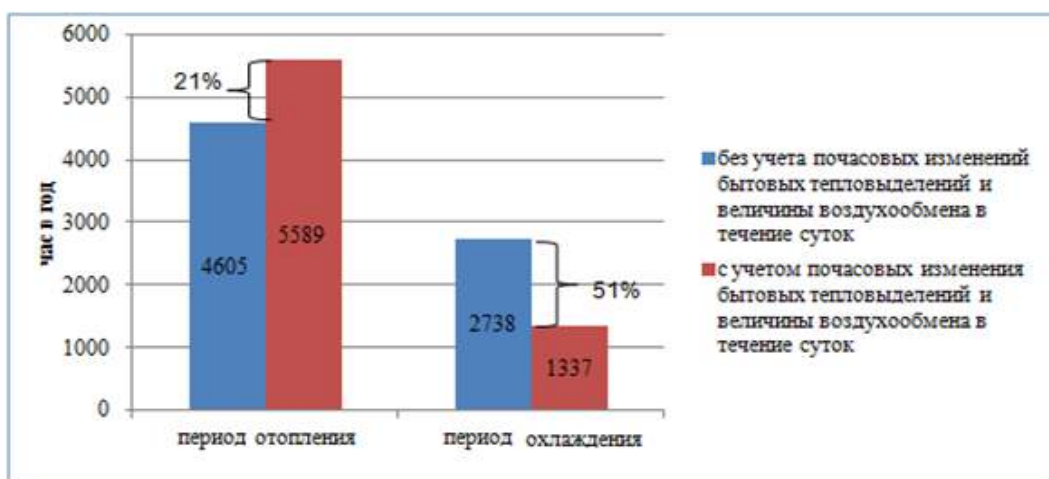


Рисунок 4.20 – Продолжительность периодов отопления и охлаждения жилого помещения, час в год

Результаты расчета, представленные на рисунках 4.19 и 4.20, показали, что отличие полученных значений теплотребования жилого помещения на отопление с учетом почасовых суточных изменений величины бытовых

тепловыделений и при постоянных значениях величины бытовых тепловыделений в течение суток (при этом величина вентиляционного воздухообмена принимается равной $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади пола и не изменяется в суточном и годовом циклах) составляет до 15%, а результаты расчета продолжительности периода отопления отличаются до 25%; отличие результатов расчета теплотребования жилого помещения на охлаждение с учетом почасовых суточных изменений величины бытовых тепловыделений и при постоянных значениях величины бытовых тепловыделений в течение суток составляет до 65%, а отличие результатов расчета продолжительности периода охлаждения составляет до 55%.

При исследовании влияния увеличения кратности вентиляционного воздухообмена, как альтернативы искусственному охлаждению, на величину теплотребования офисного помещения на охлаждение предполагается, что в теплый период года в часы, когда температура наружного воздуха ниже требуемого значения температуры воздуха помещения и имеется необходимость охлаждения помещения, обусловленная наличием технологических тепловыделений и/или теплоступлений вследствие воздействия солнечной радиации, возможно увеличение кратности вентиляционного воздухообмена с целью снижения теплотребования на охлаждение. В этом случае в помещение подается приточный воздух в объеме, превышающем нормативное значение, например, в 1,5 раза, с температурой равной температуре наружного воздуха.

Результаты расчета теплотребования офисного помещения на охлаждение представлены на рисунке 4.21, результаты расчета продолжительности периодов охлаждения на рисунке 4.22.

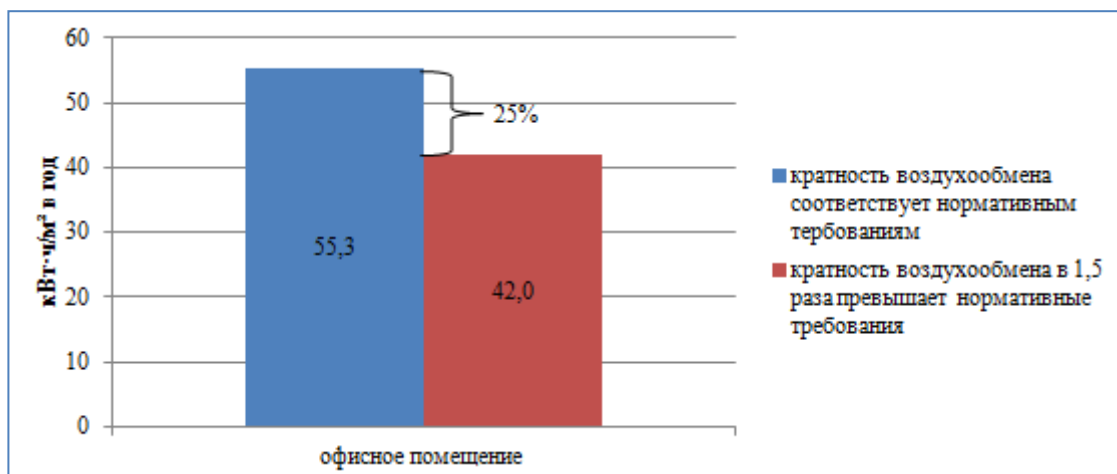


Рисунок 4.21 – Теплопотребление на охлаждение офисного помещения, кВт·ч/м² в год

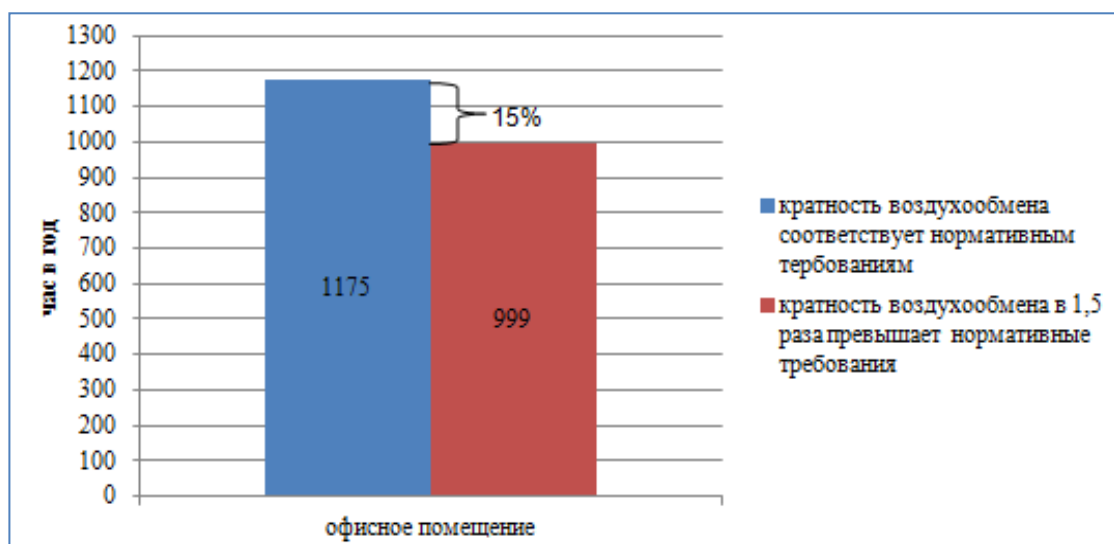


Рисунок 4.22 – Продолжительность периодов охлаждения офисного помещения, час в год

Результаты расчета, представленные на рисунках 4.21 и 4.22 показали, что увеличение кратности вентиляционного воздухообмена в 1,5 раза в теплый период года, когда значение температуры наружного воздуха ниже требуемого значения температуры воздуха помещения позволяет снизить теплопотребление на охлаждение до 25% и сократить количество часов периода охлаждения до 15%.

При исследовании влияния устройства теплозащитных «ночных» штор на теплопотребление офисного помещения на отопление предполагается применение в холодный период года теплозащитных «ночных» штор, которые представляют собой, например, межстекольные экраны, выполненные из

пенопласта, толщиной 10 мм с сопротивлением теплопередаче $0,27 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ [71]. Таким образом, сопротивление теплопередаче заполнения оконного проема в холодный период года с 7:00 до 20:00 ч. составляет $0,45 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, с 20:00 до 7:00 ч. составляет $0,72 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Размер теплозащитных «ночных» штор совпадает с размерами окна офисного помещения. При этом выполнены расчеты для двух вариантов: офисное помещение с окном, площадь которого составляет $4,8 \text{ м}^2$, и офисного помещения со сплошным остеклением.

Результаты расчета теплотребования офисного помещения на отопление представлены на рисунке 4.23, результаты расчета продолжительности периодов отопления на рисунке 4.24.

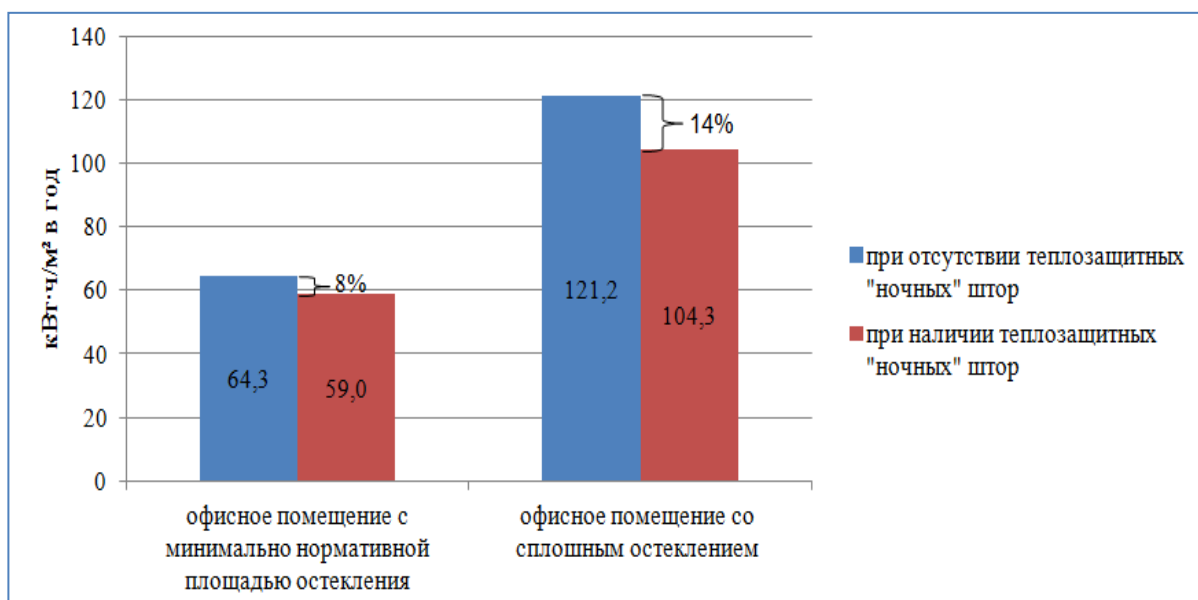


Рисунок 4.23– Теплотребление на отопление офисного помещения, $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год

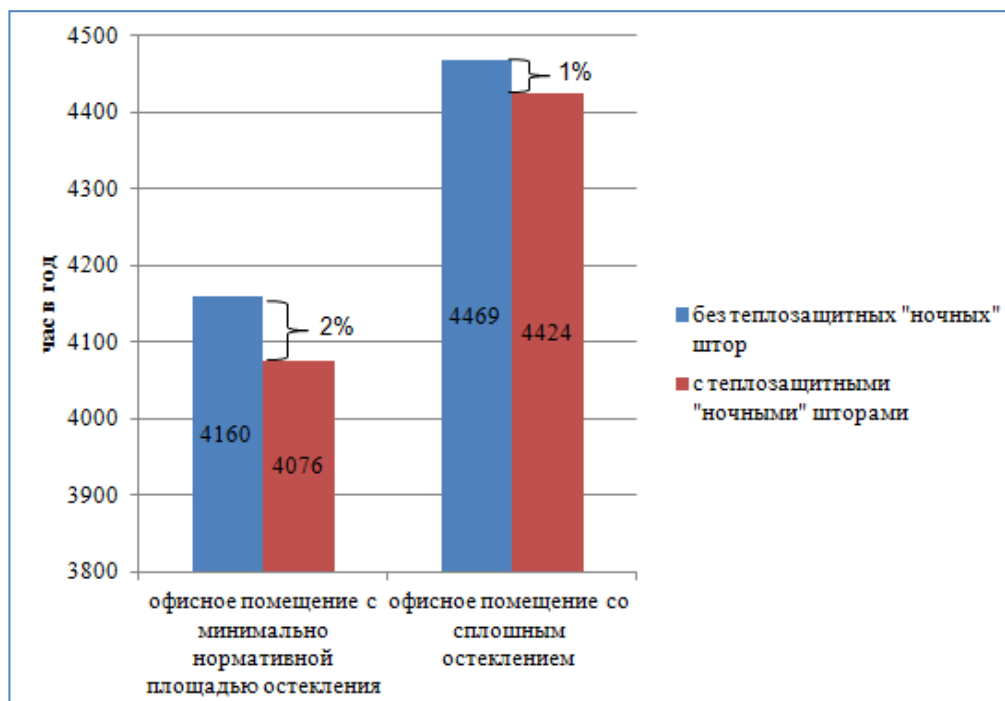


Рисунок 4.24 – Продолжительность периодов отопления офисного помещения, час в год

Результаты расчета, представленные на рисунках 4.23 и 4.24, показали, что устройство теплозащитных «ночных» штор позволяет снизить теплотребление офисного помещения на отопление на 8 – 14% в зависимости от площади остекления, и незначительно сократить период отопления – на 1-2%.

При исследовании влияния на величину теплотребления жилого помещения на отопление использования утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного воздуха предполагается устройство поквартирной механической системы вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха посредством пластинчатого теплообменника для подогрева приточного воздуха.

Результаты расчета теплотребления жилого помещения на отопление представлены на рисунке 4.25.

Результаты расчета, представленные на рисунке 4.25, показали, что использование утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного

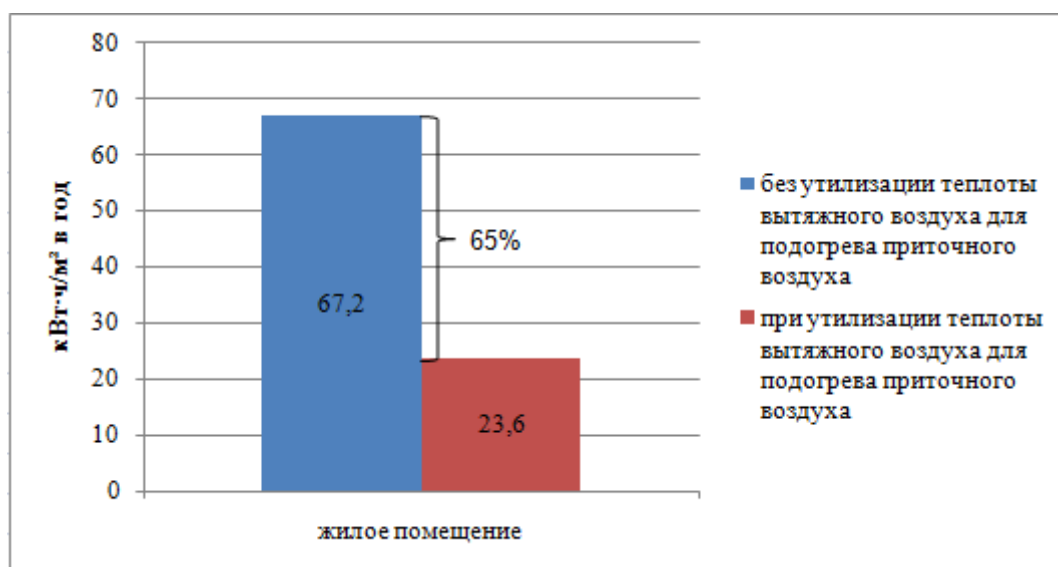


Рисунок 4.25– Теплопотребление на отопление жилого помещения, кВт·ч/м² в год

воздуха посредством пластинчатого теплообменника позволяет снизить теплопотребление на отопление на 65%.

По результатам, изложенным в главе 4, можно сделать, в том числе, следующие выводы:

- Расчеты теплопотребления зданий на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах следует производить с учетом почасовых изменений параметров наружного климата, а также почасовых значений бытовых или технологических тепловыделений, почасовых значений величины вентиляционного воздухообмена и почасовых значений температуры воздуха помещений.

- Продолжительность периодов отопления и охлаждения в значительной степени зависит, при прочих равных условиях, от переменной величины бытовых или технологических тепловыделений, переменной величины вентиляционного воздухообмена и может отличаться для зданий различного технологического назначения: для рассмотренных в жилых и офисных зданий отличие значений продолжительности периода отопления достигает до 27%, а продолжительности периода охлаждения до 65 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненного исследования позволяют подвести следующие **итоги:**

1. Современные требования к энергетической эффективности зданий определяют необходимость оценки их теплопотребления не только на основе расчета расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период, но также в годовом цикле, включая расход тепловой энергии на охлаждение, с учетом почасовых изменений параметров наружного климата, почасовых изменений бытовых или технологических тепловыделений, почасовых изменений величины вентиляционного воздухообмена, почасовых изменений температуры воздуха помещений и изменения во времени величины сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

2. Усовершенствована математическая модель теплопотребления здания на отопление и охлаждение в годовом цикле в части возможности оценки влияния на его величину эффективности широкого класса энергосберегающих инженерных решений и технологий и учета почасовых изменений:

- параметров наружного климата, таких как температура наружного воздуха, интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации на различно ориентированные поверхности, скорость и направление ветра;
- бытовых или технологических тепловыделений, изменяемых вследствие переменного режима эксплуатации помещений в течение суток;
- величины вентиляционного воздухообмена, изменяемой в связи с регулированием расхода приточного воздуха по потребности в течение суток;
- температуры воздуха помещения, изменяемой в соответствии с требованиями нормативных документов в зависимости от периода года;
- сопротивления теплопередаче светопроницаемых ограждающих конструкций, существенно изменяющегося в течение суток в результате применения энергосберегающих инженерных решений и технологий, например теплозащитных «ночных» штор.

3. Предложено обобщенное уравнение теплового баланса воздуха помещения, которое позволяет производить оценку влияния на величину теплопотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах широкого класса энергосберегающих инженерных решений и технологий.

4. Математическая модель и компьютерная программа расчета теплопотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах может быть использована для:

- прогнозирования теплопотребления зданий на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах и продолжительности периодов отопления и охлаждения;

- оценки расчетной теплопроизводительности систем отопления, вентиляции и охлаждения в годовом цикле с целью подбора оборудования и выбора целесообразного режима его функционирования;

- многовариантного анализа и обоснования целесообразности применения в конкурсных проектах зданий инженерных, энергосберегающих, архитектурно-планировочных и других решений, влияющих на теплопотребление здания на отопление и охлаждение;

- выполнения требований рейтинговых систем оценки «зеленых» зданий о необходимости повышения энергетической эффективности зданий.

5. Особенности разработанной компьютерной программы, реализующей математическую модель теплопотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах, являются ее модульная структура, обеспечивающая возможность развития компьютерной программы без необходимости существенной переработки алгоритмов расчета, и использование почасовых значений параметров наружного климата, представленных в электронном формате CSV, что дает возможность использовать отечественные и зарубежные «типовые года» и при необходимости, обеспечивает простоту редактирования почасовых значений параметров наружного климата.

6. Установлено, что расчеты теплотребления зданий на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах необходимо производить с учетом почасовых изменений параметров наружного климата, а также почасовых значений бытовых или технологических тепловыделений, величины вентиляционного воздухообмена и температуры воздуха помещений. Обоснованность данного вывода подтверждается следующими обстоятельствами:

- Для офисных и жилых помещений:

- определено, что в холодный период года имеют место часы, когда вместо ожидаемого теплотребления на отопление требуется теплотребление на охлаждение помещений, а в теплый период года – часы, когда вместо ожидаемого теплотребления на охлаждение помещений требуется теплотребление на отопление;

- показано, что продолжительность периодов отопления и охлаждения в значительной степени зависит от переменной величины бытовых или технологических тепловыделений, величины вентиляционного воздухообмена, теплозащитных показателей ограждающих конструкций и может отличаться для зданий различного технологического назначения.

По результатам выполненного исследования можно сформулировать следующие **рекомендации** по использованию результатов диссертационной работы:

- Для офисных помещений:

- на основе анализа отечественных и зарубежных работ предложена методика учета почасовых изменений технологических тепловыделений в тепловом балансе помещений, которую рекомендуется использовать при расчете теплотребления на отопление и охлаждение;

- как альтернатива искусственному охлаждению воздуха рекомендуется увеличение кратности вентиляционного воздухообмена в теплый период года, когда значение температуры наружного воздуха ниже требуемого значения температуры воздуха помещения и имеется необходимость охлаждения

помещения, что позволяет снизить теплопотребление на охлаждение до 25% и сократить количество часов периода охлаждения до 15% для зданий, расположенных в Москве;

- рекомендовано устройство теплозащитных «ночных» штор в помещениях офисных зданий, что позволяет сократить теплопотребление на отопление в годовом цикле на 8–14% в зависимости от площади остекления.

- Для жилых помещений:

- рекомендовано при расчете теплопотребления на отопление и охлаждение и определении продолжительности периодов отопления и охлаждения учитывать почасовые суточные изменения величины бытовых тепловыделений. Отличие результатов расчета теплопотребления жилого помещения на отопление с учетом почасовых суточных изменений величины бытовых тепловыделений и при постоянных значениях величины бытовых тепловыделений в течение суток составляет до 15%, а результаты расчета продолжительности периода отопления отличаются до 25%; отличие результатов расчета теплопотребления жилого помещения на охлаждение с учетом почасовых суточных изменений величины бытовых тепловыделений и при постоянных значениях величины бытовых тепловыделений в течение суток составляет до 65%, а отличие результатов расчета продолжительности периода охлаждения составляет до 55%;

- применение поквартирной системы механической вентиляции с использованием утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного воздуха посредством пластинчатого теплообменника, устройство которой позволит обеспечить не только регулирование и поддержание на заданном уровне параметров микроклимата помещений, но так же является одним из наиболее эффективных энергосберегающих решений для современных зданий с высокими теплозащитными характеристиками ограждающих конструкций, которое позволяет снизить теплопотребление на отопление до 65%.

Перспективы дальнейшей разработки темы:

1. Уточнение разработанной математической модели с целью

расширения области применения в части реализации возможности учета особенностей влажностного режима помещений общественных зданий и оценки расхода электрической энергии, потребляемой инженерным оборудованием систем отопления, вентиляции и охлаждения.

2. Расширение и систематизация исследований влияния энергосберегающих инженерных решений и технологий, почасовых изменений параметров наружного климата, почасовых изменений бытовых или технологических тепловыделений, почасовых изменений величины вентиляционного воздухообмена, почасовых изменений температуры воздуха помещений и изменения во времени величины сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций на теплопотребление здания на отопление и охлаждение в годовом цикле.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

В данном разделе приведены основные термины и определения, используемые в диссертационной работе:

1. теплотребление на отопление: Количество тепловой энергии, необходимое для компенсации трансмиссионных тепловых потерь через ограждающие конструкции и тепловых потерь вследствие вентиляционного воздухообмена помещений здания за рассматриваемый период.

Примечание – Необходимость введения данного термина обусловлена следующим обстоятельством: установленный в [64] термин «удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период» предполагает, что продолжительность отопительного периода определяется согласно [62] и принимается одинаковой для жилых и общественных (офисных и административных) зданий. В диссертационной работе продолжительность периода отопления рассчитывается для каждого рассматриваемого здания с учетом почасовых изменений значений параметров наружного климата, почасовых изменений значений бытовых или технологических тепловыделений, почасовых изменений значений величины вентиляционного воздухообмена, почасовых изменений значений температуры воздуха помещений и изменения во времени величины сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

2. теплотребление на охлаждение: Количество тепловой энергии, необходимое для компенсации тепловых поступлений через наружные ограждающие конструкции за счет воздействия температуры наружного воздуха и солнечной радиации, тепловых поступлений от солнечной радиации через заполнения световых проемов, тепловых поступлений вследствие вентиляционного воздухообмена, бытовых или технологических тепловыделений в помещениях здания за рассматриваемый период.

3. «типовой профиль»: Набор почасовых изменений значений бытовых или технологических тепловыделений, величины воздухообмена и значений температуры воздуха помещения для расчета теплотребления здания на

отопление и охлаждение в суточном и годовом цикле, представленных в табличном виде.

4. период активного отопления: Часть года, когда для компенсации трансмиссионных теплопотерь через ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена помещений здания требуются тепlopоступления от системы отопления.

5. период пассивного отопления: Часть холодного периода года, когда компенсация трансмиссионных теплопотерь через ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена помещений здания обеспечивается за счет бытовых или технологических тепловыделений и тепlopоступлений вследствие воздействия солнечной радиации.

6. период активного охлаждения: Часть года, когда для компенсации тепlopоступлений через наружные ограждающие конструкции за счет воздействия температуры наружного воздуха и солнечной радиации, тепlopоступлений от солнечной радиации через заполнения световых проемов, тепlopоступлений вследствие вентиляционного воздухообмена, бытовых или технологических тепловыделений требуется охлаждение помещений здания.

7. период пассивного охлаждения: Часть теплого периода года, когда компенсация тепlopоступлений от солнечной радиации через заполнения световых проемов, бытовых или технологических тепловыделений обеспечивается за счет трансмиссионных теплопотерь через наружные ограждающие конструкции и теплопотерь вследствие вентиляционного воздухообмена помещений здания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартеньев О.В. Фортран для профессионалов. Математическая библиотека IMSL. Выпуск 2. –М.: Диалог–МИФИ, 2001. –319 с.
2. Башмаков, И. А. Повышение энергоэффективности в системах теплоснабжения. Часть 1. Проблемы российских систем теплоснабжения / И. А. Башмаков // Энергосбережение. – 2010. – № 2. – С. 46–51.
3. Бобровицкий, И. И. Гибридная вентиляция в многоэтажных жилых зданиях / И. И. Бобровицкий, Н. В. Шилкин // АВОК. – 2010. – № 3. – С. 16–27.
4. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика. Теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / В. Н. Богословский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1982. – 415 с.
5. Васильев, Г. П. Энергоэффективный экспериментальный жилой дом в микрорайоне Никулино-2 / Г. П. Васильев // АВОК. – 2002. – № 4. – С. 10–18.
6. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2 ч. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха / под ред. И. Г. Старовойтова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1977. – (Справочник проектировщика). – 505 с.
7. Гагарин, В. Г. Разработка климатической информации в форме специализированного «типового» года» / В. Г. Гагарин, Д. С. Иванов, Е. Г. Малявина // Вестник ВолгГАСУ. – (Строительство и архитектура). – 2013. – Вып. 31 (50). – Ч. 1. Города России. Проблемы проектирования и реализации. – С.343–349.
8. Гагарин, В. Г. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах / В. Г. Гагарин, К. А. Дмитриев // Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 14–16.
9. Гвоздков, А.Н. К вопросу повышения энергетической эффективности систем кондиционирования воздуха и вентиляции на основе регулирования режимов обработки воздуха в контактных аппаратах / А.Н. Гвоздков, О.Ю. Суслова // Интернет-вестник ВолгГАСУ. –2014. –№ 3 (34). – С. 3.

10. Гершкович, В. Ф. Тепло- и холодоснабжение современного коттеджа / В. Ф. Гершкович // Энергосбережение. – 2010. – № 7. – С. 30–34.
11. ГОСТ 30494–2011. Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – Введ. 2013–01–01. – М. : Стандартинформ, 2013. – IV, 16 с.
12. ГОСТ Р 54954–2012. Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости. – Введ. 2013–03–01. – М. : Стандартинформ, 2013. – IV, 36 с.
13. Граник, Ю. Г. Применение фасадных систем в жилищно-гражданском строительстве / Ю. Г. Граник // Энергосбережение. – 2005. – № 4. – С. 84–89.
14. Грановский, В. Л. Система отопления жилых зданий массового строительства и реконструкции с комплексным автоматизированием теплопотребления / В. Л. Грановский, С. И. Прижижецкий // АВОК. – 2002. – № 5. – С. 66–69.
15. Гримитлин, А.М. Моделирование тепловлажностного режима при проектировании зданий / А.М. Гримитлин, Т.А. Дацюк // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 3 (38). – С. 117–121.
16. Громова, Н. М. Основы экономического прогнозирования: учеб. пособие / Н. М. Громова, Н. И. Громова. - М. : Академия Естествознания, 2006. - 457 с.
17. Грудзинский, М. М. Эффективность группового автоматического регулирования расхода теплоты на отопление с коррекцией по температуре внутреннего воздуха / М.М. Грудзинский, В.И. Ливчак // Теплоэнергетика. – 1983. – № 8. – С. 20–24
18. Гулабянц, Л.А. Временные рекомендации по определению количества тепла, поступающего в помещения в теплый период года/ Л.А. Гулабянц, Б.С. Межевников, В.И. Мошкин // Государственный институт по проектированию предприятий текстильной промышленности. – 1973. – № 19. – 45 с.
19. Дацюк, Т.А. Моделирование теплового режима жилых помещений при прерывистом отоплении / Т.А. Дацюк, Ю.П. Ивлев, В.А. Пухкал // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 179.

20. Кищенко, С. Опыт разработки энергоэффективных систем вентиляции для жилых домов / С. Кищенко, Г. Шретер // Энергосбережение. – 2000. – № 4. – С. 51–53.
21. Кокорин, О. Я. Энергосберегающие технологии функционирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха / О. Я. Кокорин — М. : Проспект, 1999. — 287 с.
22. Колубков, А.Н. Многофункциональный жилой комплекс в Москве на Мосфильмовской улице.// А.Н. Колубков, Н.В. Шилкин. // АВОК. – 2006. № 8. – С. 8–17
23. Костин, В. И. Влияние лучисто-конвективного теплообмена внутри помещения на температурные поля ограждающих конструкций / В. И. Костин, А. И. Мухин // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 6. – С. 55–58.
24. Костин, В. И. Проблемы расчета расходов холода на системы кондиционирования воздуха промышленных зданий / В. И. Костин, Е. Ю. Русских // Известия вузов. Строительство. – 2012. – № 5. – С. 60–64.
25. Кочев, А.Г. Решение задачи по расчету температурных полей оконных откосов зданий / А.Г. Кочев, А.С. Сергиенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2014. – № 6. – С. 45–48.
26. Кувшинов, Ю. Я. Прерывистый режим работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Ю. Я. Кувшинов, Н. В. Ткаченко // АВОК. – 2011. – № 5. – С. 26–29.
27. Кувшинов, Ю. Я. Расчет годовых расходов энергии системами вентиляции и кондиционирования воздуха / Ю. Я. Кувшинов // АВОК. – 2006. – № 7. – С. 20–26.
28. Ливчак, В. И. За оптимальное сочетание автоматизации регулирования и учета тепла / В.И. Ливчак // АВОК. – 1998. – № 4. – С. 44–50. итп

29. Ливчак, В. И. Независимый оператор коммерческого учета должен измерять и анализировать / В. И. Ливчак // Энергосбережение. – 2013. – № 1. – С. 45–53.
30. Малахов, М. А. Проект естественно-механической вентиляции жилого дома в Москве / М. А. Малахов // АВОК. – 2003. – № 3. – С. 28–32
31. Малахов, М. А. Системы естественно-механической вентиляции в жилых зданиях с теплым чердаком / М. А. Малахов // АВОК. – 2006. – № 7. – С. 8–17
32. Малявина, Е. Г. Климатическая информация в форме специализированного «типового» года [Электронный ресурс] / Е. Г. Малявина, Д. С. Иванов, А. А. Фролова // Стройпрофи. – 2014. – № 18. – Режим доступа: <http://stroyprofi.info/archive/11473>.
33. Малявина, Е. Г. Строительная теплофизика и проблемы утепления современных зданий / Е. Г. Малявина // АВОК. – 2009. – № 1. – С. 4–7.
34. Наумов, А. Л. Вентиляция с переменным расходом воздуха для офисных зданий / А. Л. Наумов, Д. В. Капко // АВОК. – 2012. – № 8. – С. 16–22.
35. Наумов, А. Л. Инженерные системы энергоэффективного жилого дома / А.Л. Наумов, И.А. Агафонова, Л.В. Иванихина // АВОК. – 2003. – № 8. – С. 6–10.
36. Наумов, А. Л. Квартирные утилизаторы теплоты вытяжного воздуха / А. Л. Наумов, С. Ф. Серов, А. О. Будза // АВОК. – 2012. – № 1. – С. 20–25.
37. Наумов, А. Л. Локальные системы кондиционирования воздуха в офисных зданиях / А. Л. Наумов, Д. В. Капко // АВОК. – 2012. – № 2. – С. 14–24.
38. Наумов, А. Л. Определение годовых расходов энергии на эксплуатацию зданий / А. Л. Наумов, Г. А. Смага, Е. О. Шилькрот // АВОК. – 2010. – № 4. – С. 16–23.
39. Наумов, А. Л. Оценка и роль теплозащиты общественных зданий / А. Л. Наумов // АВОК. – 2009. – № 7. – С. 30–36.
40. Наумов, А. Л. Регулируемая вентиляция жилых многоэтажных зданий / А. Л. Наумов, В. И. Ливчак // АВОК. – 2004. – № 5. – С. 8–11.

41. Наумов, А. Л. Энергоэффективный жилой дом в Москве [Электронный ресурс] / А. Л. Наумов // Здания высоких технологий. – осень 2012. – Режим доступа: http://zvt.abok.ru/articles/12/Energoeffektivnii_zhiloi_dom_v_Moskve.
42. Нормативы для строительства и эксплуатации зданий московского региона. Строительная климатология города Москвы. Ч. 1 : Климатические параметры г. Москвы : проект. – М., 2013. – 176 с.
43. Нормативы для строительства и эксплуатации зданий московского региона. Строительная климатология города Москвы. Ч. 2 : Ежечасные климатические параметры «типовых» годов г. Москвы : проект. – М., 2013. – 544 с.
44. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики [Электронный ресурс] : указ Президента РФ от 4 июня 2008 г. № 889. – Режим доступа: <http://www.rg.ru/2008/06/07/ukaz-dok.html>.
45. Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов [Электронный ресурс] : постанов. Пр-ва РФ от 25 янв. 2011 г. № 18. – Режим доступа: <http://www.rg.ru/2011/02/02/stroeniya-dok.html>.
46. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] : № 261-ФЗ : принят Гос. Думой 11 нояб. 2009 г. – Режим доступа: <http://www.rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html>.
47. Панкова, Л. А. Организация экспертизы и анализ экспертной информации / Л. А. Панкова, А. М. Петровский, М. В. Шнейдерман. – М. : Наука, 1984. – 120 с.
48. Позин, Г. М. Принципы разработки приближенной математической модели тепловоздушных процессов в вентилируемых помещениях / Г. М. Позин // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1980. – № 11. – С. 122-127.
49. Пособие по проектированию автоматизированных систем управления микроклиматом производственных зданий (к СНиП 2.04.05-86). – Введ. 1986–03–24 / – М. : Стройиздат, 1989. – 145 с.

50. Пугачев, С. В. Российская концепция нормирования энергоэффективности зданий и сооружений // С. В. Пугачев [и др.] // АВОК. – 2011. – № 8. – С. 4–10.
51. Расчет нагрузки на систему кондиционирования воздуха при нестационарных тепlopоступлениях [Электронный ресурс]. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
52. Руководство НП «АВОК» 3.2.1–2009. Квартирные тепловые пункты в многоквартирных жилых домах. – Введ. 2009–09–21. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2019. – IV, 45 с.
53. Садовская, Т. И. Система поквартирного отопления / Т. И. Садовская // Энергосбережение. – 2003. – № 1. – С. 26–28.
54. Самарин, О. Д. Влияние экранов и жалюзи на теплозащитные свойства светопрозрачных конструкций / О. Д. Самарин, А. В. Бушов // Известия вузов. Строительство. – 2012. – № 2. – С. 64–68.
55. Сасин, В.И. Термостаты в российских системах отопления / В.И. Сасин // АВОК. – 2004. – №5. – С. 64–69.
56. Серов, С. Ф. Поквартирная система вентиляции с утилизаторами теплоты / С. Ф. Серов, А. Ю. Милованов // АВОК. – 2013. – № 2. – С. 18–31.
57. СНиП II-33-75*. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. - Введ. 1975-10-20. - М. : Стройиздат, 1976. - 112 с.
58. Сотников, А. Г. Удельные воздушно-тепловые и холодильные нагрузки общественных помещений / А. Г. Сотников // АВОК. – 2011. – № 5. – С. 58–65.
59. СП (EN 15217:2007). Энергетическая эффективность зданий. Метод выражения энергопотребления и классы энергетической эффективности зданий : проект / Минрегион России. – М., 2013. – 16 с.
60. СП (EN 15316-2-1:2007). Системы энергопотребления зданий. Метод расчета энергопотребления : проект / Минрегион России. – М., 2013. – 24 с.
61. СП (EN 15603:2008). Энергетическая эффективность зданий. Общее потребление энергии и определение энергетических характеристик : проект / Минрегион России. – М., 2013. – 56 с.

62. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. – Введ. 2013-01-01 / Минрегион России. – М., 2012. – IV, 108 с.
63. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. – Введ. 1996-07-01. – М. : ГУП ЦПП, 1997. – V, 83 с.
64. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – Введ. 2013-07-01 / Минрегион России. – М., 2012. – IV, 95 с.
65. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – Введ. 2013-01-01 / Минрегион России. – М., 2012. – V, 76 с.
66. СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011. «Зеленое строительство». Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания. – Введ. 2011-11-11. – М., 2011. – VI, 57 с.
67. СТО НОСТРОЙ 2.35.68-2012. «Зеленое строительство». Учет региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания. – Введ. 2012-06-22. – М., 2012. – VI, 35 с.
68. СТО НП «АВОК» 2.1-2008. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. – Введ. 2004-06-01. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2008. – V, 11 с.
69. Табунщиков, Ю. А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2012. – 204 с.
70. Табунщиков, Ю. А. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач // АВОК. – 1998. – № 1. – С. 6–10.
71. Табунщиков, Ю. А. Ночные окна – окна с существенно переменной теплозащитой / Ю. А. Табунщиков // Энергосбережение. – 2008. – № 1. – С. 18–22.
72. Табунщиков, Ю. А. Основы математического моделирования теплового режима здания как единой теплоэнергетической системы : дис. д-ра техн. наук : Табунщиков Юрий Андреевич. – М., 1983.

73. Табунщиков, Ю. А. Расчет теплотерь помещений при отдельном учете конвективного и лучистого теплообмена / Ю. А. Табунщиков // АВОК. – 2007. – № 8. – С. 38–44.
74. Табунщиков, Ю. А. Энергосбережение – дефицит знаний и мотиваций / Ю. А. Табунщиков // АВОК. – 2004. № 5. – С. 6–8.
75. Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М.: АВОК–ПРЕСС, 2003. – 200 с.
76. Тарабанов, М.Г. Роторный утилизатор теплоты: результаты экспериментальных исследований / М.Г. Тарабанов, П.С. Прокофьев. // АВОК. – 2011. № 7. – С. 36– 40.
77. Шилкин, Н. В. Оценка экономической эффективности оснащения отопительных приборов терморегуляторами / Н. В. Шилкин // Энергосбережение. – 2007. – № 4. – С. 20–24.
78. Шилькрот, Е. О. Эффективность систем отопления и вентиляции зданий / Е. О. Шилькрот // АВОК. – 2003. – № 4. – С. 6–10.
79. Шкловер, А. М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях / А. М. Шкловер. – М. : Госэнергоиздат, 1952. – 80 с.
80. Шонина, Н. А. Вентиляция для многоэтажных жилых зданий / Н. А. Шонина // АВОК. – 2013. – № 6. – С. 22–30.

Авторские публикации:

81. Миллер, Ю.В. Эффективность энергосберегающих мероприятий при рассмотрении здания как единой энергетической системы / Ю.В. Миллер // Энергосбережение. – 2014. – №1.– С. 36–39.
82. Табунщиков, Ю.А. Оценка годового расхода энергии на отопление и охлаждение зданий / Ю.А. Табунщиков, Ю.В. Миллер //АВОК. – 2013. – №3.– С. 56–65.
83. Табунщиков, Ю.А. Принципы определения годового энергопотребления на климатизацию зданий / Ю.А. Табунщиков, Ю.В. Миллер // Вестник

Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 31-2 (50). – С. 549–555.

84. Табунщиков, Ю.А. Методы и результаты оценки эффективности энергосберегающих решений / Ю.А. Табунщиков, Н.В. Шилкин, Ю.В. Миллер // АВОК. – 2013. – №7. – С. 38–49.

85. Табунщиков, Ю.А. Расчет годового расхода тепловой энергии для отопления и охлаждения зданий / Ю.А. Табунщиков, Ю.В. Миллер // Сборник докладов V Международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – 2013. – С. 397–403.

86. Табунщиков, Ю.А. Экспресс-оценка эффективности энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий / Ю.А. Табунщиков, Н.В. Шилкин, Ю.В. Миллер // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 6 (654). – С. 57–63.

Литература на иностранных языках:

87. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010. Energy standard for buildings except low-rise residential buildings. - Date Approved: 11, 2011. - Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010. - Mode of access: http://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-20458.pdf.

88. Bauer, M. Green Building - Guidebook for sustainable architecture / Michael Bauer, Peter Möhle and Michael Schwarz. - Berlin : Springer, 2010. - 210 p.

89. BS EN 15603:2008. Energy performance of buildings. Overall energy use and definition of energy ratings. – Effective 2008–09–30. – 66 p.

90. Building energy software tools directory [Electronic resource] / U.S. Department of Energy. – Mode of access: http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/.

91. Canadian weather for energy calculations (CWEC files) : user's manual. – Waterloo, ON: Numerical Logics Inc., 1999.

92. Chan, A. L. S. Generation of a typical meteorological year for Hong Kong / Apple L. S. Chan [et al.] // Energy Conversion and Management. – 2006. – Vol. 47. – № 1. – P. 87–96.
93. Chang, W.-K. Statistical analysis and modeling of occupancy patterns in open-plan offices using measured lighting-switch data / Wen-Kuei Chang, Tianzhen Hong Statistical // BUILD SIMUL. - 2013. - № 6. - P. 23-32.
94. Crawley, D. B. Contrasting the Capabilities of building energy performance simulation programs [Electronic resource] : report / Drury B. Crawley [et al.] / United States Department of Energy : University of Strathclyde : University of Wisconsin. – 2005. – July. – 59 p. – Mode of access: http://gundog.lbl.gov/dirpubs/2005/05_compare.pdf.
95. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.dgnb.de/>.
96. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council [Electronic resource]. – 2010. – May. – Mode of access: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF>.
97. Dong, B. Integrated building control based on occupant behavior pattern detection and local weather forecasting / Bing Dong, Khee Poh Lam, Charles P. Neuman / 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November // Proceedings of Building Simulation. - 2011. - P. 193-200.
98. EN ISO 13790:2008. Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling. - 2008-03-01. - 172 p.
99. Energyplus energy simulation software [Electronic resource] / U.S. Department of Energy. – Mode of access: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/?utm_source=EnergyPlus&utm_medium=redirect&utm_campaign=EnergyPlus%2Bredirect%2B1.
100. ESP-r [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>.

101. Fabi, V. Description of occupant behaviour in building energy simulation: state-of-art and concepts for improvements / Valentina Fabi et al. / 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November // Proceedings of Building Simulation. - 2011. - P. 2882-2889.
102. Gaaloul, S. A new co-simulation architecture for mixing dynamic building simulation and agent oriented approach for users behaviour modeling / Sana Gaaloul et al. / 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28 // Proceedings of BS2013-2013. - P. 3225-3233.
103. Hosni, M. H. Experimental results for heat gain and radiant/convective split from Equipment in Buildings / Mohammad H. Hosni, Byron W. Jones, Hanming Xu //ASHRAE Transactions. - 1999. - Vol. 105, Pt. 2. - P. 527-539.
104. Judkoff, R. A methodology for validating building energy analysis simulations [Electronic resource] : report / R. Judkoff [et al.] / National Renewable Energy Laboratory. – 2008 – Apr. – 192 p. – Mode of access : <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/42059.pdf>.
105. Lubina, P. Nantka Internal heat gains in relation to the dynamics of buildings heat requirements / Piotr Lubina, Marian B. Nantka // Architecture civil engineering environment. - 2009. - № 1. - P. 137-142.
106. Mahdavi, A. Observation-based models of user control actions in buildings / Ardeshir Mahdavi and Claus Pröglhöf / 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008 // PLEA. - 2008.
107. Maile, T. Building energy performance simulation tools. A life-cycle and interoperable perspective [Electronic resource] : report / Tobias Maile, Martin Fischer & Vladimir Bazjanac / Center for Integrated Facility Engineering. – 2007. – Dec. – 43 p. – Mode of access : <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/WP107.pdf>.
108. Statens byggeforskningsinstitut [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.sbi.dk/indeklima/simulering>.
109. Stoffel, T. L. Production of the weather year for energy calculations ver. 2 (WYEC2), data files / T. L. Stoffel and M. D. Rymes // ASHRAE Transactions: Symposia. – 1998. – Vol. 104. – P. 487–497.

110. Tammelin, T. Energialaskennan saatiedot — suomalainen testivuosi : report / T. Tammelin and E. Erkio / Ilmatieteen laitos. – 1987. – № 7.
111. The home of DOE-2 based building energy use and cost analysis software [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.doe2.com/>.
112. The world's leading design and assessment method for sustainable buildings [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.breeam.org/>.
113. Thevenard, D. The development of typical weather years for international locations. Part I. Algorithms / D. Thevenard and A. Brunger // ASHRAE Trans. – 2002. – Vol. 108. – P. 376–383.
114. Total energy use in buildings: Analysis and evaluation methods, Final report of Annex 53 // International Energy Agency, Programme on Energy in Buildings and Communities. – 2014–11.
115. U.S. Green Building Council [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.usgbc.org/leed>.
116. Wilcox, S. Users manual for TMY3 data sets [Electronic resource] : report / S. Wilcox and W. Marion / NREL. – 2008. – May. – 58 p. – Mode of access: <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43156.pdf>.
117. Wilke, U. A bottom-up stochastic model to predict building occupants' time-dependent activities / U. Wilke et al. // Building and Environment. - 2013. - № 60(0). - P. 254-264.
118. Wilkins, C. K. Heat gain from office equipment / C. K. Wilkins, M. H. Hosni // ASHRAE Journal. - 2000. - June. - P. 33-43.
119. Yohei Yamaguchi, Takuya Fujimoto and Yoshiyuki Shimoda Occupant behavior for households to estimate high-temporal resolution residential electricity demand profile/ Yohei Yamaguchi, Takuya Fujimoto and Yoshiyuki Shimoda// Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November. –2011. – P. 1548–1555.

120. Zhu, D. A Detailed loads comparison of three building energy modeling programs: EnergyPlus, DeST and DOE-2.1E [Electronic resource] / Dandan Zhu [et al.] // Building Simulation. – 2013. – Vol. 6. – № 3. – P. 323–335.
121. Архив погоды в Москве (ВДНХ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Москве_\(ВДНХ\)](http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Москве_(ВДНХ)). – (дата обращения 29.04.2013г.)

Приложение 1

«Типовые профили» для жилых и офисных помещений

- **«типовой профиль» для жилого помещения №1** для рабочего и выходного дней холодного периода года при постоянной величине бытовых тепловыделений, согласно [64], и величине вентиляционного воздухообмена, согласно [65], в суточном и годовом циклах:

- температура воздуха помещения задана в пределах от плюс 20 до плюс 24°C с 00:00 до 24:00 ч.;

- величина вентиляционного воздухообмена принимается из расчета 3 м³/ч на 1 м² площади пола с 00:00 до 24:00 ч.;

- величина бытовых тепловыделений принимается из расчета 17 Вт/м² с 00:00 до 24:00 ч.

- **«типовой профиль» для жилого помещения №2** для рабочего дня холодного периода года при переменных величинах бытовых тепловыделений и вентиляционного воздухообмена в суточном и годовом циклах:

- температура воздуха помещения задана в пределах плюс 20 до плюс 24°C с 00:00 до 24:00 ч.;

- величина вентиляционного воздухообмена принимается из расчета 3 м³/ч на 1 м² площади пола с 20:00 до 8:00 ч. и 0,2 ч⁻¹ с 8:00 до 20:00 ч.;

- величина бытовых тепловыделений принимается из расчета 17 Вт/м² с 00:00 до 7:00 ч.; 30 Вт/м² с 7:00 до 8:00 ч. и с 23:00 до 00:00 ч.; 0 Вт/м² с 8:00 до 20:00 ч.; 40 Вт/м² с 20:00 до 21:00 ч. и с 22:00 до 23:00 ч.; 50 Вт/м² с 21:00 до 22:00 ч.

- **«типовой профиль» для жилого помещения №3** для выходного дня холодного периода года при переменной величине бытовых тепловыделений в суточном и годовом циклах:

- температура воздуха помещения задана в пределах от плюс 20 до плюс 25°C с 00:00 до 24:00 ч.;

– величина вентиляционного воздухообмена принимается из расчета $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади пола с 00:00 до 24:00 ч.;

– величина бытовых тепловыделений принимается из расчета $17 \text{ Вт}/\text{м}^2$ с 00:00 до 9:00 ч.; $20 \text{ Вт}/\text{м}^2$ с 9:00 до 10:00 ч., с 12:00 до 17:00 ч.; $40 \text{ Вт}/\text{м}^2$ с 10:00 до 12:00 ч., 17:00 до 18:00 ч., с 21:00 до 23:00 ч.; $50 \text{ Вт}/\text{м}^2$ с 18:00 до 21:00 ч., $30 \text{ Вт}/\text{м}^2$ с 23:00 до 00:00 ч.

- **«типовой профиль» для жилого помещения №4** для рабочего и выходного дней теплого периода года при постоянной величине бытовых тепловыделений и величине вентиляционного воздухообмена, согласно [65], в суточном и годовом циклах:

– температура воздуха помещения задана в пределах от плюс 20 до плюс 25°C с 00:00 до 24:00 ч.;

– величина вентиляционного воздухообмена принимается из расчета $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади пола с 00:00 до 24:00 ч.;

– величина бытовых тепловыделений принимается из расчета $17 \text{ Вт}/\text{м}^2$ с 00:00 до 24:00 ч.

- **«типовой профиль» для жилого помещения №5** для рабочего дня теплого периода года при переменных величинах бытовых тепловыделений и вентиляционного воздухообмена в суточном и годовом циклах:

– температура воздуха помещения задана в пределах от плюс 20 до плюс 25°C с 00:00 до 24:00 ч.;

– величина вентиляционного воздухообмена принимается из расчета $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади пола с 20:00 до 8:00 и $0,2 \text{ ч}^{-1}$ с 8:00 до 20:00 ч.;

– величина бытовых тепловыделений принимается из расчета $17 \text{ Вт}/\text{м}^2$ с 00:00 до 7:00 ч.; $30 \text{ Вт}/\text{м}^2$ с 7:00 до 8:00 ч. и с 23:00 до 00:00 ч.; $0 \text{ Вт}/\text{м}^2$ с 8:00 до 20:00 ч.; $40 \text{ Вт}/\text{м}^2$ с 20:00 до 21:00 ч. и с 22:00 до 23:00 ч.; $50 \text{ Вт}/\text{м}^2$ с 21:00 до 22:00 ч.

- **«типовой профиль» для жилого помещения №6** выходного дня теплого периода года при переменной величине бытовых тепловыделений в суточном и годовом циклах:

– температура воздуха помещения задана в пределах от плюс 20 до плюс 25°C с 00:00 до 24:00 ч.;

– величина вентиляционного воздухообмена принимается из расчета 3 м³/ч на 1 м² площади пола с 00:00 до 24:00 ч.;

– величина бытовых тепловыделений принимается из расчета 17 Вт/м² с 00:00 до 9:00 ч.; 20 Вт/м² с 9:00 до 10:00 ч., с 12:00 до 17:00 ч.; 40 Вт/м² с 10:00 до 12:00 ч., 17:00 до 18:00 ч., с 21:00 до 23:00 ч.; 50 Вт/м² с 18:00 до 21:00 ч., 30 Вт/м² с 23:00 до 00:00 ч.

- **«типовой профиль» для офисного помещения №7 для рабочего дня холодного периода года:**

– температура воздуха помещения задана в пределах от плюс 19 до плюс 23°C с 00:00 до 24:00 ч.;

– величина вентиляционного воздухообмена принимается из расчета 60 м³/ч на чел. с 9:00 до 18:00 ч.; 0,2 ч⁻¹ с 18:00 до 9:00 ч.;

– величина технологических тепловыделений принимается из расчета 61 Вт/м² с 9:00 до 18:00 ч.; 0 Вт/м² с 18:00 до 9:00 ч.

- **«типовой профиль» для офисного помещения №8 для выходного дня холодного периода года:**

– температура воздуха помещения задана в пределах от плюс 19 до плюс 23°C с 00:00 до 24:00 ч.;

– величина вентиляционного воздухообмена принимается из расчета 0,2 ч⁻¹ с 00:00 до 24:00 ч.;

– величина технологических тепловыделений принимается из расчета 0 Вт/м² с 00:00 до 24:00 ч.

- **«типовой профиль» для офисного помещения №9 для рабочего дня теплого периода года:**

– температура воздуха помещения задана в пределах от плюс 18 до плюс 25°C с 00:00 до 24:00 ч.;

– величина вентиляционного воздухообмена принимается из расчета 60 м³/ч на чел. с 9:00 до 18:00; 0,2 ч⁻¹ с 18:00 до 9:00 ч.;

– величина технологических тепловыделений принимается из расчета 61 Вт/м^2 с 9:00 до 18:00; 0 Вт/м^2 с 18:00 до 9:00 ч.

• **«типовой профиль» для офисного помещения №10** для выходного дня теплого периода года:

– температура воздуха помещения задана в пределах от плюс 18 до плюс 25°C с 00:00 до 24:00 ч.;

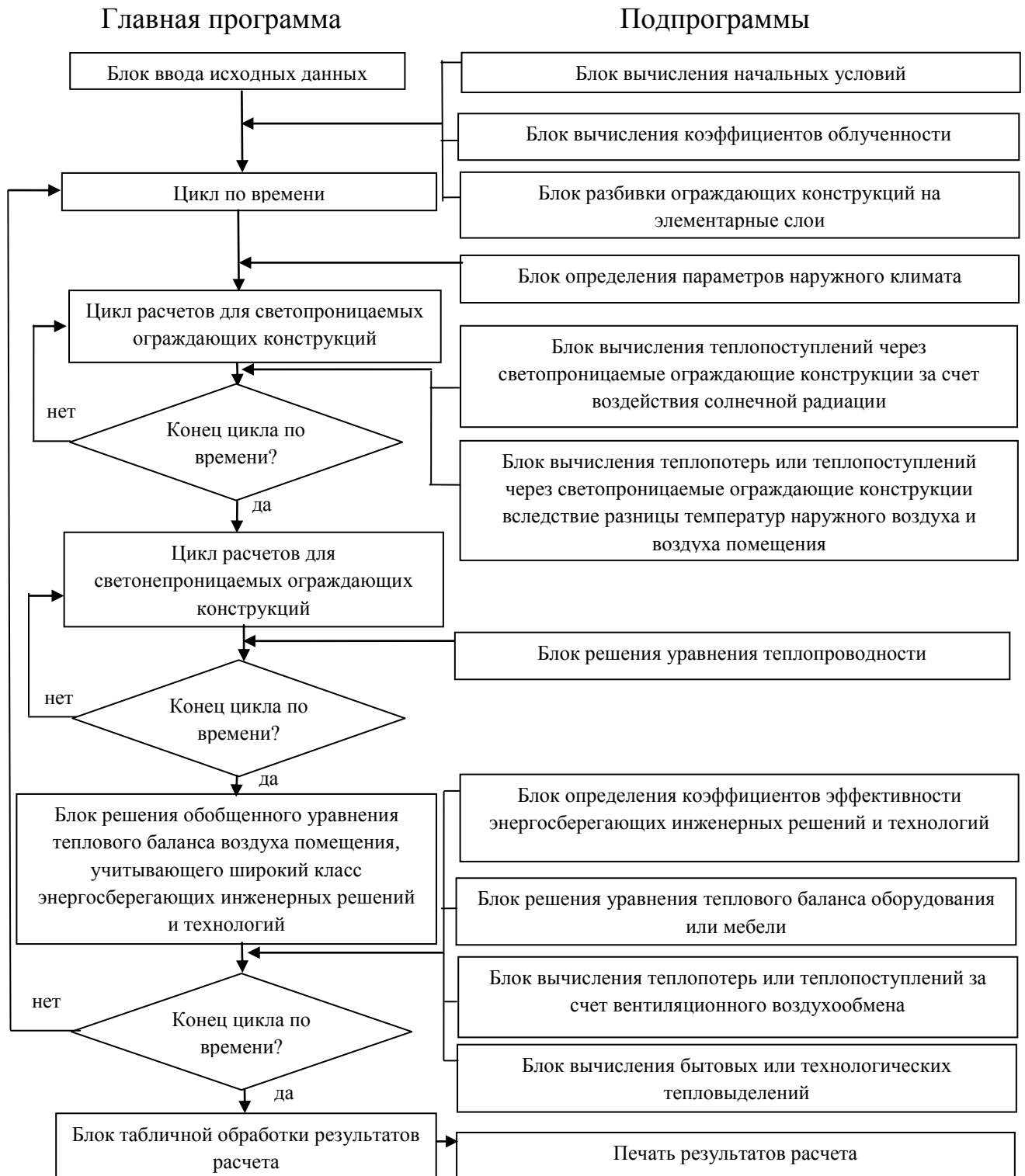
– величина вентиляционного воздухообмена принимается из расчета $0,2 \text{ ч}^{-1}$ с 00:00 до 24:00 ч.;

– величина технологических тепловыделений принимается из расчета 0 Вт/м^2 с 00:00 до 24:00 ч.

Приложение 2

Блок-схема компьютерной программы

Блок-схема компьютерной программы, реализующей математическую модель теплопотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах.





ОБЩЕРОССИЙСКАЯ НЕГОСУДАРСТВЕННАЯ
НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
«НАЦИОНАЛЬНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ,
ОСНОВАННЫХ НА ЧЛЕНСТВЕ ЛИЦ,
ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ СТРОИТЕЛЬСТВО»

ул. М. Грузинская, д. 3, Москва, 123242
Телефон/факс: (495) 987-31-50
E-mail: info@nostroy.ru
http://www.nostroy.ru
ОКПО 94161063, ОГРН 1097799041482
ИНН/КПП 7710478130/771001001

НОСТРОЙ



№02-733/14
от 16.04.14

№ _____
На № 313 от 20.11.2013

*О внедрении результатов диссертационной работы
Миллер Юлии Владимировны*

Настоящим сопровождается акт о внедрении результатов диссертационной работы в стандартах СТО НОСТРОЙ.

Прилагается: Акт о внедрении результатов диссертационной работы Миллер Ю.В. на 2 стр.

Заместитель руководителя аппарата
Национального объединения строителей

Л.С.Баринава

АКТ
о внедрении результатов диссертационной работы
Миллер Юлии Владимировны

Настоящим актом подтверждается, что разработанные Миллер Ю.В. метод и компьютерная программа расчета теплопотребления помещений здания с учетом изменения составляющих теплового баланса в суточном и годовом цикле использованы при разработке раздела «Энергосбережение и энергоэффективность» стандарта СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 «"Зеленое строительство". Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания» и разработке приложения «Корректирующие региональные коэффициенты по критерию 30 "Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания"» стандарта СТО НОСТРОЙ 2.35.68–2012 «"Зеленое строительство". Здания жилые и общественные. Учет региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания».

Директор департамента
технического регулирования
Национального объединения строителей



С.В. Пугачев

Главный специалист департамента
технического регулирования
Национального объединения строителей

Р.С. Акиев



Общество с ограниченной ответственностью
"НПО ТЕРМЭК"

127238, Москва, Дмитровское шоссе, 46, корп. 2, стр. 1-1а (а/я 71), тел. (495) 482 3810, 482 0754
ОКПО 17212551 ОГРН 1027700291695 ИНН/КПП 7712014013/771301001
www.termek.ru; e-mail: naumov@termek.ru

АКТ
о внедрении результатов диссертационной работы
Миллер Юлии Владимировны

Настоящим актом подтверждается, что разработанные Миллер Ю.В. математическая модель и компьютерная программа расчета теплотребования здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах использованы при разработке проектов зданий Меркурий Сити Тауэр, г. Москва и Корпоративного университета Сбербанка, Московская область, с целью:

- прогнозирования теплотребования на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах и продолжительности периодов отопления и охлаждения;
- оценки расчетной теплопроизводительности систем отопления, вентиляции и охлаждения в годовом цикле с целью подбора оборудования и выбора целесообразного режима его функционирования;
- многовариантного анализа и обоснования целесообразности применения в конкурсных проектах зданий инженерных, энергосберегающих, архитектурно-планировочных и других решений, влияющих на теплотребование здания на отопление и охлаждение;
- выполнения требований рейтинговых систем оценки «зеленых» зданий о необходимости повышения энергетической эффективности зданий.

Генеральный директор
ООО «НПО ТЕРМЭК»



А.Л. Наумов

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«МОСКОВСКИЙ АРХИТЕКТУРНЫЙ
ИНСТИТУТ
(государственная академия)»
(МАРХИ)**

107031, Москва, улица Рождественка, дом 11/4, корпус 1, стр. 4
телефон/факс: +7-495-625-5082
e-mail: office@markhi.ru
URL: http://www.markhi.ru
ИНН/КПП: 7702066990/770201001
ОГРН: 1027700471039 ОКПО: 02068723

28.01.15 № 01-09

АКТ
о внедрении результатов диссертации
«Исследование теплотребования здания в суточном и годовом
циклах методом математического моделирования»

Миллер Юлии Владимировны

Настоящим актом подтверждается, что при разработке учебного задания и методических указаний к дипломному проекту при защите на степень бакалавра в Московском архитектурном институте (государственной академии) «Оценка архитектурного проекта многоэтажного жилого дома по принципам устойчивого развития» в раздел «Инженерное оборудование зданий» включены результаты исследований теплотребования зданий на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах и эффективности применения энергосберегающих решений, выполненные Миллер Юлией Владимировной в диссертационном исследовании.

Проректор по научной работе,
доктор архитектуры,
профессор, академик РААСН



Г.В. Есаулов

Председатель Президиума – профессор Ю. А. Табунщиков
107031, Москва, ул. Рождественка, д. 11, МАРХИ, АВОК
Тел./факс: (495) 921-8048, 921-6031, 921-6429
E-mail: abok@abok.ru www.abok.ru

President – Prof. Yuri Tabunschikov
ABOK, 11, Rozhdestvenka St., Moscow, 107031, Russia
Phone/fax: (495) 921-8048, 921-6031, 921-6429
E-mail: abok@abok.ru www.abok.ru

№ 11-80/ от « 20 » 01 2012

**АКТ
о внедрении результатов диссертационной работы
Миллер Юлии Владимировны**

Настоящим актом подтверждается, что разработанные Миллер Ю.В. математическая модель и компьютерная программа расчета теплотребления здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах были использованы НП «АВОК» при выполнении проектных работ по объекту «Индивидуальный жилой дом с первым нежилым этажом и подземной автостоянкой по адресу: г. Москва, ВАО, Северное Измайлово, кв. 49-50, корпус 1,2» по заданию ЗАО «Капстройпроект» (Договор № 17/01-1 от 17.01.2011 г.) с целью:

- прогнозирования теплотребления на отопление в суточном и годовом циклах и продолжительности периода отопления;
- оценки расчетной теплопроизводительности систем отопления и вентиляции с целью подбора оборудования и выбора целесообразного режима его функционирования;
- многовариантного анализа и обоснования целесообразности применения в конкурсных проектах зданий инженерных, энергосберегающих, архитектурно-планировочных и других решений, влияющих на теплотребление здания на отопление.

Исполнительный директор НП «АВОК»



В.В. Потапов



ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС»
ИНН/КПП 7713056760/771301001
р/сч 40702810938320100908 в Сбербанке России ОАО г. Москва,
к/сч 30101810400000000225, БИК 044525225
127238, Москва, Дмитровское шоссе, д. 46, корп. 2
тел. (495) 621-80-48, 621-69-46
abokpress@abok.ru

АКТ
О внедрении результатов диссертационной работы
Миллер Юлии Владимировны

Настоящим актом подтверждается, что при разработке Руководства АВОК «Расчет теплотребования зданий на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах» в соответствии с «Планом ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС» по разработке системы программного обеспечения для выполнения инженерных расчетов в области отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, теплоснабжения и строительной теплофизике на 2014–2015 годы» были использованы разработанные Миллер Ю.В. математическая модель и компьютерная программа расчета теплотребования здания на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах.

Заместитель генерального директора
ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС»



А.Г. Жучков

**НЕКОММЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО
«ИНЖЕНЕРЫ ПО ОТОПЛЕНИЮ,
ВЕНТИЛЯЦИИ,
КОНДИЦИОНИРОВАНИЮ ВОЗДУХА,
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЮ
И СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОФИЗИКЕ»**



**ASSOCIATION
«ENGINEERS FOR HEATING,
VENTILATION,
AIR-CONDITIONING,
HEAT SUPPLY &
BUILDING THERMAL PHYSICS»**

Председатель Президиума – профессор Ю. А. Табунщиков
107031, Москва, ул. Рождественка, д. 11, МАРХИ, АВОК
Тел./факс: (495) 921-8048, 921-6031, 921-6429
E-mail: abok@abok.ru www.abok.ru

President – Prof. Yuri Tabunshikov
ABOK, 11, Rozhdestvenka St., Moscow, 107031, Russia
Phone/fax: (495) 921-8048, 921-6031, 921-6429
E-mail: abok@abok.ru www.abok.ru

№ 4-171/1 от « 26 » 11.2012 г.

**АКТ
О внедрении результатов диссертационной работы
Миллер Юлии Владимировны**

Настоящим актом подтверждается, что при выполнении работ НП «АВОК» по доработке национального стандарта ГОСТ Р 54964-2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости» по заданию НП «Центр экологической сертификации – Зеленые стандарты» (Договор № СТ-12 от 01.02.2012 г.) в части установления минимальных экологических требований и рекомендуемых показателей расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий использованы результаты исследований теплопотребления зданий на отопление и охлаждение в суточном и годовом циклах, выполненные Миллер Юлией Владимировной в диссертационной работе.

Исполнительный директор НП «АВОК»



В.В. Потапов



СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ НЕКОММЕРЧЕСКОГО
ПАРТНЕРСТВА «ИНЖЕНЕРЫ ПО ОТОПЛЕНИЮ,
ВЕНТИЛЯЦИИ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЮ ВОЗДУХА,
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЮ И СТРОИТЕЛЬНОЙ
ТЕПЛОФИЗИКЕ» НП «АВОК»

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ ПО-0015

СЕРТИФИКАТ ВЫДАН

НП «АВОК»

Российская Федерация, 107031, Москва, Рождественка, д. 11

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ

Центр сертификации программного обеспечения НП «АВОК»
Россия, 107031, Москва, ул. Рождественка, д. 11

ПРОДУКЦИЯ

**Программа «Расчет теплотребления зданий
на отопление и охлаждение в суточном и годовом
циклах с учетом почасовых изменений параметров
наружного климата»**

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ

Системы добровольной сертификации НП «АВОК»

ПРАВООБЛАДАТЕЛЬ

НП «АВОК»

Российская Федерация, 107031, Москва, Рождественка, д. 11

НА ОСНОВАНИИ

Протокола экспертной комиссии Центра сертификации программного обеспечения
НП «АВОК» №15 от 26.11.2014

Руководитель ЦС НП «АВОК»



М. Н. Ефремов