

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 697.1:536.2/.3

ЗАХАРЕВИЧ
Алексей Эдуардович

**ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА
В ОТАПЛИВАЕМЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ
В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Минск 2012

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель

Дячек Петр Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Белорусский национальный технический университет

Официальные оппоненты:

Седнин Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника», Белорусский национальный технический университет;

Гончаров Эдуард Иванович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции учреждения образования «Полоцкий государственный университет»

Оппонирующая организация

Государственное научное учреждение «Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится 11 мая 2012 г. в 15:00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.10 Белорусского национального технического университета по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202, тел. ученого секретаря (017)265-97-29.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан « 9 » апреля 2012 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
канд. техн. наук, доцент

Нестеров Л. В.

© Захаревич А.Э., 2012

© Белорусский национальный
технический университет, 2012

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании систем инженерного оборудования зданий, и в частности систем отопления, решаются задачи обеспечения требуемых параметров микроклимата, определяемых условиями комфортного пребывания человека и (или) требованиями технологических процессов. Одно из условий решения этих задач – изучение и системный анализ процессов теплообмена в отапливаемых помещениях, рассматриваемых как комплекс, состоящий из множества взаимодействующих между собой активных и пассивных элементов.

Применяемые ныне методики теплотехнических расчетов и проектирования систем отопления основаны, главным образом, на использовании осредненных значений расчетных величин, рассматриваемых для установившихся режимов. Локальные и мгновенные значения параметров микроклимата остаются за рамками анализа. Указанные особенности традиционных методик проектирования являются одной из причин повышенного энергопотребления существующих и возводимых зданий, а также несоответствия формируемых параметров микроклимата условиям комфорта или технологическим требованиям. Таким образом, обеспечение требуемых параметров микроклимата в помещениях является актуальной и значимой для практики задачей. Наиболее эффективно, глубоко и оперативно изучить проблемы формирования микроклимата и поддержания требуемого температурного режима можно на основе численных экспериментов, основанных на решении дифференциальных уравнений, описывающих процессы переноса. Применение численного моделирования позволяет учесть основные особенности конкретной задачи и найти оптимальное проектное решение, обеспечивающее требуемые микроклиматические условия при минимально возможных затратах энергии.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами. Тема диссертации соответствует пункту 1.4 («Теплофизика, физика и техника горения, гидро- и газодинамика, тепло- и массоперенос в сложных системах, средах и веществах») и пункту 1.6 («Энергосбережение, энергоэффективные технологии») позиции 1 («Энергообеспечение, энергосбережение, энергоэффективность, энергоэффективные технологии») перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы.

В рамках диссертационной работы выполнена НИР «Разработка программного продукта и численное исследование распределения параметров микроклимата в отапливаемых помещениях в условиях естественной конвекции» по гранту Министерства образования Республики Беларусь (2008 г., № гос. регистрации 20080666).

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы – разработка рекомендаций по совершенствованию способов обеспечения требуемых микроклиматических условий в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий на основе исследований параметров теплового микроклимата (температуры и скорости воздуха, температуры внутренних поверхностей ограждений), формируемых в условиях естественной конвекции.

Для достижения цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- разработать математическую модель, алгоритм и программный комплекс для расчета на ЭВМ процессов теплообмена в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий в условиях естественной конвекции;
- провести системный анализ полей параметров микроклимата (температуры и скорости воздуха, температуры внутренних поверхностей ограждений), формируемых в процессе отопления помещений жилых и общественных зданий; оценить влияние различных видов отопительных приборов, а также объемно-планировочных решений и расположения помещений на формирование параметров микроклимата и теплового режима ограждений в отапливаемых помещениях исследуемого типа зданий;
- выявить особенности теплообмена в отапливаемых помещениях на основе анализа локальных и осредненных значений температуры, коэффициентов теплообмена, тепловых потоков;
- исследовать процессы формирования температурных полей светопрозрачных конструкций значительной высоты;
- выполнить анализ влияния различных видов отопительных приборов на динамику изменения температуры внутреннего воздуха в условиях реализации переменных режимов отопления помещений в выходные дни;
- подготовить рекомендации по совершенствованию способов обеспечения требуемых параметров микроклимата в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий.

Объект исследования – отапливаемые помещения жилых и общественных зданий.

Выбор объекта исследования обусловлен необходимостью совершенствования методик теплотехнических расчетов и проектирования систем отопления, а также способов и средств обеспечения требуемых микроклиматических условий в отапливаемых помещениях.

Предмет исследования – процессы теплообмена, определяющие формирование параметров микроклимата (температуры и скорости воздуха, температуры внутренних поверхностей ограждений) в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий в условиях естественной конвекции.

Выбор предмета исследования обусловлен необходимостью повысить эффективность применения систем отопления и степень комфортности микроклиматических условий в помещениях жилых и общественных зданий.

Положения, выносимые на защиту:

- Физико-математическая модель, алгоритм и программа расчета взаимосвязанных процессов теплообмена в ограждающих конструкциях и в воздушном объеме отапливаемых помещений жилых и общественных зданий, учитывающие их нестационарность и пространственное распределение.
- Рекомендации по выбору отопительных приборов в зависимости от конструктивных особенностей ограждающих конструкций, объемно-планировочных решений и расположения помещений, разработанные на основе анализа влияния нагревателей на процессы формирования параметров теплового микроклимата в объектах исследования.
- Результаты исследования процессов переноса на внутренних поверхностях ограждений и рекомендации по выбору коэффициента теплообмена для теплотехнического расчета ограждающих конструкций.
- Методика расчета параметров зонального отопления остекленных световых проемов значительной высоты, разработанная по результатам оценки распределения температуры на внутренней поверхности остекления.
- Результаты оценки экономии топливно-энергетических ресурсов при переменных режимах работы отопления, позволившие выявить виды отопительных приборов и режим их применения, обеспечивающие максимальный экономический эффект.

Личный вклад соискателя. Основные результаты диссертации получены автором самостоятельно. Совместно с научным руководителем определены цели и задачи исследований; разработана математическая модель и алгоритм программы расчета процессов переноса теплоты в исследуемых объектах; разработаны рекомендации по выбору отопительных приборов для помещений жилых и общественных зданий.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертационного исследования были доложены и обсуждены на VIII Республиканской научно-технической конференции студентов и аспирантов (Минск, 2003); научной конференции учащихся, студентов и аспирантов, посвященной 85-летию БНТУ (Минск, 2005); X Республиканской научной конференции студентов и аспирантов вузов Республики Беларусь (Минск, 2006); II и IV международных научно-технических конференциях «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции» (Москва, 2007 и 2011); Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию агроэнергетического факультета БГАТУ (Минск, 2007); VI минском международном форуме по тепло- и массообмену, (Минск, 2008); II практической конференции «Энергоэффективное строительство в Республике Беларусь» (Минск, 2010); V-VIII международных научно-технических конференциях «Наука – образованию, производству, экономике» (Минск, 2007-2010).

Опубликованность результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 19 работ: 5 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК Республики Беларусь, общим объемом 4,4 авторского листа; 2 статьи в других научных изданиях; 11 материалов и тезисов докладов конференций; рекомендации.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка, включающего 156 источников (из них 19 публикаций соискателя), и четырех приложений. Общий объем диссертации составляет 185 страниц, в том числе 49 иллюстраций на 31 странице, 25 таблиц на 10 страницах и 17 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе приводятся аналитический обзор и критический анализ публикаций по исследуемой тематике. В области теории процессов, определяющих формирование теплового режима помещений, изучены работы В.Н. Богословского, А.Н. Сканави, И.Ф. Ливчака, Ю.А. Табунщикова, Е.Я. Соколова, А.К. Андреевского, L. Banhidi, M. Steeman, S. Holmberg, V.W. Olesen и др. Рассматривается и анализируется также применение методов математического и физического моделирования при исследовании теплового режима отапливаемых помещений.

Изучение современного состояния теории процессов формирования микроклимата отапливаемых помещений показало, что в большинстве случаев исследователи при выборе определяющих факторов не охватывают все многообразие физических явлений и условий, имеющих место в конкретных задачах. Например, задача изучения полей температуры и скорости воздуха внутри помещения исследуется без привязки ее к процессам формирования поля температуры в сопряженных ограждениях. Вместо этого задаются граничные условия на внутренних поверхностях ограждающих конструкций. В реальных условиях распределения параметров теплообмена на поверхностях ограждений имеют сложный и многомерный характер, который невозможно задать априори. Для получения более реалистичной картины распределения параметров микроклимата в воздухе помещения, необходимо включить в задачу вычисление полей температуры в ограждениях, а также учет радиационного переноса теплоты между поверхностями и переменность внешних климатических условий.

Исследование процессов переноса только в воздушном объеме помещения или в отдельно взятом ограждении, имеющее место в рассмотренных работах, не позволяет достоверно оценить и тепловой режим светопрозрачных конструкций, особенно значительной высоты.

Обзор литературных источников показал, что лишь единичные исследования имели своей целью сопоставление полей параметров микроклимата при использовании различных видов отопительных приборов, при этом принимается значительно упрощенная модель нагревателей. Отсутствует анализ влияния вида отопительного прибора на фактические потери теплоты во внешнюю среду. Не обнаружены исследования, направленные на изучение влияния переменной температуры наружного воздуха на состояние микроклимата в помещении при различных видах нагревателей. Работы по изучению переменного режима работы системы отопления имеют упрощенный характер. В странах СНГ системные исследования влияния различных видов приборов на формирование полей параметров микроклимата помещений не обнаружены.

Проблемы, цели и задачи, сформулированные по результатам аналитического обзора, представлены в структурно-логической схеме диссертационного исследования, изображенной на рисунке 1.

Во второй главе представлена разработанная физико-математическая модель процессов переноса в отапливаемых помещениях в условиях естественной конвекции. Приводятся исходные уравнения переноса, краевые условия и особенности алгоритма их численного решения. Представлены также результаты натурных экспериментов, показывающие степень адекватности математической модели и ее программной реализации реальным физическим процессам.

Теплообмен в отапливаемом помещении включает в себя три вида переноса энергии и вещества: конвекцию, теплопроводность и излучение.

Формируемые в процессе конвекции температурное и скоростное поля воздушной среды найдены путем численного решения системы дифференциальных уравнений, состоящей из уравнений Навье-Стокса с допущением Буссинеска-Обербека, уравнения неразрывности и уравнения переноса теплоты:

$$\rho_0 \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

$$\rho_0 \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \rho_0 [1 - \beta(T - T_0)] g, \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (3)$$

$$c \rho_0 \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + q_v, \quad (4)$$

где ρ_0 – значение плотности для характерной температуры T_0 , взятой из интервала изменения температуры в воздушной среде помещения.

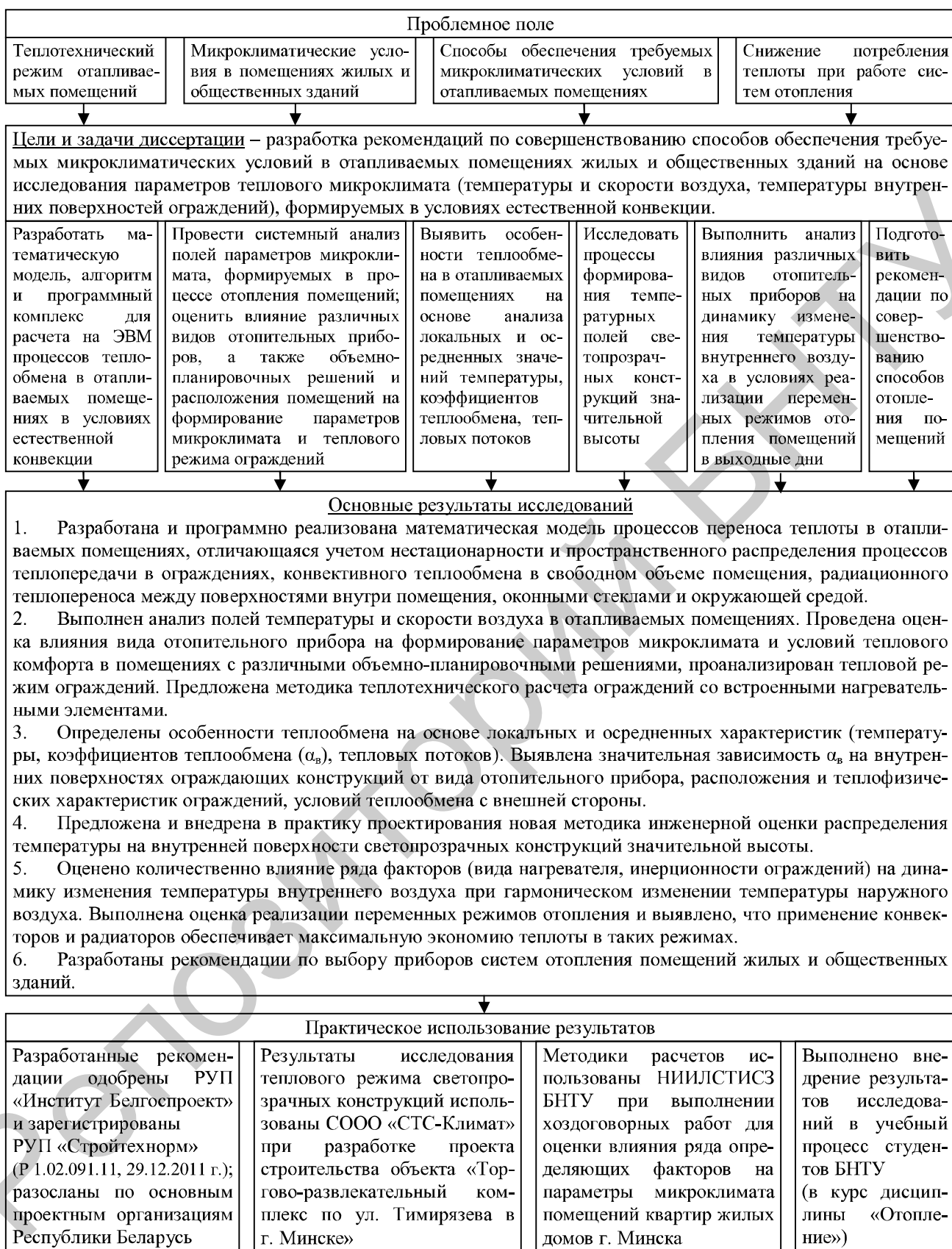


Рисунок 1 – Структурно-логическая схема диссертационной работы

Для учета турбулентного характера движения воздуха использована традиционно применяемая в таких задачах k - ϵ модель турбулентности, которая позволяет определить турбулентные составляющие коэффициентов переноса. При решении системы уравнений (1)–(4) используются эффективные коэффициенты вязкости и теплопроводности, характеризующие суммарную интенсивность молекулярного и турбулентного переноса количества движения и тепловой энергии соответственно.

Дифференциальное уравнение переноса теплоты в ограждениях является частным случаем уравнения (4) для подвижной среды:

$$c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + q_v. \quad (5)$$

Кроме конвекции и теплопроводности, в рассматриваемой системе значимое место занимает радиационный перенос теплоты, оказывающий влияние на характер распределения параметров микроклимата путем взаимодействия радиационных потоков с ограждениями. Принято, что тела в помещении образуют замкнутую систему серых поверхностей, которые диффузно излучают и отражают. Расчет лучистого теплообмена в помещении выполняется по методу сальдо. Уравнения, представляющие теплообмен k -го элемента некоторой поверхности, имеют вид:

$$Q_k = (q_{o,k} - q_{i,k}) A_k, \quad (6)$$

$$q_{o,k} = \epsilon_k \sigma T_k^4 + r_k q_{i,k} = \epsilon_k \sigma T_k^4 + (1 - \epsilon_k) q_{i,k}. \quad (7)$$

При расчете температурных полей ограждений используются граничные условия:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha (T_{\text{пов}} - T_{\text{возд}}) + q_{\text{рад}}. \quad (8)$$

На границе «ограждение–воздух помещения» локальный коэффициент теплообмена α определяется на основе характеристик воздушного потока в рассматриваемой точке. На внешних границах ограждений использовано нормированное значение коэффициента теплообмена и синусоидальное изменение температуры наружного воздуха в суточном режиме погоды. В местах стыковки различных материалов принято условие сопряжения, которое для границы раздела, перпендикулярной, например, оси x , имеет вид:

$$T_1|_{x=0} = T_2|_{x=0}, \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=0} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=0}. \quad (9)$$

При расчете поля скоростей на твердой поверхности применяется условие прилипания.

В программе расчета реализована двумерная численная модель отапливаемого помещения, в которой учитываются процессы нестационарной теплопередачи в ограждающих конструкциях с различными конструктивными решениями, перенос теплоты в пограничном слое, формируемом на внутренней поверхности ограждений, особенности суточного изменения параметров наружного воздуха, конвективный перенос и теплопроводность в свободном объеме помещения. Программа также включает блок расчета радиационного теплообмена между поверхностями внутри объекта исследования, остеклением световых проемов и окружающей средой.

Для численного решения задач теплообмена использован метод конечных разностей (в виде метода контрольных объемов). Это позволило получить консервативные дискретные аналоги дифференциальных уравнений, выражающие исходные законы сохранения. Предусмотрена возможность построения дискретной расчетной области с переменными шагами по пространству.

Дискретные аналоги уравнений конвективного переноса построены на основе консервативной монотонной аппроксимации первого порядка. В расчетах используется итерационный метод Зейделя с применением параметров релаксации.

В блоке программы, предназначенном для расчета теплопереноса в ограждающих конструкциях, применено расщепление задачи по пространственным переменным, что позволило использовать метод прогонки.

Отопительные приборы реализованы в модели как распределенные в пространстве источники теплоты, по геометрии, месту расположения и другим характеристикам подобные соответствующим реальным отопительным приборам.

Для проверки адекватности исходной математической модели и ее программной реализации реальным физическим процессам проведены натурные исследования температурного поля воздушного пространства жилого отапливаемого помещения. Полученные поля распределения температуры послужили основой для оценки достоверности полей температуры и скорости, рассчитанных в ходе численных экспериментов. Сопоставление результатов натуральных и вычислительных экспериментов показало, что распределения температуры имеют сходный характер (рисунок 2). Максимальное расхождение значений температуры в отдельных точках составляло $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ или 11 % от наблюдаемого в момент измерения диапазона изменения температуры в помещении. При этом различие средних значений температур воздуха составляло $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (или 2 %).

Двумерное моделирование температурного поля для сечения, проходящего через середину окна и отопительный прибор, дает достоверные результаты в пределах центральной части помещения, за исключением зоны, отстоящей на расстоянии $0,1B$ от каждой внутренней перегородки (здесь B – ширина помещения). Для угловых помещений с двумя наружными стенами зоны отклоне-

ний, выходящих за пределы указанных выше уровней, составляют примерно $0,1B$ от внутренней стены и около $0,25B$ от наружной стены.

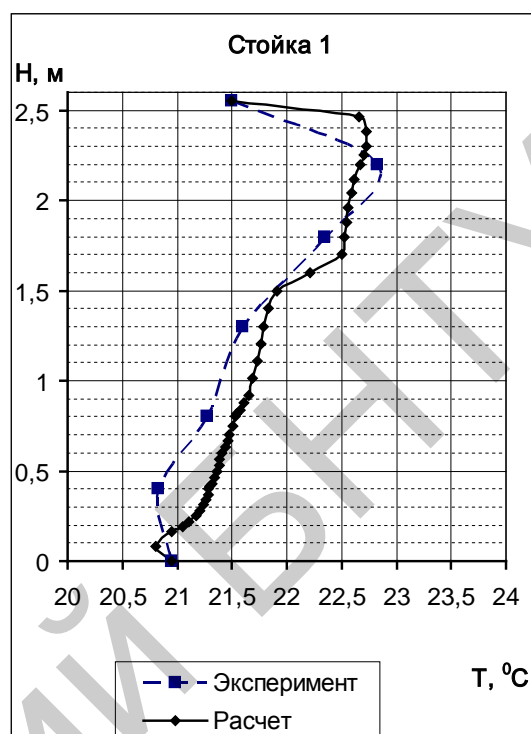
Таким образом, математическая модель и ее численный аналог удовлетворительно соответствуют реальным физическим процессам и с достаточной степенью точности позволяют оценить характеристики полей распределения параметров теплового микроклимата.

Разработанная программа предоставляет возможность выполнять детальный анализ процессов переноса, используя мгновенные, локальные и осредненные значения изучаемых параметров.

В третьей главе приводится анализ процессов переноса в отапливаемых помещениях, основанный на результатах применения разработанного программного комплекса. Рассматривается влияние вида отопительного прибора на формирование полей параметров микроклимата и условий теплового комфорта. Анализируются особенности теплообмена на внутренних поверхностях ограждений. Изучается влияние расположения и объемно-планировочного решения помещений на формирование параметров микроклимата. Оценивается распределение температуры на внутренней поверхности светопрозрачных ограждений значительной высоты. Завершается третья глава анализом применения переменных режимов работы системы отопления.

Для определения влияния вида отопительного прибора на распределение параметров микроклимата проведены расчеты для отапливаемых неугловых жилых помещений, расположенных на нижнем, среднем и верхнем этажах здания. Размеры помещений: высота 2,5 м, длина 6 м и ширина 3 м. Расчетная область представляет собой вертикальный разрез по окну ограждающих конструкций и воздушной среды помещения. Расчеты проведены для четырех видов отопительных приборов: радиатора, конвектора, подоконной отопительной панели и напольного отопления. Тепловые нагрузки приборов заданы в соответствии с тепловым балансом помещений, рассчитанным по традиционной методике.

Распределения температуры и скорости воздушной среды в условиях применения одного и того же отопительного прибора в помещениях всех этажей имеют подобный характер, но отличаются численным значением парамет-



Эксперимент: серия 1, 2009-03-21

Рисунок 2 – Распределение T по высоте помещения

ров в точках с одинаковыми координатами. В случае применения радиатора, конвектора и подоконной отопительной панели наблюдаются сходные картины движения воздуха. Это связано с компактностью данных приборов и одинаковым расположением – под окном у наружной стены. На рисунке 3 представлены поля температуры и скорости воздуха в случае применения радиатора в помещении на нижнем этаже.

В условиях использования напольного отопления формируются отличающиеся поле скоростей воздушных потоков и характер температурных полей. Охлаждаемый окном и наружной стеной воздух не встречает препятствие в виде нагретого отопительным прибором восходящего потока воздушной среды. Подогрев настилающейся холодной струи осуществляется далее теплым полом. В помещении формируется только один вихрь с циркуляцией против часовой стрелки.

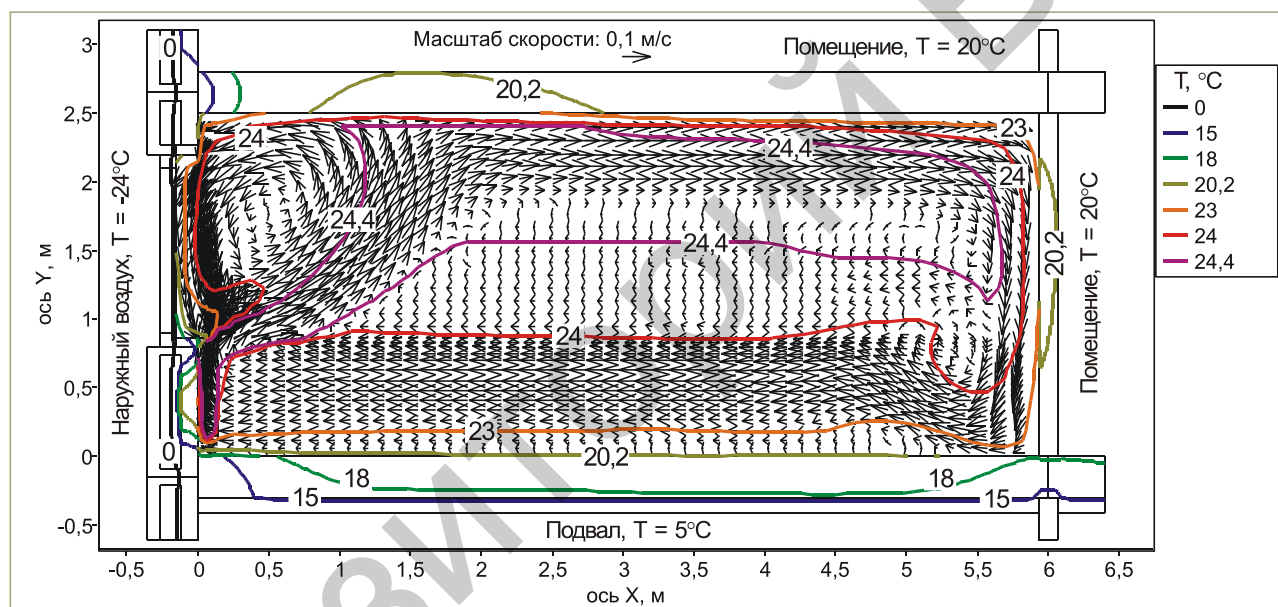


Рисунок 3 – Поля T и w . Отопительный прибор – радиатор

На рисунке 4 показаны сочетания средней температуры воздуха $T_{в,ср}$, средней скорости воздуха $w_{ср}$ и средней температуры поверхностей, обращенных в помещение, $T_{рад,ср}$, рассчитанные для помещений нижнего этажа.

Соответствие параметров микроклимата условиям комфорта оценивалось с использованием диаграмм П.О. Фангера. Установлено, что при использовании радиатора или конвектора требуется меньше теплоты для обеспечения комфортных условий, чем при подоконной панели или напольном отоплении.

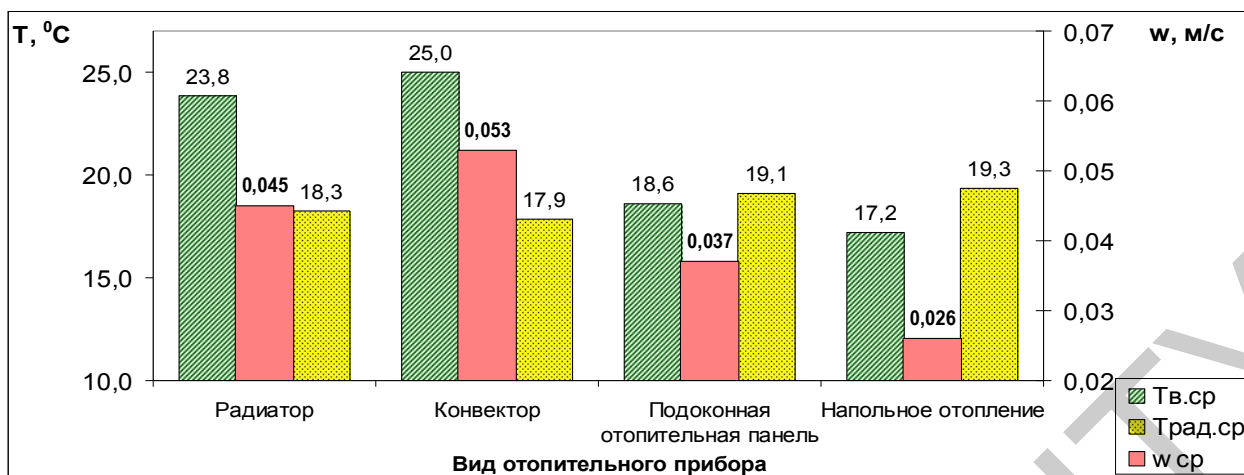


Рисунок 4 – Средние значения $T_{в}$, $T_{рад}$ и w (нижний этаж)

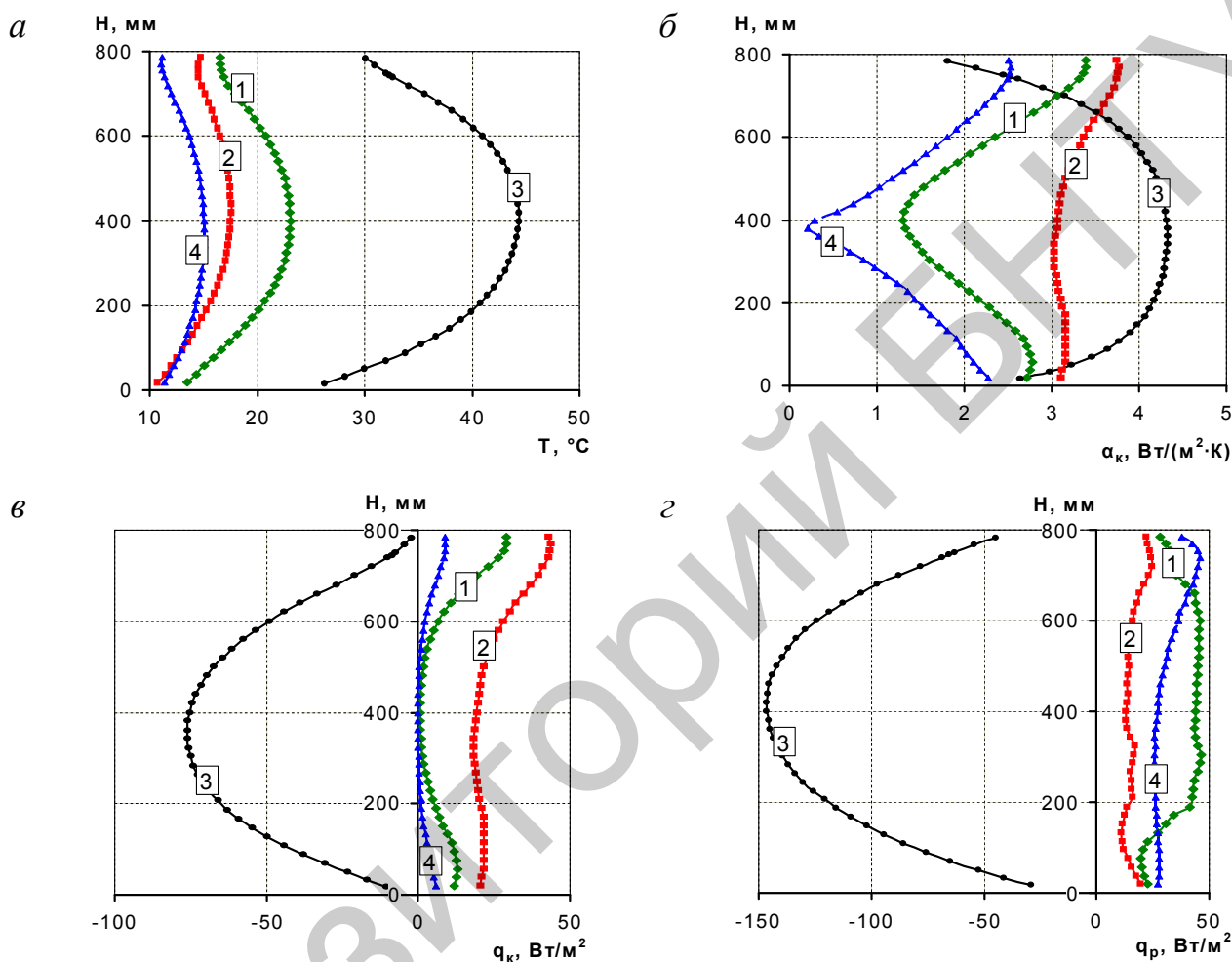
Проведен анализ конвективного и радиационного теплообмена внутри моделируемых помещений на основе распределений локальных значений параметров (рисунок 5). Выявлены значительная пространственная неоднородность конвективных и лучистых потоков теплоты, а также существенное расхождение в условиях теплообмена на внутренних поверхностях ограждений при использовании различных видов отопительных приборов.

Выполнен анализ коэффициента теплообмена по значениям, осредненным в пределах характерных областей на поверхностях ограждений. Установлено, что значения средних $\alpha_{в}$ для различных ограждающих конструкций (наружные и внутренние стены, окно, пол, потолок) имеют существенные отличия. Выявлена зависимость $\alpha_{в}$ и от вида отопительного прибора, особенно для поверхностей ограждений, расположенных наиболее близко к месту его установки. В применяемых ныне методиках расчета не учитывается связь коэффициента теплообмена с указанными выше условиями. Нормативное значение $\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ завышено, и характерно для сопротивления теплопередаче $R_{т} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. По результатам расчетов установлено, что средние значения $\alpha_{в}$ для внутренних поверхностей современных наружных ограждений, имеющих $R_{т} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, находятся в диапазоне $2 \dots 4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Выполнена оценка влияния секционирующей перегородки на формирование полей температуры и скорости в помещении в условиях применения различных нагревателей. Результаты показывают, что секционирующие перегородки (в том числе мебель) могут значительным образом влиять на пространственное распределение температуры и скорости движения воздуха в отапливаемом помещении. Степень и характер влияния зависит от высоты и места установки преграды, вида и расположения отопительного прибора.

Проведено исследование влияния высоты сплошного остекления на формирование полей температуры и скорости движения воздуха в помещении в условиях применения конвектора и напольного отопления. Особенность поля

температуры в условиях напольного отопления – устойчивая стратификация воздуха в подавляющей части объема помещения, что говорит о непригодности такого способа отопления в помещениях с большой высотой. Применение конвектора обуславливает достаточно эффективное перемешивание масс воздуха с различной температурой, что создает более однородное температурное поле.



а – температура; *б* – конвективный коэффициент теплообмена;
в – удельный конвективный поток; *г* – удельный радиационный поток

1 – радиатор; 2 – конвектор; 3 – подоконная панель; 4 – напольное отопление

Рисунок 5 – Нижний этаж. Распределения T , α_k , q_k , q_r по внутренней поверхности наружной стены (участка, расположенного под окном в месте установки отопительного прибора вида 1, 2 или 3)

С использованием разработанных алгоритма и программы расчета проведен анализ формирования микроклиматических условий в многосветном пространстве на примере торгово-развлекательного комплекса, расположенного по ул. Тимирязева в г. Минске. Особенность атриума заключается в наличии витража высотой 20 м. Результаты расчетов показывают, что при размещении кон-

векторов внизу светопрозрачной конструкции происходит существенное снижение температуры поверхности в нижней части витража (до минус 8 °С), поскольку по всей высоте остекления сверху вниз движется непрерывно охлаждающийся поток воздуха. В итоге будет наблюдаться выпадение конденсата и обмерзание внутренней поверхности витража. Увеличение сопротивления теплопередаче витража от 0,6 до 1,0 м²·К/Вт обеспечило повышение температуры в соответствующих точках остекления в среднем на 6 °С при разности температур внутреннего и наружного воздуха 50 °С. При устройстве конвективного отопления по зонам у остекления практически ликвидируется различие в уровне температур на внутренней поверхности витража в его верхней и нижней частях.

В рамках анализа влияния на микроклимат отапливаемых помещений переменных во времени возмущений проведено исследование воздействия суточных гармонических колебаний наружной температуры. Установлено, что в случае применения в качестве отопительного прибора радиатора амплитуда колебаний средней температуры внутреннего воздуха почти в два раза меньше, а время запаздывания в передаче температурной волны через наружные ограждения на четверть больше, чем при напольном отоплении.

С использованием результатов численных экспериментов выполнен расчет возможной экономии тепловой энергии при переменном режиме работы системы отопления и применения в этих условиях различных видов отопительных приборов (таблица 1). Рассмотрены шесть режимов работы, состоящих из суточного периода полного отключения системы отопления в выходные дни (или же двукратного снижения мощности), а затем – разогрева до исходной температуры воздушной среды с тремя вариантами мощности теплоотдающего прибора. Курсивом выделены значения, когда разогрев длился более 24 ч.

Таблица 1 – Экономия теплоты при переменном режиме работы отопления, %

Режим работы отопления		Вид отопительного прибора			
При снижении T	Коэф-т мощности С.О. при разогреве	Радиатор	Конвектор	Подоконная панель	Напольное отопление
Полное отключение	$K = 1$	<i>14,3</i>	<i>14,3</i>	<i>14,3</i>	<i>14,3</i>
	$K = 1,5$	9,4	9,7	7,9	4,2
	$K = 2$	8,0	8,5	6,0	2,4
$K = 0,5$	$K = 1$	<i>7,1</i>	<i>7,1</i>	<i>7,1</i>	<i>7,1</i>
	$K = 1,5$	4,4	4,8	3,0	1,1
	$K = 2$	3,7	4,2	1,2	0,3

При использовании лучшего из представленных в таблице 1 режимов экономия за отопительный период может составлять 4,3 млн руб. (при стоимо-

сти тепловой энергии 139 тыс. руб. за 1 ГДж) для здания площадью 1000 м², расположенного в г. Минске, оборудованного конвекторами.

Рекомендуется при применении переменного режима работы максимально возможно удлинить время отключения, а на период разогрева оставить время, необходимое для повышения температуры до требуемого значения при включении нагревателей с максимально возможной мощностью.

Наибольшая экономия теплоты среди вариантов, характеризующихся своевременным разогревом помещения, наблюдается при использовании конвектора и радиатора, поскольку они обеспечивают самый быстрый разогрев внутренней воздушной среды. Панельные отопительные приборы мало пригодны для обеспечения переменного режима работы отопления, т.к. характеризуются значительной тепловой инерцией.

В четвертой главе приводятся рекомендации по применению различных отопительных приборов, разработанные на основе анализа результатов расчетов. Указываются подходы к решению задачи обеспечения требуемых условий теплового микроклимата при наличии различных конструктивных особенностей помещений. Представлена разработанная методика теплотехнического расчета ограждений с размещенными внутри нагревательными элементами.

Анализ полей температуры и скорости воздушной среды отапливаемых помещений показал, что напольное отопление не следует применять в случае размещения постоянного рабочего места и сопутствующей ему мебели вблизи окна. Встроенные в конструкцию пола нагревательные элементы целесообразно использовать совместно с отопительным прибором, расположенным под окном. Для обеспечения требуемых параметров воздушной среды следует использовать компактные приборы с преимущественно конвективной теплоотдачей (конвекторы, радиаторы и т.п.), располагаемые у наружного ограждения.

В ходе исследований определено, что при одинаковой мощности различных видов отопительных приборов при прочих равных условиях более высокие значения средней температуры воздуха в помещениях обеспечивают конвекторы и радиаторы (см. рисунок 4). Применение подоконной панели и напольного отопления обеспечивает более низкие температуры воздуха. Причина заключается в различных значениях фактических теплотерь.

В таблице 2 приведены величины дополнительных стоков теплоты через ограждения при наличии встроенных или расположенных рядом отопительных приборов. Данные таблицы 2 свидетельствуют о необходимости использования ограждений с более высокими значениями сопротивления теплопередаче, если в них размещены нагревательные элементы.

Для здания площадью 1000 м², расположенного в г. Минске, использование конвекторов дает экономию за отопительный период в размере 11,3 млн руб., по сравнению с применением подоконных панелей.

Таблица 2 – Непродуктивно используемая часть тепловой нагрузки прибора, %

Этаж	Вид отопительного прибора			
	Радиатор	Конвектор	Подоконная панель	Напольное отопление
Нижний	4,8	2,9	28	20
Средний	4,8	3,2	29	31
Верхний	5,6	3,1	28	26

В нормативных документах в области технического нормирования и стандартизации, действующих в Республике Беларусь, а также в справочной литературе не обнаружены специальные указания по определению требуемого сопротивления теплопередаче ограждений (как наружных, так и внутренних) с размещенными внутри нагревательными элементами. По этой причине предложены три методики теплотехнического расчета таких ограждений. Первая основана на принципе сохранения потерь теплоты во внешнюю среду на уровне теплопотерь через ограждения без встроенных отопительных приборов. Вторым вариантом расчета позволяет определить теплотехнические характеристики слоев за отопительным прибором, когда задана допустимая величина стока теплоты во внешнюю среду. Третий вариант позволяет определить термическое сопротивление слоев за отопительным прибором при известной мощности нагревателя и требуемом потоке теплоты в обслуживаемое помещение.

Исследования показали, что системы панельного отопления чувствительны к наличию мостиков холода в ограждениях, где расположены нагреватели. Традиционно слой теплоизоляции размещается со стороны наружной поверхности ограждения. Во избежание значительных потерь теплоты через торцы ограждения со встроенными отопительными элементами, необходимо дополнительно предусматривать теплоизоляцию этих торцов.

Негативные последствия, которые возникают при установке перегородок, крупногабаритной мебели и предметов, связаны с образованием застойных воздушных зон. Это может привести к перегреву одних областей и переохлаждению других. Рекомендуется при устройстве перегородок или установке мебели обеспечивать возможность свободной циркуляции воздуха в помещении. В противном случае необходимо рассматривать вопрос обеспечения требуемых условий микроклимата отдельно для каждого выделенного объема.

Нами не обнаружены рекомендации по организации отопления помещений большой высоты со сплошным остеклением фасада или устройством витража. Результаты проведенных исследований показывают, что только отопительные приборы с преимущественно конвективной теплоотдачей, расположенные под витражом или остекленным фасадом, позволяют отклонить траекторию мощного ниспадающего потока охлажденного воздуха вверх и вывести охлажденный воздух из зоны обитания человека. Но проблема, связанная с об-

разованием конденсата (или инея) на поверхности остекления, сохраняется. Температура витража уменьшается в направлении сверху вниз, интенсивность снижения зависит от ряда факторов. Минимальная температура наблюдается в зоне отрыва от стекла и ухода охлажденного потока воздуха вглубь помещения. На основании обработки результатов расчетов многосветного пространства были получены и рекомендованы к практическому использованию удельные значения снижения температуры (на 1 м высоты) для различных значений сопротивления теплопередаче витража (или сплошного остекления) и разности температур внутреннего и наружного воздуха. При размещении конвекторов у остекления на различных отметках (зональное конвективное отопление) эти данные позволяют оценить падение температуры остекления отдельно по высоте каждой зоны.

Зональное конвективное отопление обеспечивает достаточно равномерное распределение температуры на внутренних поверхностях протяженных по высоте светопрозрачных конструкций. Для исключения переохлаждения поверхности витража следует делать его секционирование на отдельные зоны высотой 2...3 м с помощью конвекторов и горизонтально установленных панелей. Для витражей значительной высоты важно использовать остекление с повышенным сопротивлением теплопередаче (не менее $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработана и программно реализована математическая модель процессов переноса теплоты в отапливаемых помещениях [2–5], отличающаяся учетом нестационарности и пространственного распределения процессов теплопередачи в ограждающих конструкциях, конвективного теплообмена в свободном объеме помещения, радиационного теплопереноса между поверхностями внутри помещения, оконными стеклами и окружающей средой. Выполнено сопоставление результатов натурных и вычислительных экспериментов [1, 15]. Установлено, что численная модель является адекватной реальным физическим процессам и с достаточной степенью точности позволяет оценить качественные и количественные характеристики полей распределения параметров микроклимата.

2. Выполнен анализ полей температуры и скорости воздуха в отапливаемых помещениях [2–5, 9–13, 18]. Проведена оценка влияния вида отопительного прибора на формирование параметров микроклимата и условий теплового комфорта в помещениях с различными объемно-планировочными решениями, проанализирован тепловой режим ограждений [2–12, 14–19]. Значения дополнительных потерь теплоты, возникающих при тепловом взаимодействии конвекторов с ограждениями, в среднем в 1,5 раза ниже по сравнению со значениями

для радиаторов и в 9 раз ниже по сравнению со значениями для приборов панельного отопления. Для здания площадью 1000 м² использование конвекторов дает экономию за отопительный период в размере 11,3 млн руб., по сравнению с применением подоконных панелей (в условиях г. Минска). Предложена методика теплотехнического расчета ограждений со встроенными нагревательными элементами [19]. Данная методика позволяет найти требуемое термическое сопротивление слоев ограждения, исходя из условия обеспечения приемлемого (в том числе, заданного) уровня стоков теплоты в различные стороны от плоскости размещения нагревательных элементов.

3. Определены особенности теплообмена на основе локальных и осредненных характеристик (температуры, коэффициентов теплообмена, тепловых потоков) [5–7]. Выявлена значительная зависимость коэффициентов теплообмена на внутренних поверхностях ограждающих конструкций от вида отопительного прибора, расположения ограждений, их теплофизических характеристик и условий теплообмена с внешней стороны. Для исследованных условий коэффициент теплообмена, учитывающий как конвективный, так и радиационный перенос, составляет 2...4 Вт/(м²·К), что ниже нормативного значения $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·К).

4. Предложена и внедрена в практику проектирования новая методика инженерной оценки распределения температуры на внутренней поверхности светопрозрачных конструкций значительной высоты [19]. Представлены варианты обеспечения необходимых параметров внутренней среды в помещениях с остеклением значительной высоты.

5. Установлено и оценено количественно влияние ряда факторов (вида нагревателя, инерционности ограждений) на динамику изменения температуры внутреннего воздуха при гармоническом изменении температуры наружного воздуха [12, 14]. Выполнена оценка реализации переменных режимов отопления и выявлено, что применение конвекторов и радиаторов обеспечивает максимальную экономию теплоты в таких режимах [19]. Для здания площадью 1000 м² в г. Минске, оборудованного конвекторами, экономия за отопительный период при переменном режиме отопления может составлять 4,3 млн руб.

6. Разработаны рекомендации по выбору приборов систем отопления помещений жилых и общественных зданий, предназначенные для использования в проектной практике [19].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Рекомендации «Обеспечение теплового комфорта в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий. Рекомендации по выбору вида отопительного прибора» одобрены РУП «Институт Белгоспроект» и зарегистрирова-

ны РУП «Стройтехнорм» (Р 1.02.091.11, 29.12.2011 г.); распространены в проектных организациях Республики Беларусь.

Результаты исследования теплового режима светопрозрачных конструкций использованы СООО «СТС-Климат» при разработке проекта строительства объекта «Торгово-развлекательный комплекс по ул. Тимирязева в г. Минске».

Методики расчетов использованы НИИЛ строительной теплофизики и инженерных систем зданий БНТУ при выполнении хоздоговорных работ (х/д 5350/10с и х/д 5352/10с от 21.12.2010 г.) по направлению «Выполнение теплотехнических и тепловизионных исследований ограждающих конструкций и микроклимата помещений квартир жилых домов ЖРЭО г. Минска» для оценки влияния на параметры микроклимата ряда определяющих факторов.

Выполнено внедрение результатов исследований в учебный процесс студентов БНТУ специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна».

Результаты диссертационной работы и созданный программный продукт могут быть использованы для проектирования эффективных систем, обеспечивающих тепловой микроклимат зданий, для оценки теплового режима ограждений, а также при разработке технических нормативных правовых актов, справочных и учебных пособий.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

A – площадь; c – теплоемкость; g – ускорение свободного падения; H – расстояние по вертикали от пола помещения; n – нормаль; p – давление; Q – тепловой поток; q_i – удельный поток падающего излучения; q_o – удельный поток эффективного излучения; q_v – удельная объемная интенсивность источников теплоты; r – коэффициент отражения; t – время; T – температура; u , v – проекции вектора скорости на оси x и y соответственно; w – скорость; x , y – пространственные координаты; α – коэффициент теплообмена; β – коэффициент объемного термического расширения; ε – степень черноты поверхности; λ – теплопроводность; μ – динамическая вязкость; ρ – плотность; σ – постоянная Стефана–Больцмана. **Индексы:** в – внутренний; возд – воздушный; к – конвективный; пов – поверхность; р (рад) – радиационный; ср – средний.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи

1. Король, О.М. Натурные огневые исследования систем утепления и моделирование повреждений с помощью ПЭВМ / О.М. Король, А.Э. Захаревич // Белорусский строительный рынок. – 2004. – № 6. – С. 9–11.

2. Захаревич, А.Э. Влияние светопрозрачных конструкций на распределение параметров микроклимата в помещениях жилых и общественных зданий / А.Э. Захаревич // Светопрозрачные конструкции. – 2008. – № 5–6. – С. 46–53.

3. Дячек, П.И. Моделирование микроклимата отапливаемых помещений / П.И. Дячек, А.Э. Захаревич // Энергетика (Известия высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2009. – № 2. – С. 34–47.

4. Захаревич, А.Э. Особенности формирования микроклимата отапливаемых помещений / А.Э. Захаревич // Энергетика (Известия высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2009. – № 5. – С. 73–85.

5. Захаревич, А.Э. Численное моделирование распределения параметров микроклимата в отапливаемых помещениях / А.Э. Захаревич // Строительная наука и техника. – 2009. – № 6. – С. 66–72.

6. Дячек, П.И. Математические методы в отоплении, вентиляции и кондиционировании воздуха / П.И. Дячек, С.А. Макаревич, А.Э. Захаревич, Д.Г. Ливанский // Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 143–147.

7. Захаревич, А.Э. Особенности формирования микроклимата в многосветных пространствах / А.Э. Захаревич // Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 148–154.

Материалы конференций

8. Захаревич, А.Э. Отапливаемые помещения: комфортность и естественная конвекция / А.Э. Захаревич // Материалы науч. конф. учащихся, студентов и аспирантов, посвященной 85-летию БНТУ, Минск, 15–17 нояб. 2005 г. / БНТУ. – Минск, 2005. – С. 120–123.

9. Захаревич, А.Э. Процессы естественной конвекции в отапливаемых помещениях / А.Э. Захаревич // Наука – образованию, производству, экономике : материалы V Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18–19 апр. 2007 г. : в 2 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2007. – Т. 1. – С. 100–103.

10. Дячек, П.И. Естественная конвекция в отапливаемых помещениях / П.И. Дячек, А.Э. Захаревич // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции : материалы 2 Междунар. науч.-техн. конф., Москва, 21–23 нояб. 2007 г. / МГСУ ; редкол.: В.И. Прохоров [и др.]. – М., 2007. – С. 113–120.

11. Захаревич, А.Э. Расчет распределения параметров микроклимата в помещениях отапливаемых зданий / А.Э. Захаревич // Перспективы и направления развития энергетики АПК : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 50-летию агроэнергетич. фак. БГАТУ, Минск, 22–23 нояб. 2007 г. / БГАТУ ; редкол.: М.А. Прищепов [и др.]. – Минск, 2007. – С. 229–232.

12. Захаревич, А.Э. Влияние различных факторов на формирование микроклимата в отапливаемых помещениях / А.Э. Захаревич // Наука – образованию, производству, экономике : материалы VI Междунар. науч.-техн. конф.,

Минск, 15–16 апр. 2008 г. : в 3 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2008. – Т. 2. – С. 27.

13. Захаревич, А.Э. Влияние турбулентности на процессы естественной конвекции в отапливаемых помещениях / А.Э. Захаревич // Наука – образованию, производству, экономике : материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 14–15 апр. 2009 г. : в 3 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 49.

14. Захаревич, А.Э. Факторы, определяющие микроклимат в отапливаемых помещениях / А.Э. Захаревич // Энергоэффективное строительство в Респ. Беларусь : материалы II практической конф., Минск, 25 февр. 2010 г. / Белорусский союз строителей. – Минск, 2010. – С. 22–25.

15. Захаревич, А.Э. Адекватность разработанной численной модели естественноконвективного теплообмена реальным физическим процессам в отапливаемых помещениях / А.Э. Захаревич // Наука – образованию, производству, экономике : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 15–16 апр. 2010 г. : в 4 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2010. – Т. 1. – С. 109.

Тезисы докладов

16. Захаревич, А.Э. Исследование температурных полей в наружных углах помещений / А.Э. Захаревич // НИРС-2003 : тезисы докладов VIII Республиканской науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Минск, 9–10 дек. 2003 г. : в 7 ч. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2003. – Ч. 4. Архитектура, строительство, транспортные коммуникации, аграрно-технические и аграрно-инженерные науки. – С. 80–81.

17. Захаревич, А.Э. Влияние процессов тепломассообмена на состояние наружных ограждающих конструкций / А.Э. Захаревич // НИРС-2005 : тезисы докладов X Республиканской науч. конф. студентов и аспирантов вузов Респ. Беларусь, Минск, 14–16 февр. 2006 г. : в 3 ч. / БНТУ ; редкол.: С.К. Рахманов [и др.]. – Минск, 2005. – Ч. 2. – С. 14.

18. Захаревич, А.Э. Процессы переноса в отапливаемых помещениях / А.Э. Захаревич // Тезисы докладов и сообщений VI Минского международного форума по тепло- и массообмену, Минск, 19–23 мая 2008 г. : в 2 т. / Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси ; редкол.: С.А. Жданок [и др.]. – Минск, 2008. – Т. 1. – С. 94–95.

Другие работы

19. Обеспечение теплового комфорта в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий. Рекомендации по выбору вида отопительного прибора : Р 1.02.091.11. – Зарегистрированы РУП «Стройтехнорм» за № 091 от 29.12.2011 г. ; рук. Дячек П.И. ; исполн. Захаревич А.Э. – Минск, 2011. – 28 с.

РЭЗЮМЭ

Захарэвіч Аляксей Эдуардавіч

Фарміраванне параметраў мікраклімату ў ацяпляемых памяшканнях ва ўмовах натуральнай канвекцыі

Ключавыя словы: ацяпляемае памяшканне, мікраклімат, камфорт, натуральная канвекцыя, цеплаправоднасць, цеплавое выпраменьванне, матэматычнае мадэляванне, канвектар, радыатар, панэльнае ацяПЛенне, агароджа.

Мэта працы – распрацоўка рэкамендацый па ўдасканаленні спосабаў забеспячэння патрэбных мікракліматых умоў ў ацяпляемых памяшканнях жылых і грамадскіх будынкаў на аснове даследаванняў параметраў цеплавога мікраклімату (тэмпературы і хуткасці паветра, тэмпературы ўнутраных паверхняў агароджаў), якія фарміруюцца ва ўмовах натуральнай канвекцыі.

Выкарыстаны наступныя метады даследавання: матэматычнае мадэляванне; вылічальны эксперымент.

Асноўныя атрыманыя вынікі. Распрацавана матэматычная мадэль працэсаў цеплаабмену ў памяшканнях. Праведзена ацэнка ўплыву віду награвальніка на фарміраванне параметраў мікраклімату, умоў цеплавога камфорту. Прааналізаваны цеплавы рэжым агароджаў і разгледжаны асаблівасці цеплаабмену на іх паверхнях. Распрацавана методика цеплатэхнічнага разліку агароджаў з убудаванымі награвальнымі элементамі. Выпрацаваны рэкамендацыі па выбары ацяпляльных прыбораў для памяшканняў з рознымі характарыстыкамі.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Вынікі дысертацыйнай працы і створаны праграмны прадукт могуць быць выкарыстаны для праектавання эфектыўных сістэм, што забяспечваюць цеплавы мікраклімат будынкаў, для ацэнкі цеплавога рэжыму агароджаў, а таксама пры распрацоўцы тэхнічных нарматыўных прававых актаў, даведачных і навучальных дапаможнікаў.

Галіна прымянення. Распрацаваныя рэкамендацыі ўхвалены РУП «Інстытут Белдзяржпраект» і зарэгістраваны РУП «Будтэхнорм». Вынікі даследаванняў выкарыстаны СТАА «СТС-Клімат» пры распрацоўцы праекта будаўніцтва аб'екта «Гандлёва-забаўляльны комплекс па вул. Ціміразева ў г. Мінску». Вынікі разлікаў выкарыстаны НДВЛ будаўнічай цеплафізікі і інжынерных сістэм будынкаў БНТУ пры выкананні гаспадарча-дагаворных работ для ацэнкі ўплыву шэрагу вызначальных фактараў на параметры мікраклімату памяшканняў кватэр жылых дамоў г. Мінска.

РЕЗЮМЕ

Захаревич Алексей Эдуардович

Формирование параметров микроклимата в отапливаемых помещениях в условиях естественной конвекции

Ключевые слова: отапливаемое помещение, микроклимат, комфорт, естественная конвекция, теплопроводность, тепловое излучение, математическое моделирование, конвектор, радиатор, панельное отопление, ограждение.

Цель работы – разработка рекомендаций по совершенствованию способов обеспечения требуемых микроклиматических условий в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий на основе исследований параметров теплового микроклимата (температуры и скорости воздуха, температуры внутренних поверхностей ограждений), формируемых в условиях естественной конвекции.

Использованы следующие **методы исследования:** математическое моделирование; вычислительный эксперимент.

Основные полученные результаты. Разработана математическая модель процессов теплообмена в помещениях. Проведена оценка влияния вида нагревателя на формирование параметров микроклимата, условий теплового комфорта. Проанализирован тепловой режим ограждений и рассмотрены особенности теплообмена на их поверхностях. Разработана методика теплотехнического расчета ограждений со встроенными нагревательными элементами. Выработаны рекомендации по выбору отопительных приборов для помещений с различными характеристиками.

Рекомендации по использованию. Результаты диссертационной работы и созданный программный продукт могут быть использованы для проектирования эффективных систем, обеспечивающих тепловой микроклимат зданий, для оценки теплового режима ограждений, а также при разработке технических нормативных правовых актов, справочных и учебных пособий.

Область применения. Разработанные рекомендации одобрены РУП «Институт Белгоспроект» и зарегистрированы РУП «Стройтехнорм». Результаты численных экспериментов использованы СООО «СТС-Климат» при разработке проекта строительства объекта «Торгово-развлекательный комплекс по ул. Тимирязева в г. Минске». Результаты расчетов использованы НИИЛ строительной теплофизики и инженерных систем зданий БНТУ при выполнении хозяйственных работ для оценки влияния ряда определяющих факторов на параметры микроклимата помещений квартир жилых домов г. Минска.

SUMMARY

Zakharevich Aliaksei Eduardavich

The formation of indoor climate parameters in heated rooms under natural convection conditions

Keywords: heated room, indoor climate, comfort, natural convection, heat conduction, thermal radiation, mathematical modelling, convector, radiator, panel heating, building envelope.

The aim of the research is to develop guidelines on improving ways to ensure required indoor climatic conditions in heated rooms of residential and public buildings on the basis of investigations of indoor climate parameters (air temperature and velocity, inner surface temperature of structures) formed under natural convection conditions

The methods of investigation are mathematical modelling, numerical experiment.

The main results obtained. The mathematical model of heat transfer processes in rooms is developed. The influence of heater type on the indoor climate parameters formation and thermal comfort conditions is estimated. The thermal conditions of building envelopes are analyzed and the features of heat transfer on the wall surfaces are considered. The method of thermotechnical calculation for building envelopes with built-in heating elements is developed. Guidelines on heater type selection for rooms with different characteristics are worked out.

Usage recommendations. The results obtained and the software product developed can be used for designing efficient HVAC systems, for assessing the thermal conditions of building envelope as well as for developing construction design standards, reference books and learning aids.

Application area. The developed guidelines were approved by RUE «The Belgosproekt Institute» and were registered by RUE «Stroytechnorm». The research results were used by «STS-Klimat» Co Ltd in developing the project documentation «Shopping mall located at Timiryazev Street in Minsk». The numerical computation results were applied by BNTU Research and Testing Laboratory of Building Thermal Physics and Building Engineering Systems in the course of contract works to estimate the influence of several governing factors on the indoor climate parameters of apartment houses located in Minsk.

Научное издание

ЗАХАРЕВИЧ Алексей Эдуардович

ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА
В ОТАПЛИВАЕМЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ
В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Подписано в печать 05.04.2012.

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Ризография. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,09. Тираж 60. Заказ 433.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.