

На правах рукописи



Рымаров Андрей Георгиевич

**Разработка научной концепции формирования микроклимата и  
качества воздушной среды при совместной и комплексной работе  
инженерных систем**

Специальность

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

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет".

Официальные оппоненты: **Аверкин Александр Григорьевич**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», кафедра «Теплогазоснабжения и вентиляции», профессор

**Бодров Михаил Валерьевич**, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра «Отопления и вентиляции», заведующий кафедрой

**Гримитлин Александр Моисеевич**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра «Теплогазоснабжения и вентиляции», профессор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»

Защита состоится 20 сентября 2023 г. в "12:00" часов по местному времени на заседании диссертационного совета 24.2.339.03 при ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» по адресу: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, студия № 9 «Открытая сеть».

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте [www.mgsu.ru](http://www.mgsu.ru) ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2023 года.

Исполняющий обязанности  
ученого секретаря  
диссертационного совета



Орлов Владимир Александрович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Увеличение санитарно-гигиенических требований к качеству параметров микроклимата и составу воздушной среды в помещениях здания при проектировании приводит к сложностям при решении задачи обеспечения требуемых эксплуатационных параметров микроклимата и качества воздуха. Воздушная среда в здании объединяется в единое целое в связи с наличием лифтовых шахт, коридоров, лестничных маршей и атриумных пространств, а применение новых архитектурных решений и разнообразие планировок этажей увеличивает сложности при создании требуемого микроклимата и состава воздуха.

Проектирование систем обеспечения микроклимата и качества воздушной среды позволяет учитывать взаимосвязи параметров воздушного, теплового и газового режимов здания при совместной и комплексной работе инженерных систем и на стадии проектирования зданий решить вопрос обеспечения требуемых эксплуатационных параметров микроклимата и качества воздуха.

В основе предлагаемых моделей, методов и технологий лежит действие воздушного, теплового и газового режимов в здании при совместной и комплексной работе инженерных систем на основе физических процессов, обеспечивающих создание требуемых параметров микроклимата и качества воздушной среды, что позволяет формировать проектирование и технические решения инженерных систем. Рассматриваемые тепломассообменные и газовый режимы, в той или иной степени изучены, но взаимное влияние рассматриваемых режимов не учтено. При прогнозировании изменения параметров микроклимата и качества воздуха в помещениях здания требуется рассмотрение тепломассообменных и газового режимов, формирующих микроклимат и качество воздуха в помещениях при совместном и комплексном действии инженерных систем. Формирование проектных решений по созданию микроклимата и формированию качества воздушной среды, по управлению микроклиматом и качеством воздушной среды, а также при анализе энергетической эффективности здания невозможно без рассмотрения указанных динамических режимов при совместной и комплексной работе инженерных систем. Воздушный, тепловой и газовый режимы здания изучались ранее, но без объединения в единую систему совместную с инженерными системами. Чтобы создать взаимосвязанную модель взаимозависимых и взаимозависимых динамических режимов необходимо провести исследования.

**Степень разработанности темы исследования.**

Развитие теоретической базы для решения элементов воздушного и теплового режима здания посвящены работы следующих авторов: Абрамовича Г.Н., Талиева В.Н., Богословского В.Н., Шепелева И.А., Титова В.П., Гримитлина М.И., Посохина В.Н., Табунщикова Ю.А., Позина Г.М.,

Тейлора Дж., Рейхардта Г., Шлихтинга Г, Брилинга Р.Е., Фокина К.Ф., Ушкова Ф.В., Батурина В.В., Каменева П.Н., Константиновой В.Е., Титова В.П., Кувшинова Ю.Я., Бодрова В.И., Табунщикова Ю.А., Костина В.И., Хаванова П.А., Гримитлина А.М., Аверкина А.Г., Бодрова М.В. и других. Газовым режимом здания и процессом распространения примесей в воздухе помещений занимались такие ученые как Селиверстов А.Н., Эльтерман В.М., Титов В.П. и другие. Исследователи изучали отдельные элементы динамических режимов здания без их взаимосвязи, что снижало качество результатов расчетов.

Для того чтобы создавать микроклимат и качество воздуха и управлять ими необходимы: 1. комплексный разбор действия и анализ всех тепломассообменных и газового режимов в здании совместно с работой инженерных систем; 2. необходимо создать технологию расчета параметров микроклимата и концентрации примесей в воздухе; 3. необходимо проанализировать динамику указанных режимов и при необходимости провести корректировку работы инженерных систем – вот не полный перечень сложных вопросов, которые требуют усилий для их разрешения.

**Объект исследования:** параметры микроклимата и качества воздушной среды, изменяющиеся во времени на протяжении жизненного цикла здания.

**Предмет исследования:** процессы создания и анализа проектных решений по формированию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды в здании.

**Научно-техническая гипотеза** состоит в повышении эффективности процессов и результатов проектирования и управления параметрами микроклимата и качеством воздушной среды в здании на основе моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем.

**Цель и задачи исследования.** Цель: создание научных основ рационального формирования микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем.

Задачи исследования:

1. Анализ теории и практики управления микроклиматом и качеством воздушной среды здания.
2. Анализ проектных решений по формированию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды здания.
3. Создание научных основ формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды в здании при совместной и комплексной работе инженерных систем здания.
4. Комплексное физико-математическое моделирование параметров микроклимата и качества воздушной среды в части изменения воздушного, теплового и газового режимов здания при совместном и комплексном действии инженерных систем в течение суток, сезона, года.

5. Разработка методов физико-математического моделирования и анализа влияния возмущающих воздействий на динамику тепломассообменных и газового режимов здания.
6. Вариативное комплексное физико-математическое моделирование микроклимата и качества воздушной среды здания.
7. Разработка методов формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем.
8. Построение технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем.
9. Интеграция технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата в систему формирования проектных решений по созданию микроклимата и качества воздушной среды зданий при совместной и комплексной работе инженерных систем.
10. Практическая апробация технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при моделировании динамических тепломассообменных и газового режимов в здании при совместной и комплексной работе инженерных систем.
11. Научное обоснование дальнейших исследований в области формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при физико-математическом моделировании динамических тепломассообменных и газового режимов в здании при совместной и комплексной работе инженерных систем.

**Научная новизна результатов исследований:**

1. Научные основы формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при моделировании динамических тепломассообменных и газового режимов в здании при совместной и комплексной работе инженерных систем.
2. Комплексная физико-математическая модель параметров микроклимата и качества воздуха в течение суток, сезона и года при совместной и комплексной работе инженерных систем.
3. Метод физико-математического моделирования и анализа динамики тепломассообменных и газового режимов здания с учетом возмущающих воздействий при совместной и комплексной работе инженерных систем.
4. Вариативная комплексная физико-математическая модель микроклимата и качества воздушной среды здания при совместной и комплексной работе инженерных систем.

5. Методы формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем.

**Теоретическая значимость работы состоит:**

1. В разработке комплексного подхода к проектированию инженерных систем обеспечения параметров микроклимата и качества воздушной среды в здании при различных вариантах состава и организации работы инженерных систем с учетом динамики изменения воздушного, теплового и газового режимов здания.
2. В теоретическом обеспечении алгоритмов расчета воздушного, теплового и газового режимов здания, доступных к реализации при проектировании инженерных систем.
3. В теоретическом обеспечении методики расчета газового режима заветренного объема аэродинамического следа здания.

**Практическая значимость работы состоит:**

1. В создании методики учета переменных потоков теплоты от составных частей системы отопления при формировании физико-математической модели параметров микроклимата и концентрации примеси в воздухе помещений здания.
2. В создании методики по расчету переменных во времени потоков примесей в воздухе помещений здания.
3. В разработке методики прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды на основе вариативности и комплексности.

**Методология и методы исследования.** Методологические основы настоящей работы базируются на применении системного анализа, теории систем, теории планирования эксперимента, а также опыте предыдущих исследований элементов и частей тепломассообменных и газового режимов здания. Диссертационная работа построена на применении методов, с помощью которых в настоящее время проводятся исследования по повышению качества параметров микроклимата и улучшению качества воздушной среды в помещениях зданий. Используются методы физико-математического моделирования.

**Положения, выносимые на защиту.**

1. Научные основы формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при физико-математическом моделировании динамических тепломассообменных и газового режимов в здании при совместной и комплексной работе инженерных систем.
2. Комплексная физико-математическая модель параметров микроклимата и качества воздуха переменных во времени.
3. Метод физико-математического моделирования и анализа динамики тепломассообменных и газового режимов здания с учетом возмущающих воздействий.

4. Вариативная комплексная физико-математическая модель микроклимата и качества воздушной среды здания.

5. Методы формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при физико-математическом моделировании динамических тепломассообменных и газового режимов в здании при совместной и комплексной работе инженерных систем.

6. Технология вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при физико-математическом моделировании динамических тепломассообменных и газового режимов в здании при совместной и комплексной работе инженерных систем.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Результаты, изложенные в диссертационной работе, обеспечены существующими теоретическими и экспериментальными фактами, методами оценки точности экспериментальных исследований, сопоставимостью полученных результатов с данными многих авторов.

**Апробация работы:**

Результаты диссертационной работы докладывались на международной научно-практической конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды» в Волгоградском ГАСУ в 2005, 2008, 2009, 2014, 2015 г.г., на научно-практических конференциях «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции» в НИУ МГСУ в 2005, 2007, 2009, 2011, 2013, 2015, 2017, 2020 г.г., на научных семинарах на кафедре общей физики в НИУ МГСУ в 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 г.г., на научно-практической конференции «Формирование среды жизнедеятельности» в 2016, 2017, 2018, 2021 г.г.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

- разработке научных основ формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при физико-математическом моделировании динамических тепломассообменных и газового режимов в здании при совместной и комплексной работе инженерных систем;
- обобщении компонент и формулирование комплексной физико-математической модели параметров микроклимата переменных во времени;
- разработке метода физико-математического моделирования и анализа динамики тепломассообменных и газового режимов здания с учетом возмущающих воздействий;
- разработке вариативной комплексной физико-математической модели микроклимата и качества воздушной среды здания;
- разработке методов формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды;

- разработке технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при физико-математическом моделировании динамических тепломассообменных и газового режимов в здании при совместной и комплексной работе инженерных систем.

Экспериментальное **внедрение результатов исследования** выполнено в Обществе с ограниченной ответственностью «ПСО-Инжиниринг» и в Обществе с ограниченной ответственностью «ВеерВент». Акты о внедрении научных и практических результатов диссертации приведены в Приложении Д.

**Публикации.** Результаты диссертации опубликованы в 59 научных работах, в том числе – в 39 работах в научных изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук и в 8 работах в научных изданиях, индексируемых в международной реферативной базе Scopus.

В диссертации использованы (в части не составляющей научной новизны настоящей диссертации) результаты научных работ, выполненных автором - соискателем ученой степени доктора технических наук – лично и в соавторстве, в том числе совместно с Сырых П.Ю., Смирновым В.В., Савичевым В.В., Мелехиным А.А., Титковым Д.Г., Ву Ван Дай, Агафоновой В.В., Абрамкиной Д.В. научным руководителем которых являлся А.Г. Рымаров. Список опубликованных научных работ А.Г. Рымарова (лично и в соавторстве) приведен в Приложении Б.

В результате проведенных исследований автором (в составе авторского коллектива) получены 3 Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ и 2 патента на полезную модель. Информация о государственной регистрации программ для ЭВМ, полученных А.Г. Рымаровым в ходе проведения исследований приведена в Приложении В. Информация о патентах на полезную модель, полученных А.Г. Рымаровым в ходе проведения исследований приведена в Приложении Г.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав основного текста, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложений. Диссертация содержит 307 страниц текста, включая 111 рисунков, 8 таблиц и 5 приложений. Содержание диссертации соответствует п.п. 1, 2 Паспорта специальности 2.1.3 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность д.т.н., проф. П.А. Хаванову за помощь и полезные замечания при работе над диссертацией.



## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первая глава** диссертации посвящена обзору и анализу трудов, относящихся к теории и практики управления микроклиматом и качеством воздушной среды здания.

Микроклиматом и качеством воздушной среды здания необходимо управлять, для этого нужна информация о влиянии воздушного, теплового и газового режимов здания на микроклимат и газовый состав воздушной среды. Воздушный режим здания – это совокупность избыточных давлений воздуха в каждом помещении и вокруг здания, под действием перепада которых происходит тепломассоперенос, движется воздух в помещении, в здании, в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, вне здания. Проведено условное разделение ВРЗ (воздушный режим здания) на три взаимосвязанные составляющие: внутреннюю часть, краевую и внешнюю части.

К внутренней части ВРЗ относятся процессы, связанные с движением воздуха (конвективные, приточные и вытяжные струйные течения) в помещении, ограниченном ограждающими конструкциями с заданным сопротивлением воздухопроницаемости, в воздушном пространстве которого имеет место потенциальное течение воздуха с подвижностью, не более заданной нормами. К ТРЗ (тепловой режим здания) относится температурный режим в помещениях здания, который одновременно воздействует на ВРЗ. Движение воздуха в здание и из здания организованным и неорганизованным способами от помещения через каналы, воздуховоды и оболочку здания к наружному воздуху, а также от наружного воздуха к помещению – рассматриваем как краевую часть ВРЗ. Взаимодействие здания с потоком ветра и наружным воздухом – рассматриваем как внешнюю часть ВРЗ.

Технологические задачи ВРЗ: требуемые воздухообмены в помещении, способы подачи и удаления воздуха (внутренняя часть ВРЗ), устойчивая работа систем вентиляции и кондиционирования воздуха, количество перетекающего воздуха между помещениями, расходы воздуха под действием неорганизованного воздухообмена (краевая часть ВРЗ), расчетные параметры наружного климата, влияние ветра на величину давления воздуха на все фасады здания (внешняя часть ВРЗ). Управление и оптимизация ВРЗ – распределение воздуха по объему помещения, воздухозадача и удаление воздуха в помещениях (внутренняя часть ВРЗ), движение воздуха в здании и работа систем вентиляции и кондиционирования воздуха, воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций (краевая часть ВРЗ), расположение воздухозаборов и размещение вентшахт для удаляемого воздуха (внешняя часть ВРЗ). Внутренняя часть ВРЗ достаточно полно изучена отечественными инженерами и учеными, краевая и внешняя части требуют дополнения и уточнения.

Стационарный режим на сегодня – это основной подход при расчетах и анализе воздушного режима вентилируемого помещения. Рост требований к параметрам микроклимата в помещениях и совершенствование вентиляционного оборудования позволяют повысить качество параметров микроклимата с учетом динамики параметров микроклимата в помещении.

Единая технологическая система по расчету микроклимата и качества воздушной среды включает в себя окружающую здание воздушную среду (климат) - здание с инженерными системами - помещение с людьми. Воздух в помещении, здании и его инженерных системах объединяет в целостном единстве все тепломассообменные процессы, имеющие место в этой системе, а теория воздушного режима здания позволяет проводить расчеты потоков воздуха в каждом элементе данной системы во взаимосвязи с другими, объединяя расчеты всех элементов единой технологической системы в единое целое.

Проведённый анализ теории и практики моделирования микроклимата и качества воздушной среды в здании показал, что существующие методы расчета теплового режима здания, наружных и внутренних ограждающих конструкций, инженерных систем не позволяют получить динамику изменения микроклиматических параметров и загрязнения воздуха, а так же не позволяют учитывать расчетным путем влияние постоянно меняющихся в суточном, сезонном и годовом режимах времени температуру наружного климата и потоков теплоты от внутренних источников в каждом помещении здания. Совместное влияние динамических тепломассообменных (воздушного, теплового) и газового режимов в помещениях и в здании при инженерных расчетах в настоящее время не рассматривается. Отсутствуют комплексные программы для моделирования изменений микроклимата и качества воздушной среды в помещениях зданий с учетом действия инженерных систем, что не позволяет прогнозировать состояние микроклимата и качество воздушной среды на всем жизненном цикле здания с учетом особенностей переменчивости климата и режимов эксплуатации инженерных систем. Анализ современного состояния и перспектив процессов и результатов вариативного комплексного моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды выявил, что развитие технологии моделирования и прогнозирования изменения параметров динамических тепломассообменных и газового режимов здания позволит оптимизировать энергопотребление зданием за весь его жизненный цикл.

**Вторая глава** посвящена научным основам формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания. Структурная схема формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при

совместной и комплексной работе инженерных систем показана на рисунке 1.

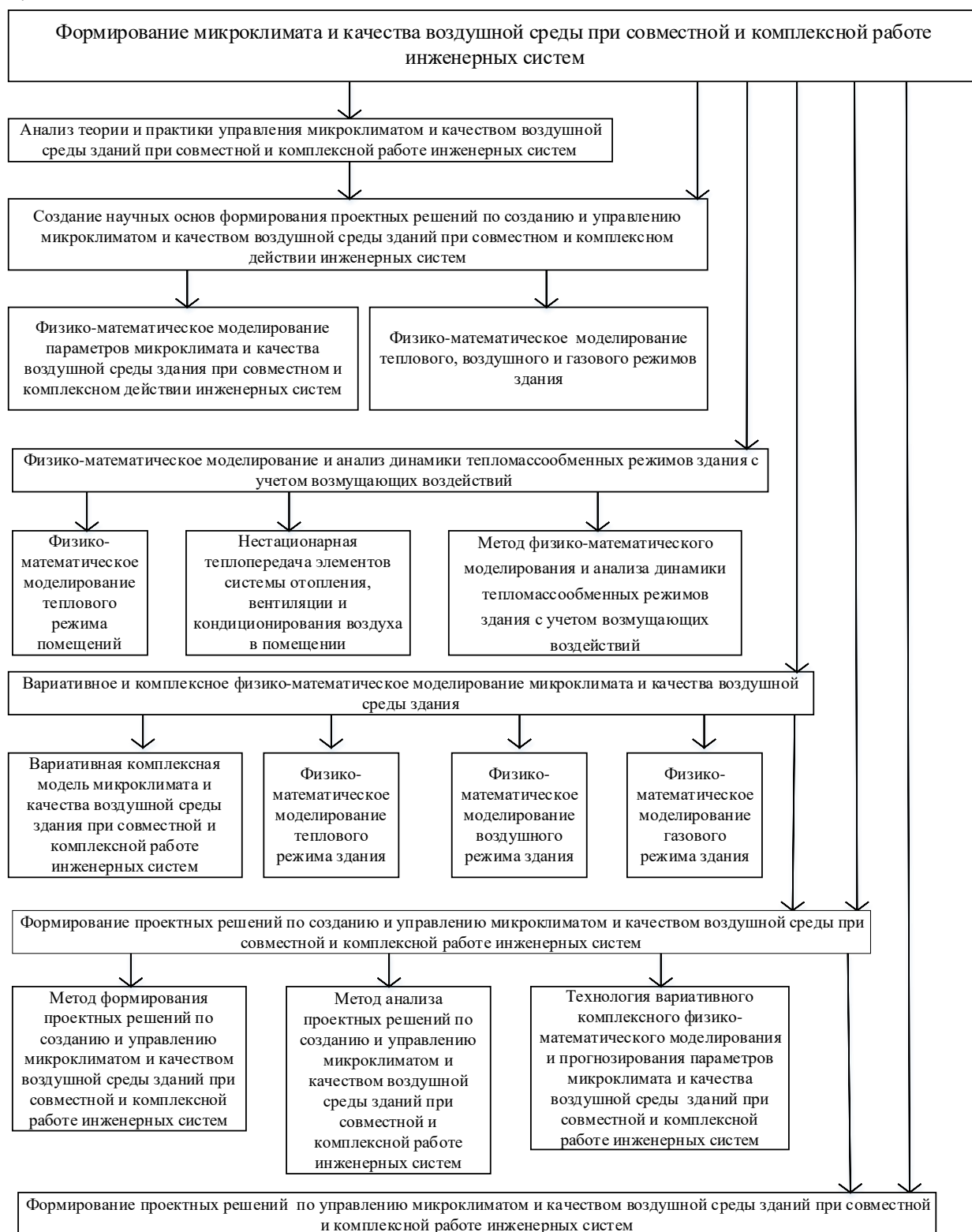


Рисунок 1 Структурная схема формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем

Теория формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и

комплексной работе инженерных систем зданий - это формирование проектного решения и последующий его анализ на основе физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания и при не соответствии параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем требуемым значениям проводится формирование нового проектного решения с последующим анализом параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем, и далее процесс формирования проектных решений продолжается до получения необходимого проектного решения.

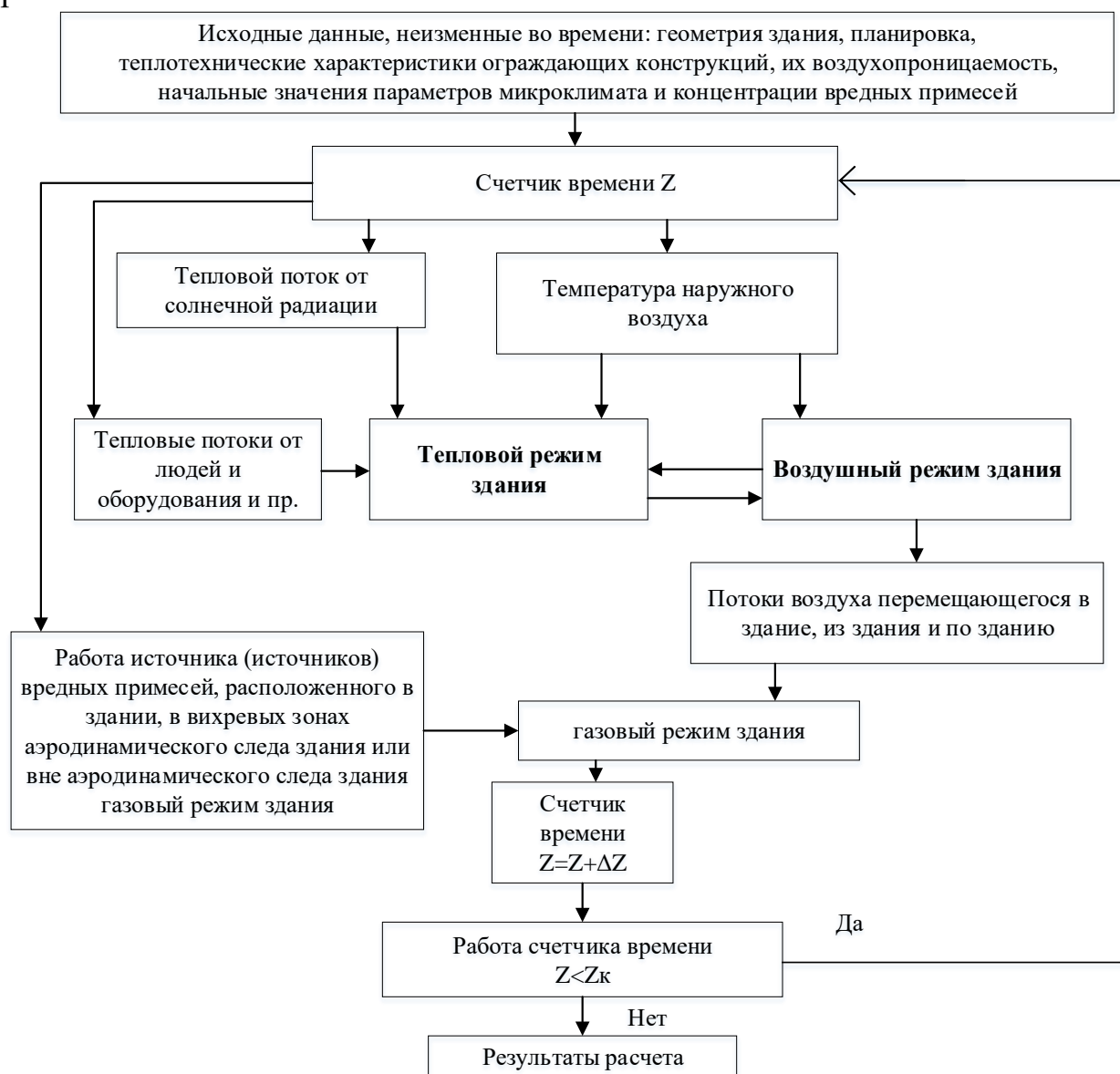


Рисунок 2 Алгоритм физико-математического моделирования газового, воздушного и теплового режимов здания, где  $Z_k$  – время окончания расчета

Для формирования и управления микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных

систем здания предлагается проводить анализ проектных решений на основе прогнозирования постоянно изменяющихся ВРЗ, ТРЗ и ГРЗ (газовый режим здания) при совместной и комплексной работе инженерных систем. И на основе результатов прогнозирования и его анализа формировать проектные решения создающие нормативные значения параметров микроклимата и состава воздушной среды. Алгоритм физико-математического моделирования газового, воздушного и теплового режимов здания показана на рисунке 2.

Важный аспект прогнозирования – это встраивание всех рассматриваемых процессов в единый интервал времени, при котором процессы в здании и вокруг него происходят одновременно. От климата биосферы к климату приземного слоя атмосферы и воздуху на конкретной территории к микроклимату и качеству воздушной среды в помещениях происходит формирование основы для расчетов по прогнозированию параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем. Каждый рассматриваемый период времени характеризуется конкретными либо расчетными, либо фактическими значениями параметров рассматриваемых режимов здания и у каждого процесса внутри рассматриваемых теплообменных и газового режимов есть свое время действия параллельно и одновременно или со смещением во времени.

Тепловой и воздушный режимы здания условно разделены на 3 части: внутреннюю, краевую и внешнюю. Все рассматриваемые три части воздушного и теплового режимов здания взаимосвязаны при физико-математическом моделировании. Базы данных для рассмотрения внешней, краевой и внутренней частей воздушного и теплового режимов здания необходимы для реализации физико-математических моделей.

Теория формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем зданий на основе прогнозирования параметров рассматриваемых режимов здания основана на комплексном физико-математическом моделировании параметров микроклимата и качества воздушной среды здания на основе расчета взаимосвязанных и взаимозависимых воздушного, теплового и газового режимов здания при совместной и комплексной работе инженерных систем. Физико-математические модели теплового и воздушного режимов здания позволяют проводить анализ проектных решений. Физико-математическая модель газового режима здания сформирована с учетом зависимости от функционирования воздушного и теплового режимов, и дает возможность анализировать проектные решения при формировании количественного состава вредных примесей в воздушной среде помещений.

**В третьей главе** представлено физико-математическое моделирование и анализ динамики теплообменных режимов и

качества воздушной среды здания с учетом возмущающих воздействий при совместной и комплексной работе инженерных систем.

Метод физико-математического моделирования и анализа динамики тепломассообменных режимов здания с учетом возмущающих воздействий основан на решении систем балансовых уравнений, описывающих перемещение воздуха, теплоты, вредных примесей с учетом режимов работы источников, формирующих возмущающие воздействия. Параметры микроклимата, расходы воздуха и теплоносителя взаимосвязывают составленные системы уравнений между собой, что формирует комплексность метода физико-математического моделирования. В уравнениях, входящих в системы уравнений, описывающих тепломассообменные режимы здания, присутствуют величины, отвечающие за интенсивность во времени работы источников теплоты, холода, примесей, водяного пара, а также параметры наружного климата и концентрации примесей в наружном воздухе.

Физико-математическое моделирование теплового режима помещений основано на решении систем балансовых уравнений для расчета динамики тепловых потоков в ограждающих конструкциях и воздухе с учетом динамики поступления теплоты от внешних и внутренних источников. Тепловой режим каждого помещения здания — это сумма тепловых поступлений и тепловых потерь. Работа источников тепловых поступлений является переменной во времени в течение суток, сезона, года. Результаты расчетов тепловых режимов помещений в здании участвуют как исходные данные в расчетах воздушных режимов помещений.

Балансовые уравнения тепловых потоков по каждому помещению:

$$\begin{cases} \frac{dt_i}{d\tau} = \frac{\sum Q_{\text{пост.}} - \sum Q_{\text{пот.}}}{V_i \cdot c_i \cdot \rho_i}, \\ \dots \end{cases} \quad (1)$$

Где  $V_i$  — объем,  $\text{м}^3$ ,  $c_i$  — теплоемкость,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ ,  $\rho_i$  — плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Тепловой режим здания формируется как совокупность тепловых режимов каждого помещения. Изменение температуры воздуха в помещениях здания носит индивидуальный характер, так как имеют место в каждом помещении переменные во времени источники теплоты, работа которых отличаются динамикой и интенсивностью. Наружный воздух характеризуется переменным во времени температурным режимом, влияние которого на тепловой режим помещений здания и на работу инженерных систем, формирующих тепловой режим в помещениях, является определяющим, а периоды резких похолоданий или потеплений вызывают напряженность в работе систем отопления и теплоснабжения зданий. Анализ работы систем отопления и теплоснабжения зданий позволит на стадии проектирования задать повышенную надежность работы данных инженерных систем.

В отапливаемых помещениях здания с применением системы отопления с теплоносителем водой присутствуют следующие элементы: отопительный прибор (отопительные приборы), вертикальные и горизонтальные

теплопроводы в виде стояков или ветвей, подводы к отопительным приборам, от которых теплота поступает в помещение при лучистом и конвективном теплообмене. Тепловые потоки носят переменный во времени характер,

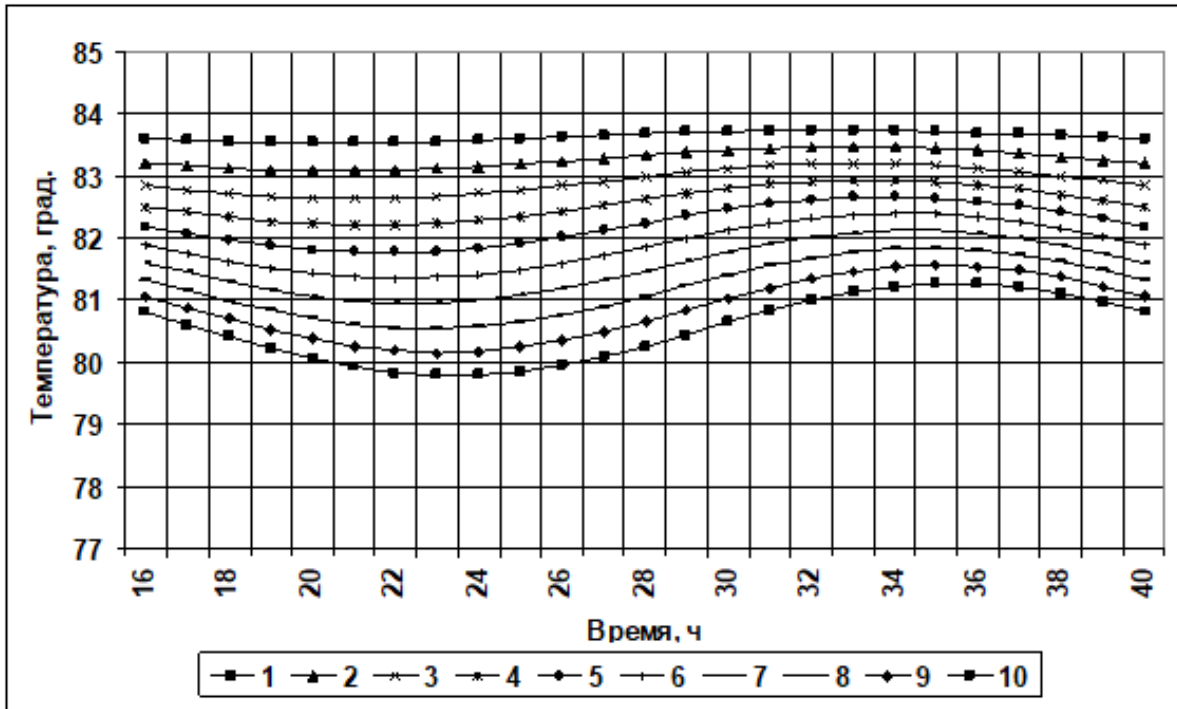


Рисунок 3 Динамика температуры воды в трубе системы отопления, где 1-10 участки, на которые условно разбита труба  
что необходимо выявить при реализации физико-математической математической модели теплового режима помещений здания.

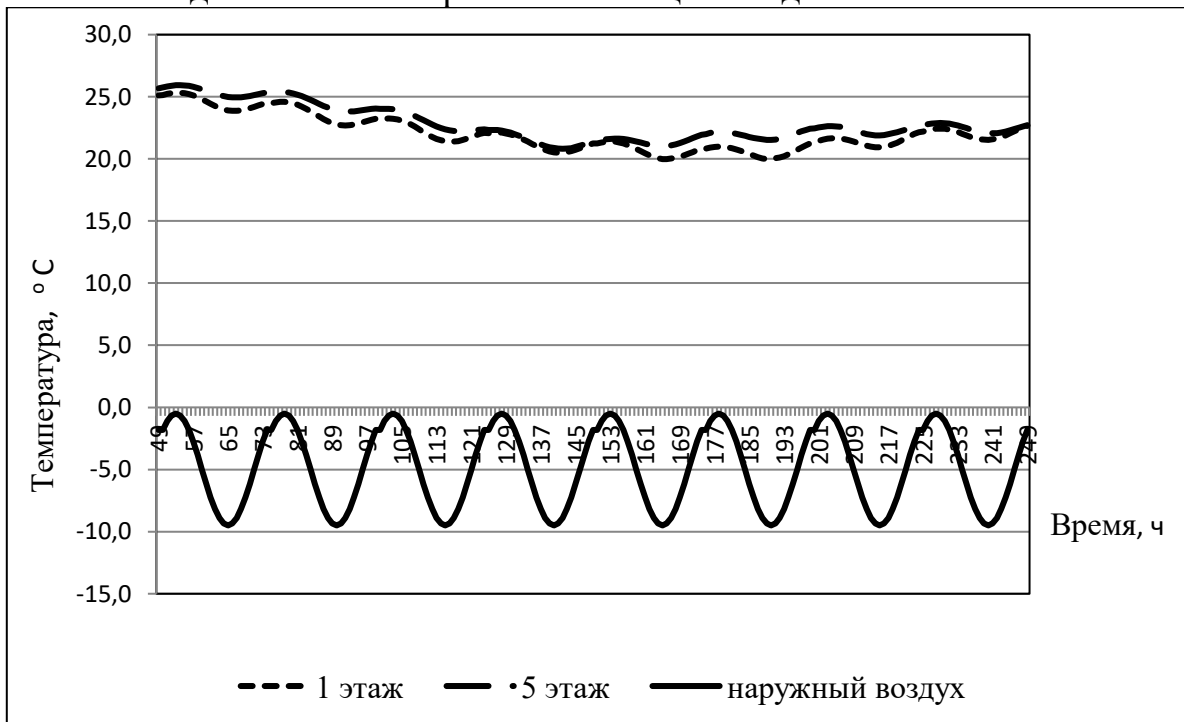


Рисунок 4 Динамика температуры внутреннего воздуха в помещениях 1 и 5 этажей наветренной зоны и температуры наружного воздуха в суточном режиме в холодный период года

На рисунке 3 показана динамика температуры воды в трубе системы отопления на участках длиной 1 м. Постепенно изменения температуры нарастают от 1 к 10 участку. На рисунке 4 представлена динамика температуры внутреннего воздуха в помещениях 1 и 5 этажей наветренной зоны и температуры наружного воздуха в суточном режиме в холодный период года, полученное на основе моделирования теплового режима пятиэтажного жилого здания.

Метод физико-математического моделирования и анализа динамики тепломассообменных режимов здания с учетом возмущающих воздействий и баз данных позволяет реализовывать разработанные физико-математические модели. Последовательность физико-математического моделирования теплового режима помещения с учетом баз данных, формирующих тепловой режим здания, дает возможность рассчитать тепловой режим помещений при учете изменения температуры в наружном воздухе, с учетом расчета нестационарной теплопередачи элементов системы отопления.

**Четвертая глава** посвящена вариативному и комплексному физико-математическому моделированию микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания.

Вариативная комплексная физико-математическая модель микроклимата здания основана на одновременных взаимозависимых расчетах теплового, воздушного и газового режимов помещения всех вместе, или каждого в отдельности или в любом сочетании, а также элементов рассматриваемых режимов. На рисунке 5 показана вариативность при физико-математическом моделировании микроклимата и качества воздушной среды здания (а), помещения (б) и группы помещений (в).

Вариативное и комплексное физико-математическое моделирование микроклимата и качества воздушной среды здания основано на анализе прогноза развития воздушного, теплового и газового режимов здания с учётом возможности рассмотрения одного режима или в любом сочетании двух и более динамических тепломассообменных и газового режимов здания для формирования проектных решений инженерных систем, формирующих заданные параметры микроклимата и концентрации примесей в воздухе помещений здания. Микроклимат и качество воздушной среды здания рассматриваются как совокупность микроклиматов и качественного состава воздушной среды помещений, которые могут отличаться в зависимости от назначения помещений. Учет работы всех источников теплоты и полнота описания процессов теплопередачи в помещении позволяет получить более точное прогнозирование температурного режима. Воздушный режим здания необходим для прогнозирования величины потоков воздуха, перемещающихся по помещениям, поступающих, уходящих и перетекающих в помещения здания, перенося теплоту и вредные примеси. При расчете ВРЗ давление воздуха в каждом помещении определяем с учетом совместного влия-



яния гравитационного и ветрового давлений при известных значениях сопротивления воздухопроницанию элементов ограждающих конструкций здания, их площади, расходов воздуха от системы вентиляции.

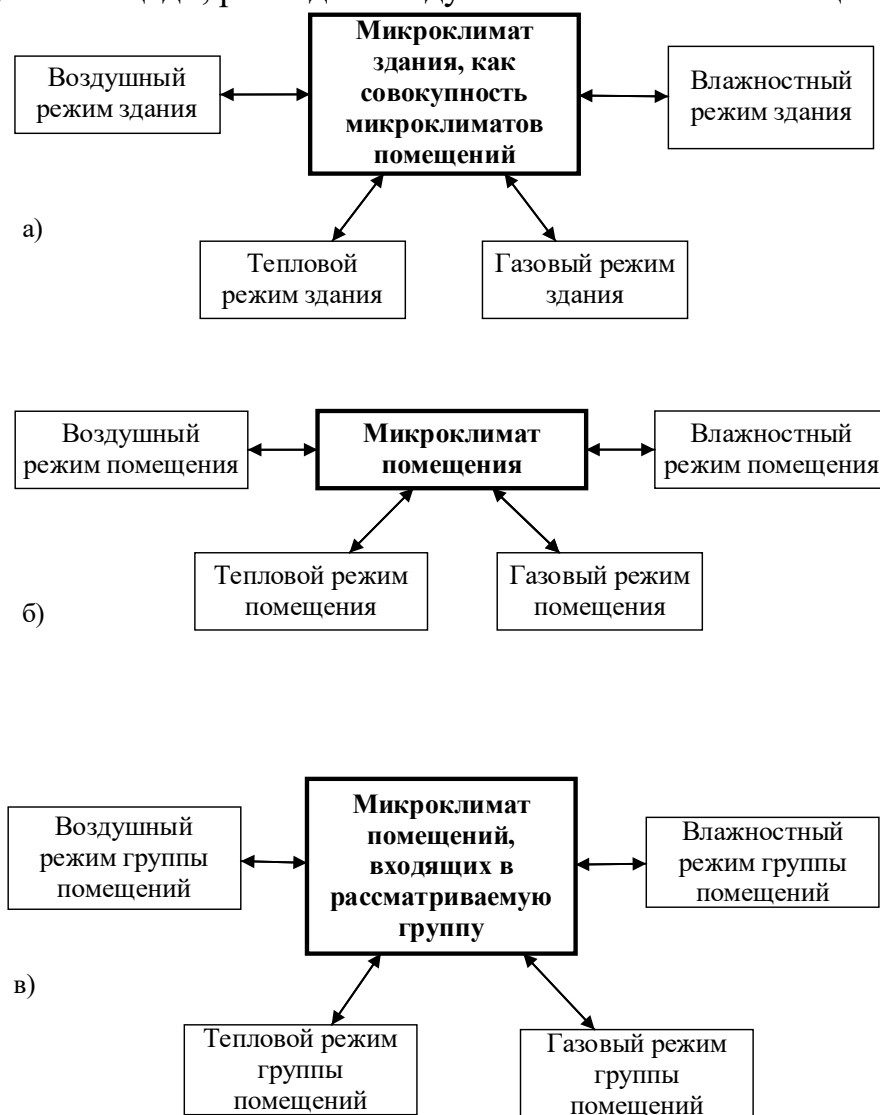


Рисунок 5 Вариативность физико-математических моделей динамических теплообменных и газового режимов для здания (а), для помещения (б), для группы помещений (в)

Физико-математическое моделирование газового режима здания производится при расчетах перемещения вредных примесей с воздухом. Внутренняя часть газового режима здания — это процессы распространения вредных примесей в помещениях здания с учетом расположения источника или источников вредных примесей. Вредные примеси в воздухе движутся в объеме помещения под действием ВРЗ и струйных течений, диффузии и гравитационных сил. Предложенные физико-математические модели газового режима помещения позволяют провести расчет распределения концентрации примеси в воздухе помещения с источником и без источника вредных примесей, при этом во втором случае вредная примесь поступает с перетекающим и (или) эксфильтрующимся и (или) инфильтрующимся воздухом

от источника (источников), которые размещены в других помещениях здания.

Уравнения для определения концентрации примеси в  $i$  помещении:

$$\begin{cases} \frac{dc_i}{d\tau} = \frac{M_i + \sum L_{п} \cdot c_{п} - \sum L_{у} \cdot c_{у}}{V_i}, \\ \dots \end{cases} \quad (2)$$

где  $V_i$  – объем,  $m^3$ ,  $L$  – объемный расход воздуха,  $m^3/c$ ,  $п, у$  – приточный, удаляемый.

Комбинирование комплексными физико-математическими моделями воздушного, теплового и газового режимов здания, которыми дает возможность получать прогноз параметров микроклимата и качества воздушной среды каждого помещения, с учетом взаимного влияния, связи между помещениями. Физико-математическая модель газового режима здания с учетом влияния воздушного режима здания позволяет анализировать проектные решения, формирующие газовый состав воздушной среды в каждом помещении.

**Пятая глава** посвящена формированию и анализу проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания.

Метод формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий создан на основе прогнозирования изменений параметров микроклимата и качества воздушной среды при расчетах на основе физико-математических моделей с базами данных по расчету тепломассообменных и газового режимов здания.

Предложенный метод объединяет расчетные технологии инженерных систем, формирующих микроклимат и качество воздушной среды с учетом исходных баз данных и динамики действия тепломассообменных и газового режимов. На основе метода формируются проектные решения по тепловой защите здания, по системам отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха для формирования заданных параметров микроклимата и концентрации примеси в воздухе каждого помещения здания на период всего жизненного цикла здания. Важным аспектом метода является необходимость сравнения переменных во времени значений параметров микроклимата и качества воздушной среды со значениями, приведенными в нормах с учетом прогнозирования изменений теплового, воздушного и газового режимов здания.

Технология вариативного комплексного моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий основывается на комплексной модели параметров микроклимата и качества воздушной среды при изменении ВРЗ, ТРЗ и ГРЗ в любых периодах времени, методе моделирования и анализа динамики тепломассообменных режимов здания

и ГРЗ с учетом возмущающих воздействий и вариативной комплексной модели микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем здания. Укрупненный алгоритм анализа проектного решения показан на рисунке 6.

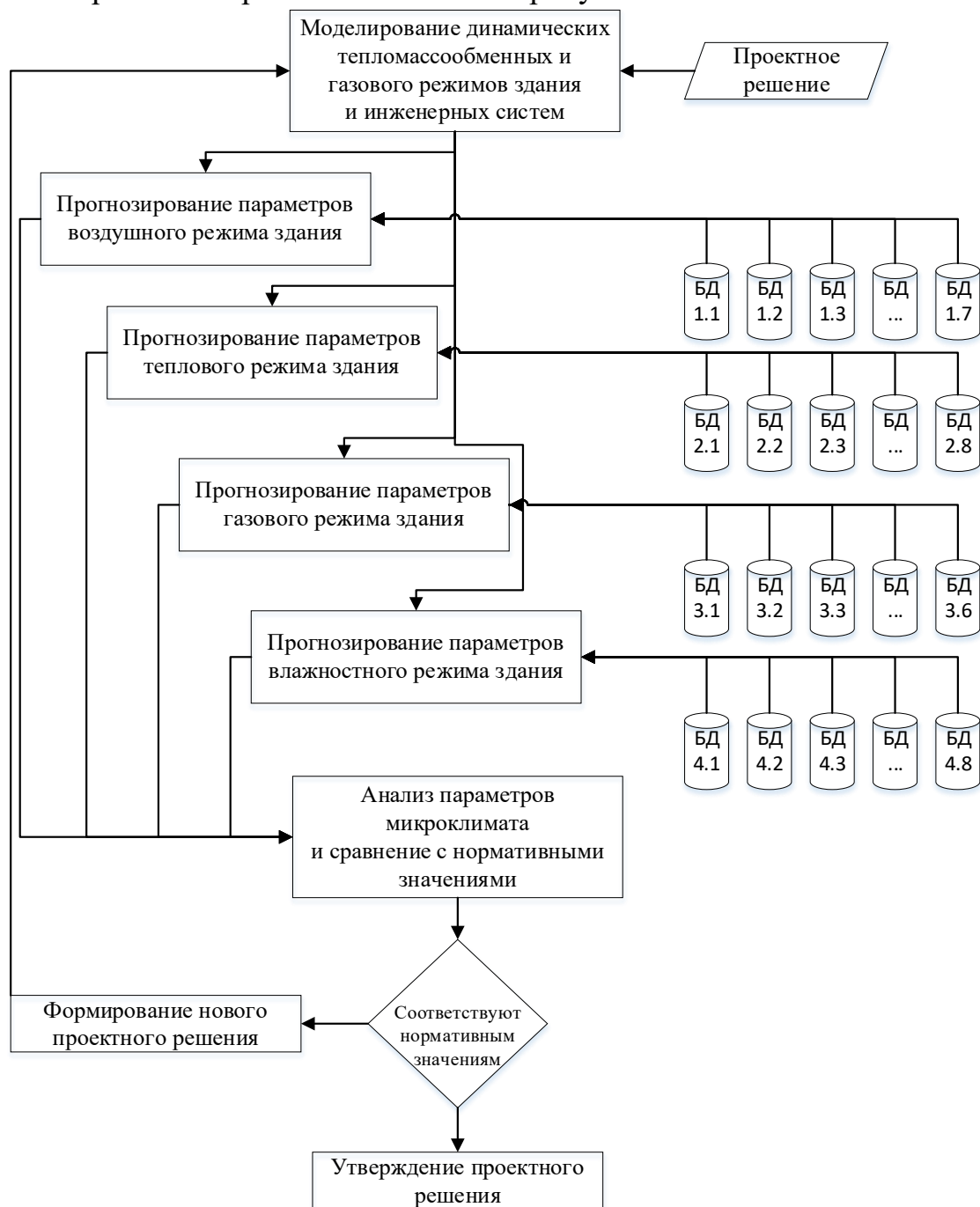


Рисунок 6 Укрупненный алгоритм анализа проектного решения, где БД – базы данных. Блоки моделирования подразделены на две группы. К первой группе относится блок вариативного физико-математического моделирования. Данный блок получает данные в виде условий вариативного физико-математического моделирования и формирует набор рассматриваемых в процессе физико-математического моделирования вариантов, согласно вари-

тивной комплексной физико-математической модели микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем здания (микроклимат здания как совокупность микроклиматов помещений, микроклимат помещения, микроклимат помещений, входящих в рассматриваемую группу, качество воздушной среды здания как совокупность качественного состава воздушной среды помещений, качество воздушной среды помещений, входящих в рассматриваемую группу).

Ко второй группе блоков физико-математического моделирования относятся: - блок физико-математического моделирования воздушного режима; - блок физико-математического моделирования теплового режима; - блок физико-математического моделирования газового режима; - блок физико-математического моделирования совместного и комплексного действия инженерных систем.

Метод формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий на основе физико-математических моделей и баз данных создан для проведения необходимых расчетов для анализа состояния параметров микроклимата качества воздушной среды в помещениях. Технология вариативного комплексного моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий позволяет реализовывать формирование проектных решений.

**В шестой главе** изложены практика и перспективы формирования и анализа проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания.

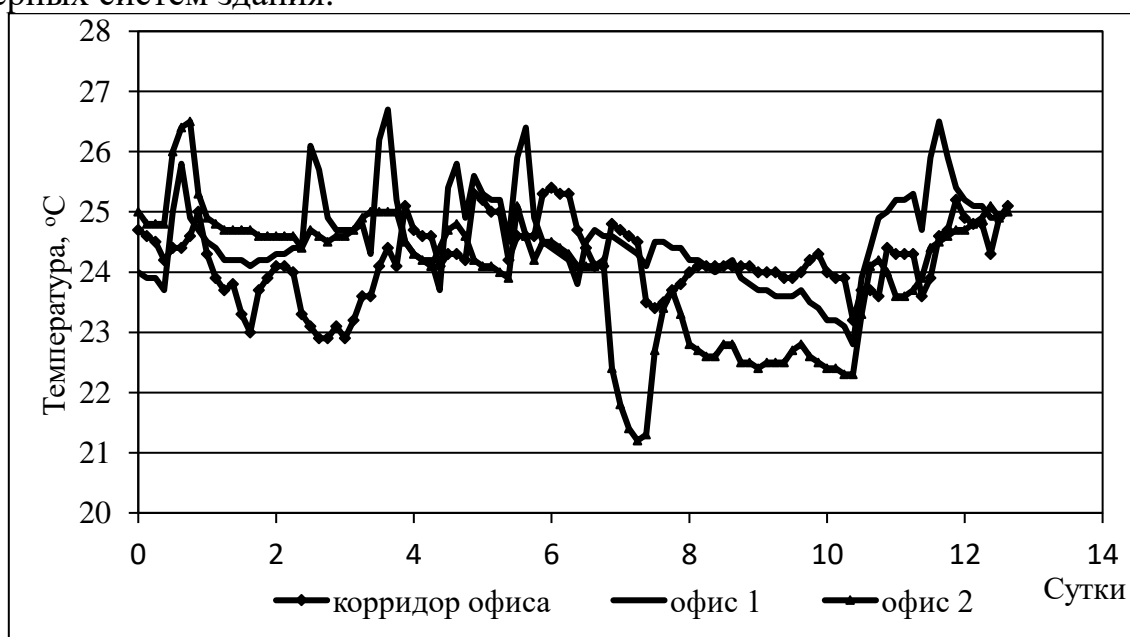


Рисунок 7 Динамика температуры внутреннего воздуха в офисных помещениях

При интеграции технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата

и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий проведена серия расчетов теплового, воздушного и газового режимов конкретных зданий при формировании проектных решений, формирующих микроклимат и качество воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем в здании.

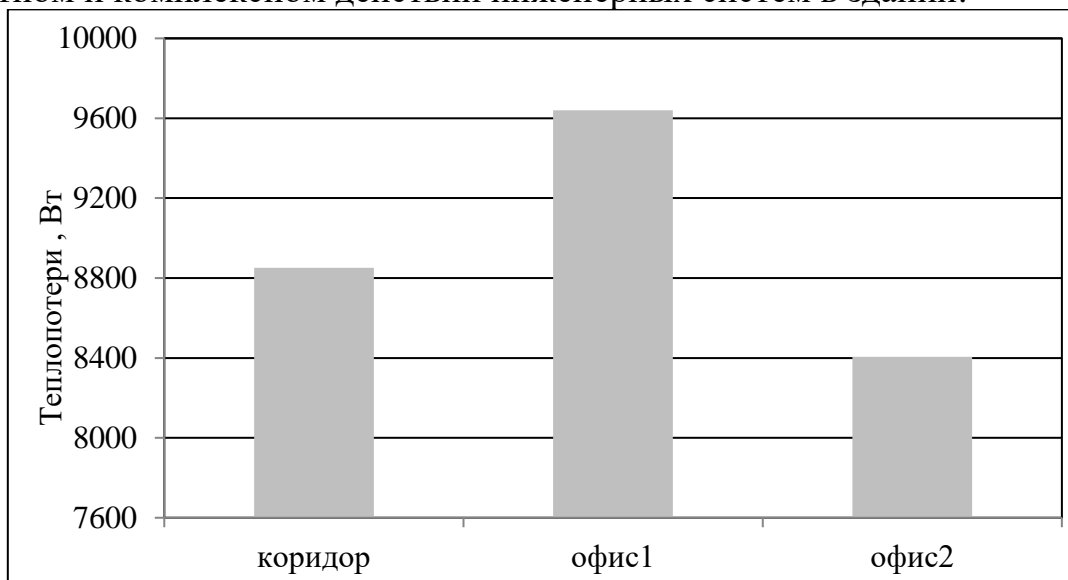


Рисунок 8 Суммарный рост потерь теплоты через наружные ограждения в помещениях офисов

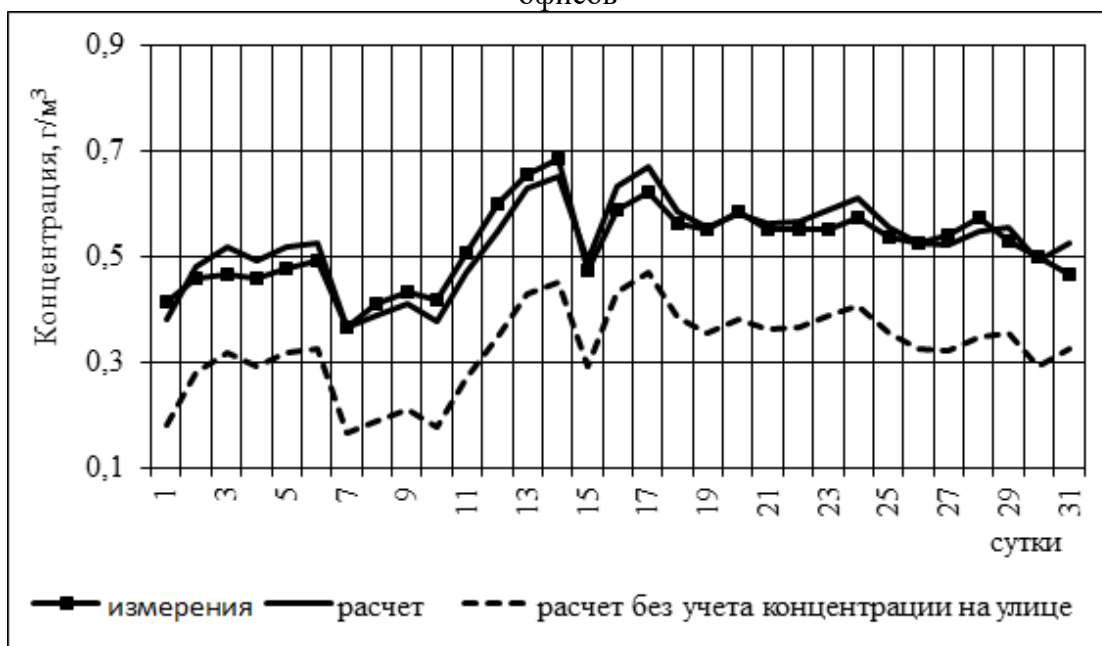


Рисунок 9 Динамика концентрации диоксида углерода в помещении бассейна

Проводился мониторинг параметров микроклимата и концентрации диоксида углерода в воздухе как однофакторный пассивный эксперимент. В зданиях бассейна, жилом здании, офисных помещениях административного здания проводились исследования. На рисунке 7 приведены результаты и анализ динамики температуры внутреннего воздуха в помещениях административного здания в г. Москве, на рисунке 8 показан перерасход тепловой энергии.

Измерения были связаны с изучением колебания температуры воздуха и концентрации примеси в воздухе во времени при совместном и комплексном действии инженерных систем. При анализе данных измерений выявлено, что величина среднего отклонения измеряемых величин от расчетных значений, на основе предложенных в настоящей работе математических моделей не превышает 2,5%. Ряд значений отличаются от средней величины на 0,3 – 18 %, что связано с особенностями эксплуатации здания (случайные факторы).

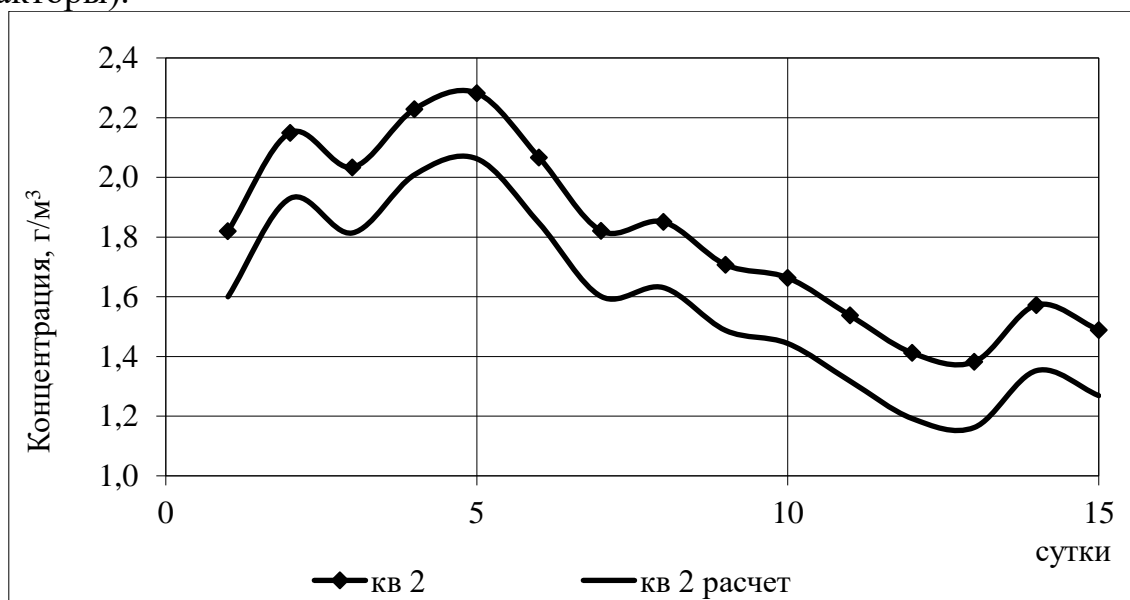


Рисунок 10 Динамика концентрации диоксида углерода в комнате квартиры

Для помещения бассейна данные по измерениям концентрации и данные по расчетам приведены на рисунке 9 (экспериментальные данные, расчетные данные при фоновой концентрации в наружном воздухе, равной 0.2 г/м<sup>3</sup>, расчетные данные при фоновой концентрации в наружном воздухе, равной 0.0 г/м<sup>3</sup>).

Результаты измерений и расчетов динамики углекислого газа в квартире жилого здания представлены на рисунке 10. Концентрация диоксида углерода в наружном воздухе имеет переменное значение, что влияет на результаты расчетов. Хорошая сходимость предложенной модели происходит из-за соответствия физическим процессам происходящим в здании при формировании в помещениях параметров микроклимата и концентрации углекислого газа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная научная концепция формирования микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем позволила создать методологию, методы и алгоритмы решения важной народно-хозяйственной проблемы по созданию устойчивых санитарно-гигиенических условий в помещениях здания в части, касающейся параметров микроклимата и качества воздуха, для безопасности человека с учетом энергосбережения.

Выполненные в диссертации разработки посвящены совместному и комплексному рассмотрению воздушного, теплового и газового режимов здания и работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха для прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды в помещениях здания в суточном, сезонном, годовом и других временных периодах. В связи с ростом объемов высотного и подземного строительства, разнообразием архитектурно-планировочных решений, ужесточением санитарно-гигиенических требований к параметрам микроклимата и качеству воздушной среды в помещениях здания при проектировании зданий всё сложнее решать задачу обеспечения требуемых эксплуатационных параметров микроклимата и качества воздуха. Прогнозирование качества работы систем обеспечения микроклимата и качества воздушной среды позволяет учитывать взаимосвязи параметров воздушного, теплового и газового режимов здания при совместной и комплексной работе инженерных систем и на стадии проектирования здания решить проблему обеспечения требуемых эксплуатационных параметров микроклимата и качества воздуха.

#### **Основные результаты исследований**

1. На основе анализа теории и практики физико-математического моделирования параметров микроклимата и качества воздушной среды зданий и при анализе работ отечественных и зарубежных авторов установлено, что на сегодняшний день отсутствует применение комплексного физико-математического моделирования динамических режимов здания по формированию параметров микроклимата и концентрации примеси в воздухе помещений при совместной и комплексной работе инженерных систем.
2. При анализе проектных решений формирования и управления микроклиматом зданий выявлено, что в настоящее время отсутствует технология комплексного определения правильности принятых проектных решений для создания необходимого микроклимата и концентраций примесей в воздухе при совместной и комплексной работе инженерных систем на протяжении всего жизненного цикла здания.

Однако проектировщикам удобно иметь дело с однотипными программами, подходящими для всех участников проектирования здания, так как часто требуется обмен информацией, что затруднительно при использовании разных программных продуктов, которые не всегда совместимы, и на которых надо иметь особые навыки и умения работать.

Других активно используемых программ для прогнозирования и анализа параметров микроклимата и концентрации примесей в помещениях здания при совместной и комплексной работе инженерных систем при комплексном и вариативном физико-математическом моделировании не имеется.

3. Созданы научные основы формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем зданий на основе комплексного физико-математического моделирования динамических режимов здания.

Теория формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем зданий - это создание проектного решения и последующий его анализ на основе физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем и при не соответствии параметров микроклимата и качества воздушной среды требуемым значениям проводится формирование нового проектного решения с последующим анализом параметров микроклимата и качества воздушной среды, и далее процесс формирования и анализа проектных решений продолжается до получения необходимого проектного решения.

Для формирования и управления микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем предлагается проводить анализ проектных решений на основе прогнозирования переменных во времени воздушного, теплового и газового режимов здания при совместной и комплексной работе систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха и на основе результатов прогнозирования и его анализа формировать проектные решения способные создать требуемые параметры микроклимата и концентрации примесей в воздушной среде в помещениях здания.

4. Сформировано комплексное физико-математическое моделирование параметров микроклимата и качества воздушной среды при изменении воздушного, теплового и газового режимов здания в суточном, сезонном и годовом перспективном периоде.

Важным аспектом прогнозирования является встраивание всех рассматриваемых процессов в единый интервал времени, при котором процессы в здании и вокруг него происходят параллельно. От климата биосферы к климату приземного слоя атмосферы и к микроклимату и качеству воздушной среды в помещениях происходит формирование основы для расчетов по прогнозированию параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем. Рассматриваемый период времени характеризуется конкретными значениями либо расчетными, либо фактическими и у каждого процесса внутри рассматриваемых тепломассообменных и газового режимов есть свое время действия параллельно и одновременно или со смещением во времени. Единство времени по расчету выдерживается для всех указанных режимов.



5. Разработаны методы физико-математического моделирования и анализа динамики тепломассообменных и газового режимов здания при совместной и комплексной работе инженерных систем с учетом возмущающих воздействий.

Воздушный, тепловой и газовый режимы здания рассматриваются как состоящие из трех частей – внутренней, краевой и внешней, что позволяет разделить расчетные технологии при физико-математическом моделировании данных динамических режимов здания. Разнообразие решаемых задач при анализе проектных решений требует выделения расчетных технологий в отдельные блоки при рассмотрении развития воздушного, теплового и газового режимов здания внутри здания в помещениях, при взаимодействии здания с наружным воздухом и снаружи здания. Внутренняя, краевая и внешняя части воздушного, теплового и газового режимов здания взаимосвязаны при физико-математическом математическом моделировании.

Необходимые базы данных для создания физико-математических моделей воздушного, теплового и газового режимов здания формируются на основе существующих расчетных технологий и справочной информации на основе данных СП, ГОСТ, справочной и информационной литературы.

6. Предложено вариативное комплексное физико-математическое моделирование микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем здания, при котором рассматриваются во взаимодействии тепломассообменные режимы.

Вариативная комплексная физико-математическая модель микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем здания основана на одновременных взаимозависимых расчетах воздушного, теплового и газового режимов помещения всех вместе, или каждого в отдельности или в любом сочетании, а также элементов рассматриваемых режимов.

Вариативное и комплексное физико-математическое моделирование микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем здания основано на анализе прогноза развития воздушного, теплового и газового режимов здания с учётом возможности рассмотрения одного режима или в любом сочетании двух и более динамических тепломассообменных и газового режимов здания для формирования проектных решений инженерных систем формирующих заданные параметры микроклимата и концентрации примесей в воздухе помещений при совместном и комплексном действии инженерных систем здания. Микроклимат и качество воздушной среды здания рассматривается как совокупность микроклиматов и качественного состава воздушной среды помещений, которые могут отличаться в зависимости от назначения и режима эксплуатации помещений.

7. Разработаны методы формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем в здании.

Метод формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий заключается в объединении расчетных технологий инженерных систем формирующих микроклимат и качество воздушной среды с учетом исходных баз данных и динамики действия тепломассообменных и газового режимов.

Метод формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий заключается в создании проектных решений по тепловой защите здания, по системам отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха для формирования заданных параметров микроклимата и концентрации примеси в воздухе каждого помещения здания на период всего жизненного цикла здания.

Метод анализа проектных решений формирования и управления микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий основан на прогнозировании динамики микроклимата и качественного состава воздушной среды в помещениях с учетом, изменяющихся во времени тепломассообменных и газового режимов.

Метод анализа проектных решений формирования и управления микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий содержит изучение переменных во времени значений параметров микроклимата и концентраций примесей в воздухе и их сравнение со значениями, приведенными в нормах при прогнозировании изменений теплового, воздушного и газового режимов здания.

8. Проведено построение технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем в здании.

Технология вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий основывается на комплексной физико-математической модели параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий при изменении воздушного, теплового и газового режимов здания в суточном, сезонном и годовом перспективном периоде, методе физико-математического моделирования и анализа динамики тепломассообменных и газового режимов здания с учетом возмущающих воздействий и

вариативной комплексной физико-математической модели микроклимата и качества воздушной среды здания.

Блоки физико-математического моделирования подразделены на две группы. К первой группе относится блок вариативного физико-математического моделирования. Данный блок получает данные в виде условий вариативного физико-математического моделирования и формирует набор рассматриваемых в процессе моделирования комбинаций, согласно вариативной комплексной модели микроклимата здания (микроклимат здания как совокупность микроклиматов помещений; микроклимат помещения, микроклимат помещений входящих в рассматриваемую группу). Ко второй группе блоков физико-математического моделирования относятся: - блок физико-математического моделирования воздушного режима; - блок физико-математического моделирования теплового режима; - блок физико-математического моделирования газового режима. Информация, генерируемая на блоках физико-математического моделирования, передаётся на интерфейс вывода данных и представляет собой информацию обратной связи метода формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий.

9. Реализована интеграция технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий в работу инженерных систем здания.

При интеграции технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий в работу инженерных систем здания проведена серия расчетов теплового, воздушного и газового режимов конкретных зданий при формировании проектных решений по созданию параметров микроклимата и качества воздушной среды.

Проведено физико-математическое моделирование воздушного режима административного здания с учетом теплового режима в холодный период года. Рассмотрено изменение потоков инфильтрующегося воздуха в помещения.

10. Проведена практическая апробация технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий.

Однофакторные пассивные эксперименты проведены при мониторинге параметров микроклимата и концентрации примеси в воздухе.

Мониторингом микроклимата здания и концентрации примеси в воздухе можно определить процесс по систематическому или

непрерывному сбору информации для определения направления изменения параметров микроклимата и концентрации примеси в воздухе; в процессе мониторинга происходит систематический сбор и обработка информации о состоянии микроклимата и концентраций вредных примесей, для влияния на изменение работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха с учетом формирования потенциала энергосбережения в указанных системах.

Результаты работы диссертационной работы внедрены в практику для предпроектных работ, проектных решений и проведения энергоаудита зданий проектными фирмами г. Москвы (ООО «ПСО Инжиниринг» и ООО «ВеерВент»).

**Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.** Реализовано научное обоснование перспективных направлений дальнейших исследований в области управления микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий.

Оболочка здания и его инженерные системы имеют определенную инерционность, что вызывает необходимость приведения параметров микроклимата и качество воздушной среды к требуемому значению через регулирование (управление) работф инженерных систем в здании. Развитие технологии управления микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий позволяет осуществлять поддержку параметров микроклимата в существующих помещениях в заданном интервале. При таком подходе требуется проводить по всем зданиям города формирование базы данных параметров микроклимата и качества воздушной среды зданий с обработкой информации в едином центре, где при реализации физико-математических моделей зданий по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем будет формироваться импульс регулирующего воздействия на работу инженерных систем здания для корректировки параметров микроклимата и качества воздушной среды в помещениях.

Постоянно меняющиеся параметры климата местности у каждого здания фиксируется в Геоинформационной системе (ГИС), где собирается, хранится и анализируется климатическая информация для каждого здания города в режиме мониторинга, которая необходима для реализации управления микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий.

Предложены перспективные направления дальнейших исследований в области управления микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем при развитии мониторинга параметров микроклимата и качества воздушной среды существующих зданий и климата непосредственно контактирующего с наружной поверхностью здания для повышения точности прогнозирования

динамики тепломассообменных и газового режимов, при формировании энергопотребления и качества параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем на всем жизненном цикле здания.

**Основное содержание диссертации опубликовано** в следующих печатных работах автора:

*работы в изданиях, из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук*

1. Рымаров А.Г., Хаванов П.А., Титков Д.Г. Основы формирования локальных температурных зон в помещении / А.Г. Рымаров, П.А. Хаванов, Д.Г. Титков // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2021. – № 1. – С. 54-63.
2. Рымаров А.Г., Титков Д.Г. Энергосбережение в жилых зданиях при индивидуализации микроклимата / А.Г. Рымаров, Д.Г. Титков // Приволжский научный журнал. – 2021. – № 1 (57). – С. 64-71.
3. Рымаров А.Г., Титков Д.Г. Индивидуализация работы системы отопления в жилых зданиях / А.Г. Рымаров, Д.Г. Титков Приволжский научный журнал. – 2021. – № 2 (58). – С. 92-97.
4. Рымаров А.Г., Агафонова В.В. Персонализированная приточная система вентиляции в помещении офисного здания / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 11. – С. 60-64.
5. Рымаров А.Г. Синтез и анализ проектных решений формирования и управления микроклиматом в системах информационного моделирования зданий / А.Г. Рымаров // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – №9. – С. 21-27.
6. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В. Персонализированное воздухораспределительное устройство / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 3. – С. 60-63.
7. Брюханов, О.Н., Рымаров, А.Г., Титков, Д.Г. Анализ методик расчета теплопотерь подземным коммуникационным коллектором/ О.Н. Брюханов, А. Г. Рымаров, Д. Г. Титков // Естественные и технические науки. – 2015. – №8. – С. 89-91.
8. Брюханов, О.Н., Рымаров, А.Г., Титков, Д.Г. Исследование расчета потерь теплоты в грунт подземным коммуникационным коллектором по методике Ю. И. Кулжинского / О.Н. Брюханов, А. Г. Рымаров, Д. Г. Титков // Естественные и технические науки. – 2015. – №8. – С. 92-94.
9. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В. Исследование возможности применения текстильных воздуховодов в системах вентиляции / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова // Естественные и технические науки. – 2015. - №2. – С. 141-143.

10. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В. Оптическая микроскопия формы микроотверстий в текстильном воздуховоде / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова // *Естественные и технические науки*. – 2015. – №5. – С. 196-199.
11. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В. Особенности геометрических характеристик микроотверстий в текстильном воздуховоде / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова // *Экология промышленного производства*. – 2015. – № 2 (90). – С. 24-26.
12. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В. Особенности истечения воздуха микроструями / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова // *Приволжский научный журнал*. – 2015. – №1. – С. 60-64.
13. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В., Смирнов, В.В. Исследование сопротивления перфорированного текстильного воздуховода / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова, В.В. Смирнов // *Естественные и технические науки*. – 2015. – №6. – С. 556-557.
14. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В., Смирнов, В.В. Исследование сопротивления микроперфорированного текстильного воздуховода / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова, В.В. Смирнов // *Естественные и технические науки*. – 2015. – №6. – С. 553-555.
15. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В., Смирнов, В.В. Сравнение сопротивления текстильных воздухопроводов с разной воздухопроницаемостью / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова, В.В. Смирнов // *Естественные и технические науки*. – 2015. – №6. – С. 561-562.
16. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В., Смирнов, В.В. Исследование сопротивления проницаемого текстильного воздуховода / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова, В.В. Смирнов // *Естественные и технические науки*. – 2015. – №6. – С. 558-560.
17. Рымаров, А.Г., Титков, Д.Г. Анализ теплотерь подземным коллектором по методике Б. А. Казанцева / А. Г. Рымаров, Д. Г. Титков // *Научное обозрение*. – 2015. – №10 - 2. – С. 44-47.
18. Рымаров, А.Г., Титков, Д.Г. Аэродинамика коллектора для подземных коммуникаций / А. Г. Рымаров, Д. Г. Титков // *Естественные и технические науки*. – 2015. – №2. – С. 144-147.
19. Рымаров, А.Г., Титков, Д.Г. Влияние массивности окружающего грунта на тепловой режим подземного коллектора для инженерных коммуникаций / А. Г. Рымаров, Д. Г. Титков // *Естественные и технические науки*. – 2015. – №6. – С. 563-564.
20. Рымаров, А.Г., Титков, Д.Г. Особенности расчета теплового режима подземного коммуникационного коллектора / А. Г. Рымаров, Д. Г. Титков // *Интернет-вестник ВолгГАСУ*. – 2015. – Вып. 4(40). – 6.
21. Рымаров А. Г., Савичев В.В. К определению требуемого воздухообмена в помещениях общественных зданий в зависимости от качества наружного воздуха / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // *Интернет вестник ВолгГАСУ*. – 2014. – Вып. 2 (33). – 18.

22. Рымаров А. Г., Савичев В.В. К расчету требуемого воздухообмена в помещениях общественных зданий в зависимости от количества человек / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 4. – С. 99-102.
23. Рымаров А. Г., Савичев В.В. Особенности определения требуемого воздухообмена в помещениях жилых зданий / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Жилищное строительство. – 2014. – № 12. – С. 23-25.
24. Рымаров А.Г., Агафонова В.В. Особенности взаимного влияния двух микроструй при истечении из микроотверстий / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова // Естественные и технические науки. – 2014. – №8. – С. 151-153.
25. Рымаров, А. Г. Мониторинг параметров микроклимата и концентраций вредных примесей в помещениях здания / А.Г. Рымаров // Приволжский научный журнал. – 2014. – №1. – С. 61-63.
26. Рымаров, А. Г., Савичев, В.В. Особенности расчета требуемого воздухообмена в помещениях общественных зданий исходя из нормы на одного человека / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Научное обозрение. – 2014. – №7. – С. 82-85.
27. Рымаров, А. Г., Смирнов, В.В., Савичев, В.В., Титков, Д.Г. Висячие сады Семирамиды – это древний кондиционер? / А. Г. Рымаров, В.В. Смирнов, В.В. Савичев, Д.Г. Титков // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 6. – С. 75-77.
28. Мелехин, А.А., Мелехин, А.Г., Рымаров, А.Г. Оптимизация параметров теплообменных аппаратов / А.А. Мелехин, А.Г. Мелехин, А.Г. Рымаров // Естественные и технические науки. – 2013. - №6. – С. 485-490.
29. Рымаров, А. Г. Characteristics of heat-mass exchange modes of mutual influence buildings / А.Г. Рымаров // Естественные и технические науки. – 2013. – № 1. – С. 380-382.
30. Рымаров, А. Г., Савичев, В.В. Воздушный режим регенеративной вентиляции в административном здании с зимним садом/ А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. - №3. – С. 258-260.
31. Рымаров, А. Г., Савичев, В.В. Особенности действия температурно-влажностного режима в системе вентиляции с регенерацией воздуха / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Научное обозрение. – 2013. – № 12. – С. 112-115.
32. Рымаров, А. Г., Савичев, В.В. Особенности работы регенеративной системы вентиляции административного здания с зимним садом / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Вестник МГСУ. – 2013. – № 3. – С. 174- 177.
33. Рымаров, А. Г., Савичев, В.В. Тепловой режим административного здания с «зимним садом» при работе регенеративной системы вентиляции / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Естественные и технические науки. – 2013. - № 1. – С. 383-385.

34. Рымаров, А. Г., Смирнов, В.В. Особенности влияния газового режима помещения бассейна на коррозию металлических элементов / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов // Вестник МГСУ. – 2013. – № 6. – С. 147-152.
35. Рымаров, А. Г. Газовый режим здания / А.Г. Рымаров // *Естественные и технические науки*. – 2012. – № 6. – С. 595-599.
36. Рымаров, А. Г., Савичев, В.В. Регенеративная система вентиляции административного здания с «зимним садом» / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // *Естественные и технические науки*. – 2012. – № 6. – С. 600-601.
37. Рымаров, А.Г. Прогнозирование параметров воздушного, теплового, газового и влажностного режимов помещений здания / А.Г. Рымаров // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2009. – №5. – С. 362-364.
38. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Изменение коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности ограждающих конструкций высотного здания в холодный период / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов // *Монтажные и специальные работы в строительстве*. – 2006. – №1. – С. 26-28.
39. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Прогнозирование долговечности несущих ограждающих конструкций помещения бассейна под влиянием тепло-влажностно-газового режима. / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2009. – №5. – С. 525-526.

*научные статьи А.Г. Рымарова, опубликованные в научных изданиях, индексируемых в международных реферативных базах Scopus и Web of Science*

40. Rymarov, A., Havanov, P., Titkov, D. Formation of local temperature regime in the room: Personal ventilation system / A. Rymarov, P. Havanov, D. Titkov // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – 263. – 04026. DOI: 10.1051/e3sconf/202126304026
41. Rymarov, A.G., Agafonova, V.V. The personalized supply ventilation system design in the office space / A.G. Rymarov, V.V. Agafonova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – 698 (5). – 055030. DOI: 10.1088/1757-899X/698/5/055030
42. Rymarov, A. Energy saving in the formation of covered courtyards / A. Rymarov // *E3S Web of Conferences*. – 2019. – 100. – 00072. DOI: 10.1051/e3sconf/201910000072
43. Rymarov, A., Parfenteva, N., Valančius, K., Paulauskaitė, S., Misevičiūtė, V. Gaseous and thermal analysis of winter garden used for air regeneration throughout office buildings / A. Rymarov, N. Parfenteva, K. Valančius, S. Paulauskaitė, V. Misevičiūtė, // *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. – 2018. – 26 (3). – pp. 195-201. DOI: 10.3846/jeelm.2018.5381
44. Kravchuk, V.Y., Rymarov, A.G. The reversible ventilation for administrative buildings / V.Y. Kravchuk, A.G. Rymarov // *IOP Conference*



Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – 177 (1). – 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/177/1/012030

45. Rymarov, A.G., Agafonova, V.V. Air supply device to the worker's breathing zone / A.G. Rymarov, V.V. Agafonova // Materials Science Forum 931 MSF. – 2018. – pp. 897-900. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.897

46. Rymarov, A., Davidsson, H. Analysis of heat losses in underground tunnels for preheating of ventilation air / A. Rymarov, H. Davidsson // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2017. – V.8. – I. 11. – p. 1172–1180.

47. Brukhanov, O., Rymarov, A., Malysheva, A., Titkov, D. Analysis of heat losses of underground tunnel for engineering utilities with available methods / O. Brukhanov, A. Rymarov, A. Malysheva, D. Titkov // MATEC Web of Conferences. – 2016. – 86. – 04028. DOI <https://doi.org/10.1051/matecconf/20168604028>

*печатные работы в других изданиях*

48. Агафонова, В.В., Рымаров, А.Г. Особенности потерь тепла по длине стальных и текстильных воздуховодов / В.В. Агафонова, А.Г. Рымаров. – Материалы Международной научной конференции «Интеграция, партнёрство и инновации в строительной науке и образовании». – М.: МГСУ, 2015. – С. 513-515.

49. Титков Д. Г., Рымаров А. Г. Особенности потерь теплоты в массив грунта подземного коммуникационного коллектора / Д. Г. Титков, А. Г. Рымаров // Строительство, наука образование. – 2014. – №4. – С. 2.

50. Титков, Д. Г., Рымаров, А. Г. Воздушный режим коллектора для подземных коммуникаций / Д. Г. Титков, А. Г. Рымаров. – Материалы Международной научной конференции «Интеграция, партнёрство и инновации в строительной науке и образовании». – М.: МГСУ, 2014. – С. 588-591.

51. Титков, Д. Г., Рымаров, А. Г. Тепловой баланс подземного коммуникационного коллектора, связанный с потерями теплоты в массив грунта / Д. Г. Титков, А. Г. Рымаров. – Международная научно-практическая конференция – академические чтения «Строительная физика. Системы обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях». – М.: МГСУ, 2014. – С. 264-266.

52. Рымаров, А. Г., Савичев, В.В. «Зимний сад» и регенеративная система вентиляции / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Сантехника, отопление, кондиционирование. С.О.К. – 2013. – №6. – с. 64-65.

53. Рымаров, А. Г., Савичев, В.В. Система вентиляции с регенерацией и рециркуляцией воздуха / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Сантехника, отопление, кондиционирование. С.О.К. – 2013. – №4. – С. 76-77.

54. Рымаров, А.Г. Газовый режим бассейна / А.Г. Рымаров // Сантехника, отопление, кондиционирование. С.О.К. – 2011. – №7. – С. 70-71.

55. Рымаров, А.Г. Исследование эффективности утеплителя при нестационарной теплопередаче / А.Г. Рымаров // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2001. – №6. – С. 14 - 15.
56. Рымаров, А.Г. Применение теории источников и стоков и комплексного потенциала течения в методе расчета поля скоростей воздуха в помещении / А.Г. Рымаров // Известия вузов. Строительство. – 2000. – № 11. – С. 66 - 69.
57. Титов, В.П., Рымаров, А.Г. Методы единой технологической системы для оптимизации энергопотребления и повышения экологической безопасности здания / В.П. Титов, А.Г. Рымаров // Известия вузов. Строительство. – 1997. – № 9. – С. 75 - 80.
58. Рымаров, А.Г. Влияние выбросов на изменение концентрации вредных примесей / А.Г. Рымаров // Водоснабжение и санитарная техника. – 1994. – № 3. – С. 20 - 21.
59. Титов, В.П., Рымаров, А.Г. Научно-методические основы защиты людей, находящихся в здании, при воздействии на них токсичных аварийных выбросов / В.П. Титов, А.Г. Рымаров // Известия вузов. Строительство. – 1994. – №12. – С. 104 - 107.

*регистрация программ для ЭВМ:*

60. Рымаров А.Г., Титков Д.Г. Расчет воздушно-теплого режима подземного коллектора для инженерных коммуникаций / Рымаров А.Г., Титков Д.Г. о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016614931, заявка №2016612398, зарегистрировано 12 мая 2016.
61. Рымаров А.Г. Расчет воздушно-теплого режима 17 этажного жилого здания / Рымаров А.Г. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016614749, заявка №2016612431, зарегистрировано 4 мая 2016.
62. Рымаров А.Г., Маркелов А.О. Расчет относительной влажности воздуха в помещении бассейна. / Рымаров А.Г., Маркелов А.О. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016616093, заявка №2016614227, зарегистрировано 6 июня 2016.

*Патенты на полезную модель*

63. Савичев В.В., Рымаров А.Г., Лушин К.И. Регенеративная система вентиляции в помещениях административного (общественного) здания совместного с "зимним садом" / В.В. Савичев, А.Г. Рымаров, К.И. Лушин Патент на полезную модель RU 123121 U1, 20.12.2012. Заявка № 2012130483/12 от 18.07.2012.
64. Рымаров А.Г., Смирнов В.В., Агафонова В.В. Персонализированное воздухораспределительное устройство / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов, В.В. Агафонова Патент на полезную модель RU 156974 U1, 20.11.2015. Заявка № 2015119343/12 от 22.05.2015.

Подписано в печать . Формат 60×90 1/16  
Бумага писчая. Объём 1,8 усл. печ. л. Тираж 120 экз.  
Заказ № \_\_\_\_\_