

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи



Рымаров Андрей Георгиевич

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

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени доктора технических наук

Москва – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	6
Глава 1 Анализ теории и практики управления микроклиматом и качеством воздушной среды здания.....	15
1.1 Физико-математическое моделирование микроклимата и качества воздушной среды здания.....	15
1.2 Анализ проектных решений по формированию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды здания.....	56
1.3 Анализ современного состояния и перспектив комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды здания	59
1.4 Выводы по главе 1.....	61
Глава 2 Научные основы формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания.....	63
2.1 Теория формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания	63
2.2 Комплексное физико-математическое моделирование параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания.....	65
2.3 Физико-математическое моделирование теплового и воздушного режимов здания при совместной и комплексной работе инженерных систем	83
2.4 Физико-математическое моделирование газового режима здания при совместной и комплексной работе инженерных систем.....	92
2.5 Выводы по главе 2	99
Глава 3 Физико-математическое моделирование и анализ динамики тепломассообменных режимов и качества воздушной среды здания с учетом	

возмущающих воздействий при совместной и комплексной работе инженерных систем	102
3.1 Метод физико-математического моделирования и анализа динамики тепломассообменных режимов и качества воздушной среды здания с учетом возмущающих воздействий при совместной и комплексной работе инженерных систем	102
3.2 Физико-математическое моделирование теплового режима помещений при совместной и комплексной работе инженерных систем	104
3.3 Результаты расчета теплового режима помещений здания при совместной и комплексной работе инженерных систем	105
3.4 Нестационарная теплопередача элементов системы отопления в помещении	110
3.5 Выводы по главе 3	121
Глава 4 Вариативное и комплексное физико-математическое моделирование микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания	124
4.1 Вариативная комплексная физико-математическая модель микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания	124
4.2 Физико-математическое моделирование теплового режима здания при совместной и комплексной работе инженерных систем.....	129
4.3 Физико-математическое моделирование воздушного режима здания при совместной и комплексной работе инженерных систем	131
4.4 Физико-математическое моделирование газового режима здания при совместной и комплексной работе инженерных систем	137
4.5 Выводы по главе 4	143
Глава 5 Формирование и анализ проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания.....	146

5.1	Метод формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания	146
5.2	Метод анализа проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания	149
5.3	Технология вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем здания	151
5.4	Выводы по главе 5	154
Глава 6	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.....	157
6.1	Интеграция технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды в работу инженерных систем здания	157
6.2	Апробация технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания	184
6.3	Перспективные направления исследований в области формирования и анализа проектных решений по управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания	193
6.4	Выводы по главе 6	198
	Заключение	200
	Список сокращений и условных обозначений.....	209

Список литературы.....	211
Приложение А. Результаты применения технологии вариативного комплексного моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды в здании.....	254
Приложение Б. Список опубликованных научных работ А.Г. Рымарова.....	292
Приложение В. Информация о государственной регистрации программ для ЭВМ, полученных А.Г. Рымаровым в ходе проведения исследований.....	301
Приложение Г. Информация о патентах на полезную модель, полученных А.Г. Рымаровым в ходе проведения исследований.....	304
Приложение Д. Акты о внедрении научных и практических результатов диссертации.....	306

Введение

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.

- б. 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.

Глава 1. Анализ теории и практики управления микроклиматом и качеством воздушной среды здания

1.1. Физико-математическое моделирование микроклимата и качества воздушной среды здания

Начало развития теории воздушного режима здания положили основоположники вентиляционной науки – Чаплин В.М., Аше Б.М., Батулин В.В., Каменев П.Н., Бутаков Е.В.

Нормативные документы для проектирования инженерных систем кондиционирования микроклимата требуется соблюдать, что связано «со сложностью и взаимозависимостью физических процессов, протекающих в здании и системах кондиционирования микроклимата помещений» [176]. Как в отдельности, так и в разном сочетании процессы движения воздуха под действием аэродинамики, диффузии и теплообмена зависят друг от друга и являются частями воздушного режима здания.

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 [150], в системе вентиляции и кондиционирования воздуха, вне здания. Условно ВРЗ разделен на три части: внутреннюю, краевую и внешнюю [299]. Схема анализа воздушного режима здания как объекта автоматизированного проектирования показана на рисунке 1.1.

Внутренняя часть ВРЗ – это 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. Распределение температуры воздуха в помещениях здания влияет на ВРЗ и одновременно является частью ТРЗ.

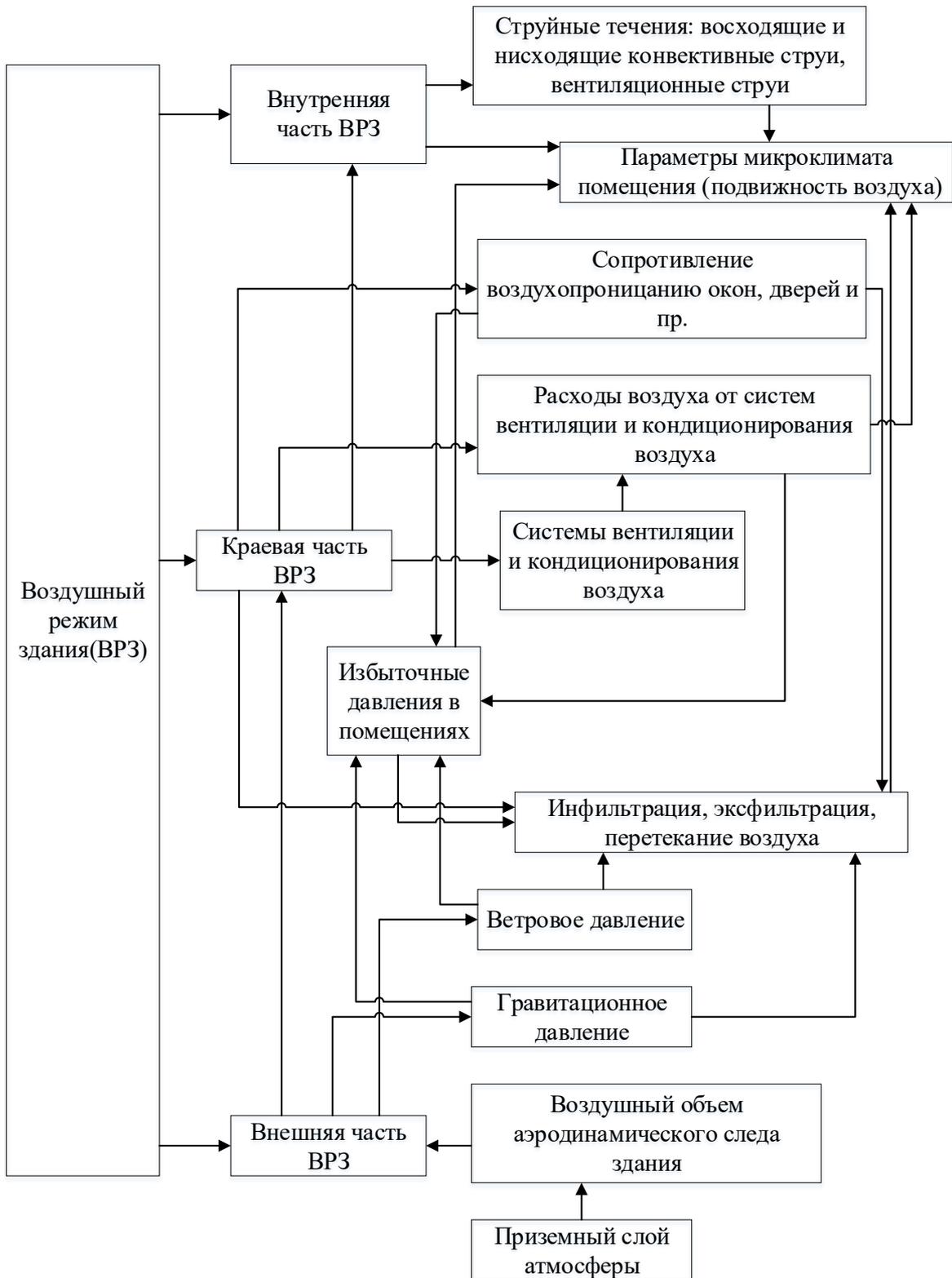


Рисунок 1.1 Схема анализа воздушного режима здания как объекта автоматизированного проектирования

Развитию теоретической базы для решения внутренней части ВРЗ посвящены работы следующих инженеров и ученых Абрамовича Г.Н.,

Талиева В.Н., Богословского В.Н., Бахарева В.А., Клячко Л.С., Шепелева И.А., Титова В.П., Гримитлина М.И., Посохина В.Н., Бодрова В.И., Успенской Л.Б., Гримитлина А.М., Хаванова П.А., Аверкина А.Г., Бодрова М.В. и многих других исследователей, в том числе зарубежных - Прандтля Л., Толлмина В., Тейлора Дж., Рейхардта Г., Шлихтинга Г. Исследованию микроструй посвящены работы [2-5, 181-190].

Краевая часть ВРЗ – это процессы организованного и неорганизованного движения воздуха в помещения и из помещений здания через щели и пр. проемы в ограждающих конструкциях, движение воздуха в каналах, воздуховодах, вентшахтах здания. Этими вопросами занимались следующие ученые: Фокин К.Ф., Ушков Ф.В., Батурин В.В., Каменев П.Н., Эльтерман В.М., Ливчак И.Ф., Константинова В.Е., Разумов Н.Н., Титов В.П. и др.

Внешняя часть ВРЗ связана с процессом обтекания здания набегающим потоком ветра, что определяет формирование давления ветра на поверхностях наветренного, заветренного и боковых фасадов здания. Эти вопросы успешно решали следующие отечественные инженеры и ученые Фрибе В.Х., Реттер Э.И., Серебровский Ф.А., Лайхман Д.Л., Берлянд М.Е, Эльтерман В.М., Титов В.П. и др. Из зарубежных авторов известны работы Тейлора Дж., Шмидта В., Сеттона О.

Важное значение для анализа работы систем кондиционирования микроклимата имеют работы по энергосбережению Богословского В.Н., Богуславского Л.Д., Карписа Е.Е., Табущикова Ю.А., Кувшинова Ю.Я.

Описание вентиляционного процесса в помещении с учетом внутренней, краевой и внешней частей ВРЗ возможно с помощью нелинейных дифференциальных уравнений (уравнение Фурье, Фурье-Киргофа, Навье-Стокса, уравнение неразрывности), при этом система уравнений очень велика, является незамкнутой, недоступна для использования инженерами, применяется в настоящее время редко.

В каждой части ВРЗ можно выделить группы вопросов, единых по уровню и значимости. Научные основы ВРЗ – закономерности

тепломассообмена в помещении, аэродинамика струйных стесненных и неизотермических потоков воздуха (внутренняя часть ВРЗ), теория отопительно-вентиляционных сетей в здании, теплообмен в ограждениях и аппаратах для обработки воздуха, гидроаэродинамика каналов, воздуховодов, теплопроводов, их узлов и аппаратов обработки воздуха теплоносителя (краевая часть ВРЗ), аэродинамика обтекания потоком ветра здания, группы зданий и застроенной территории, формирование конвективных потоков воздуха на наружных поверхностях здания (внешняя часть ВРЗ) [299]. Технологические вопросы ВРЗ: способы определения требуемых воздухообменов в помещении, организация подачи и удаления воздуха для формирования требуемого микроклимата в помещении (внутренняя часть ВРЗ), формирование устойчивого режима работы систем вентиляции, «расчет количества перетекающего воздуха между помещениями здания, определение расходов воздуха при неорганизованном воздухообмене» [249] (краевая часть ВРЗ), расчетные климатические наружные условия, распределение давлений ветрового потока на наружных ограждениях наветренного, заветренного и боковых фасадов здания (внешняя часть ВРЗ) [299]. Управление и оптимизация ВРЗ – воздухораспределение в помещении, управление воздухораздачей и удалением воздуха в помещениях здания (внутренняя часть ВРЗ), управление движением воздуха в здании и работой систем вентиляции и СКВ, воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций (краевая часть ВРЗ), расположение воздухозаборов и размещение вентшахт для выброса удаляемого воздуха (внешняя часть ВРЗ). Внутренняя часть ВРЗ достаточно полно изучена отечественными инженерами и учеными, краевая и внешняя части требуют дополнения и уточнения [299].

Методы стационарного режима являются традиционными и лежат в основе современных методов расчета и анализа воздушного режима вентилируемого помещения. Постоянно повышаются требования к параметрам воздуха в помещении, а также модернизируются технические

возможности по обработке и распределению воздуха в помещении. При проектировании вентиляционных систем необходимо учитывать взаимодействие помещения с внешним воздухом и воздухом смежных помещений [299, 301-305, 308, 363], которое может быть осуществлено на основе расчетов динамики состава воздуха во всех помещениях здания и в воздухе, окружающем здание.

При расчете нестационарного воздушного режима каждого вентилируемого помещения рассматривается единая технологическая система "окружающая здание воздушная среда (климат) - здание с инженерными системами - помещение с людьми" для создания требуемого микроклимата в каждом помещении здания. 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.

Работа по исследованию элементов ВРЗ велась в течение многих десятилетий на кафедре Отопления и вентиляции МИСИ-МГСУ, в институтах МНИИТЭП, ЦНИИПЗ, ВНИИОТ (Санкт-Петербург) и др. Исследованы отдельные элементы ВРЗ по движению воздуха в помещении [10], по струйным течениям [11], по общим вопросам движения воздуха в здании [17, 27, 51-54], по особенностям различных типов зданий [55, 56, 67, 68, 72, 73], по климату территории [75], по высотным зданиям [69, 77, 146, 199, 233, 236], по учету работы вентиляции [93], по методам расчета ВРЗ [85, 86], по нестационарности тепломассообмена [92, 93, 132], по ВРЗ промпредприятий [100, 102], по комплексному учету работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха [116, 122, 123], по учету тепловыделений в помещениях [124 - 127], по аэродинамике зданий [136], по энергосбережению [21, 76, 95, 162, 170, 246, 305, 306], по воздухопроницаемости оболочки здания [136], по внешней части ВРЗ [139,

140], по динамике работы систем вентиляции и отопления [200], по совместному действию системы вентиляции и системы кондиционирования воздуха [249, 257, 268, 270], по разновидностям организации воздухообмена [269], по струйным течениям в здании [284, 335], по учету особенностей работы систем вентиляции кондиционирования воздуха в здании [291, 297-317], что позволило подойти к решению поставленной в настоящей работе задачи.

Распределение параметров воздуха в помещении зависит от воздухообмена, создаваемого такими процессами как инфильтрация, эксфильтрация, врывание наружного воздуха через открытые проемы и организованное и неорганизованное перетекание воздуха между смежными помещениями [118, 361]. Выявлено влияние перетекания воздуха и неорганизованного воздухообмена на микроклимат помещений, так как «качество воздушной среды в помещении определяется сочетанием параметров микроклимата: температуры, скорости, относительной влажности, наличием примесей - газов, паров и пыли» [266], расчеты значений которых формируются по отдельности, а совместного рассмотрения влияния динамических режимов не происходит, что не позволяет прогнозировать изменение параметров микроклимата в помещениях здания. Конвективные и вентиляционные струи и архитектурно-планировочные решения помещений определяют распространение этих параметров по объему помещения [10].

Вентилируемое помещение представляет собой ограниченное наружными и внутренними ограждающими конструкциями объем пространства с рассредоточенными по нему источниками и стоками подаваемого и удаляемого воздуха - $G(F)$ и $G(V)$.

$$\int G(V) \times dV + \int G(F) \times dF = 0 \quad (1.1)$$

Первая составляющая уравнения – это расход воздуха, поступающего или удаляемого из объема помещения в виде работы системы общеобменной и

местной вентиляции. Второе слагаемое уравнения - составляющая воздухообмена в помещении зависящая от поступления и удаления воздуха через щели и прочие проемы в стенах и других ограждающих конструкциях помещения. Как известно требуемый воздухообмен определяется исходя из необходимости удаления вредных выделений: теплоты, водяных паров и пр.

Теория ВРЗ позволяет применить системный подход по расчету параметров микроклимата помещений здания, рассматривая сложные физические процессы, происходящие в помещениях здания как в элементах единой технологической системы. ВРЗ объединяет в единую систему тепломассобменные динамические режимы в помещениях здания (тепловой, влажностный, газовый), с учетом архитектурно-планировочного решения здания, с учетом работы систем отопления, вентиляции, СКВ, с учетом воздействия на здание наружного климата. В настоящее время все эти отдельные элементы единой технологической системы здания решаются по отдельности, как правило, без учета взаимовлияния.

Технология расчетов ВРЗ здания связана с решением следующих задач:

1. – определение требуемых параметров воздуха в помещениях здания при заданных внешних параметрах воздуха с заданной обеспеченностью, такие вопросы решаются на стадии проектирования, здесь формируют краевую и внутреннюю части ВРЗ, с учетом влияния внешней части ВРЗ. Расчеты ВРЗ требуют учета следующих требований: соотношение между расходами подаваемого и удаляемого воздуха из помещений с учетом неорганизованного воздухообмена через ограждения должно обеспечивать организованное перетекание воздуха из «чистых» помещений в «грязные», архитектурно-планировочными и вентиляционными мероприятиями здание разделяется на функциональные блоки с перетеканием воздуха между ними, обеспечивающим чистоту воздуха помещений, создание «подпора» или «разряжения» совмещается с организацией перетекания воздуха по зданию с подвижностью не выше требуемой, что достигается созданием в помещениях

избыточного давления величиной близкого к естественному, а также сокращением суммарных по зданию воздухообменов [299].

2. – определение минимальных расходов воздуха, обеспечивающих требуемые параметры микроклимата в помещениях здания, при различных возможных режимах эксплуатации здания связано с развитием технологии управления ВРЗ [299].

В работе [10] «отмечено влияние вентиляционных и конвективных струй и расположения вытяжных отверстий на циркуляцию воздуха в помещении, исследованы закономерности при вентилировании помещения плоскими струями в изотермических условиях, поля скоростей в помещении не исследовались» [266]. Формирование полей скорости при сосредоточенной подаче воздуха в помещении рассмотрены в работе [252]. Исследованию стесненных и осесимметричных струй, с истечением в тупик, посвящены труды В.А. Бахарева и В.Н. Трояновского [11], где проводились исследования полей скорости и давления. Действию изотермических струй в помещении также посвящена работа [41]. Аэродинамике воздушных потоков в помещении посвящены работы [335, 336]. В работах [1, 8] изучались свободные и стесненные струи, приведены результаты экспериментов по влиянию препятствий на траекторию движения воздушной струи.

В рабочей зоне помещения рассчитываются поля скорости [51], среднее значение которой в большей или меньшей степени близки к расчетному значению, а отклонение от среднего значения можно оценить по их среднеквадратичным отклонениям:

$$\sigma_u = \sqrt{\sum (u_i - u_{cp})^2 / N}, \quad (1.2)$$

где N – количество точек, где проведены измерения.

Схема формирования баз данных для анализа действия ВРЗ как объекта автоматизированного проектирования показана на рисунке 1.2.

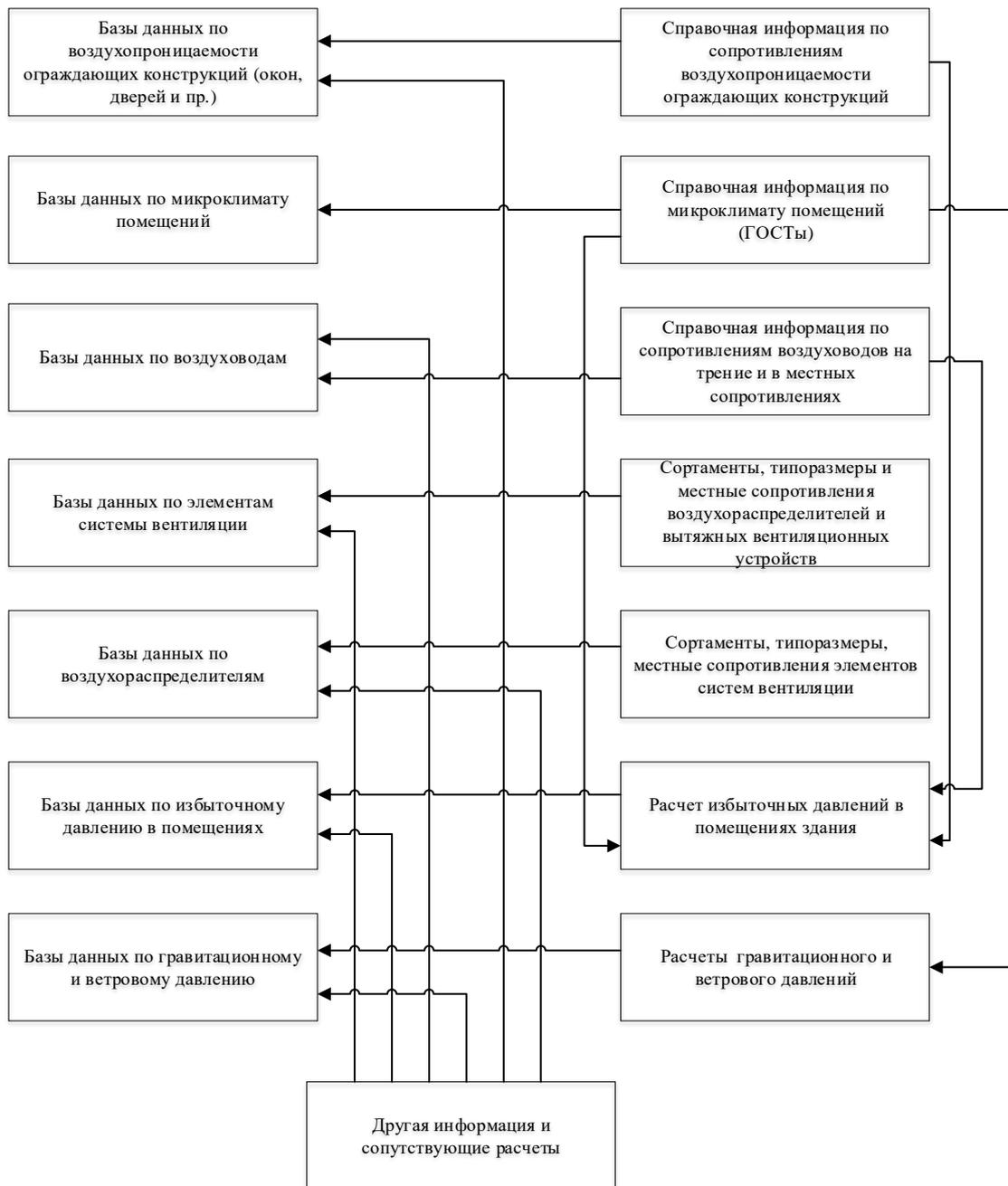


Рисунок 1.2 Схема формирования баз данных для анализа действия воздушного режима здания как объекта автоматизированного проектирования

Нормируемый микроклимат оценивается по ГОСТ 12.1.005-88 «Воздух рабочей зоны помещения».

На основе приведенных выше оценок состояния воздуха можно проанализировать схемы воздухораспределения. По графикам в работах П.О. Фангера можно определить оптимальные и допустимые температуры воздуха

в помещении, значения которых определяются видом выполняемых работ и способом воздухораспределения, провести оценки совокупного воздействия скорости и температуры воздуха.

Между турбулентной зоной струи и зоной потенциального течения помещения происходит тепломассообмен [116, 284]. Организация воздухообмена заключается в выборе схемы воздухораспределения, которая должна обеспечить нормируемые параметры воздуха в обслуживаемой зоне помещения [116].

Известен метод расчета по коэффициентам воздухообмена K_c , K_t , которые устанавливают связь концентрации вредного вещества и температуры в удаляемом воздухе и рабочей зоне помещения [269]. Данные рекомендации в виде $gradt$, K_c , K_t , $K_{эф}$. приемлемы для одних помещений и дают большие отклонения от действительности для других, дают ориентировочные оценки работы систем вентиляции. Другим недостатком метода является отсутствие связи со схемой организации воздухообмена в помещении и типом воздухораспределителей.

Данные методы основаны на однозонной модели помещения и не исключают учета различия между параметрами воздуха в центре помещения и в уходящем воздухе ($t_y > t_b$, $c_y > c_b$). Методы и технологии расчетов, предложенные в настоящей работе, позволяют определить коэффициент эффективности K как сложную функцию ($K=var$) и предполагают сначала рассчитывать воздухообмен, а затем осуществить подбор приточных устройств и схему организации воздухообмена, что методически обосновано.

Метод дискретно-вероятностной оптимизации распределения воздуха для общеобменной вентиляции [325, 326] предусматривает введение нового методического направления - статистического метода решения задач организации и расчета вентиляции помещений. Метод используется как теоретическая основа для исследования вероятности в распределении параметров воздуха, главным образом применительно к процессам формирования пространственных полей физико-химических компонентов

среды. Метод позволяет оптимизировать проектные решения путем обоснованного выбора эффективных систем воздухораспределения с учетом целого ряда технологических факторов. В основе решения лежит применение "функционала качества" как объективного, многопараметрального показателя эффективности вариантов организации воздухообмена при их сопоставлении и оценке. Метод предусматривает определение экспериментальным путем с введением геометрических и физических симплексов воздухообмена. Получив экспериментальные симплексы, возможно на стадии проектирования прогнозировать параметры воздушной среды в рабочей зоне помещения и дать оценку эффективности нескольких способов организации воздухообмена по их гигиеническим и экономическим показателям. Недостаток метода - в трудоемкости процесса физического моделирования, в отсутствии инженерной методики для реализации данного метода в проектной деятельности.

Балансовый способ для модели многозонного помещения основан на решении системы уравнений тепловых и материальных балансов в каждой зоне помещения. Данный способ использовался М.И. Кисиним для расчета систем инфракрасного отопления, В.Н. Богословским для инженерных расчетов и упрощения работы инженеров с теорией теплоустойчивости, а также данный способ использовали В.Н. Талиев, И.А. Шепелев и О.Е. Шилькрот для расчета аэрационного движения воздуха в промышленных зданиях.

Разрабатывая приближенную математическую модель Г.М. Позин использовал метод [124-127], который требует изначального понимания как циркулируют воздушные потоки в помещении, что дает возможность разработать расчетную схему. Для получения расчетной схемы необходимо помещение разделить на некие объемы и поверхности, которые обмениваются теплотой, а также учесть все потоки массы и теплоты, проходящие через границы объемов (зон), которые влияют на состояние параметров микроклимата в помещении [266]. Тепловой режим помещения

Г.М. Позин рассматривает на основе однозонной модели вентилируемого помещения для помещения судостроительного завода типа "элинг" с учетом теплообмена на ограждающих конструкциях в зависимости от критериев K_c и K_t . «Коэффициент воздухообмена учитывает лишь схему и принят постоянным во времени и сезонам» [266]. Многозонная модель вентилируемого помещения и на ее основе расчет воздухообмена рассматривается в работах [51-54, 148, 172, 360].

«Главной проблемой при использовании многозонной модели вентилируемого помещения является то, что сложно определить потоки воздуха, вредностей через границы зон, что определяется экспериментально или с помощью методов моделирования на ЭВМ» [266]. Более полное решение задач на ЭВМ дано в работах [256, 257], где определение требуемого воздухообмена производится на основе метода балансов в каждой зоне при учете стационарного процесса тепломассопереноса [266] на основе двухзонной модели вентилируемого помещения. Выделяются 2 контрольных объема в помещении, в каждом изучаются потоки приточного и удаляемого воздуха, работа источников и стоков вредных веществ, а потоки вещества и энергии могут проходить или не проходить через границы контрольных объемов.

Метод физического моделирования рассматривает внутреннюю задачу ВРЗ и основан на изучении того или иного процесса, воспроизводимого в разных масштабах, что целесообразно только в связи с наглядностью и достоверностью. Недостатками являются: ограниченная возможность деформации модели, натуральный масштаб времени течения исследуемых процессов, высокая стоимость.

Воздушный режим каждого помещения взаимосвязан с воздушным режимом всего здания [249]. Инфильтрация оказывает большое влияние на тепловой режим каждого помещения и всего здания в целом: в рабочее время взаимодействует с системой вентиляции, в не рабочее имеет место минимальный воздухообмен. Инфильтрация через неплотности наружных

ограждающих конструкций приводит к понижению температуры внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций, что организует ниспадающие струи охлажденного воздуха, и радиационный теплообмен с охлажденными поверхностями снижают комфортность параметров микроклимата в помещении [17].

Расчет ВРЗ позволяет «определить потоки воздуха» [266], образующиеся в результате «неорганизованного перетекания воздуха» [266] между помещениями здания под действием давления ветра и гравитационных сил. Снижение активности перетекания воздуха между помещениями возможно в результате применения следующих мероприятий: 1) конструктивно-планировочные, применяемые архитекторами, разделяющими здание по высоте на отдельные изолированные зоны, устройство тамбуров, установка дополнительных дверных конструкций на траектории движения воздуха, воздухоуплотнение ограждений (двери, окна и пр.), правильное расположения условно «чистых» и «грязных» помещений в здании; 2) вентиляционные мероприятия – применение дисбаланса воздуха в помещениях, создаваемого приточно-вытяжной системой вентиляции, организация активных шлюзов с подпором или разряжением воздуха, организация шиберующих завес.

Динамика ВРЗ регулирует динамику расходов воздуха в здании и «системе вентиляции течение суток и в годовом режиме, что оказывает влияние на тепловой, влажностный и газовый режимы [266] помещений здания и в настоящее время не учитывается в расчетах» [176].

Краевая задача ВРЗ описывает «процессы, связанные с перемещением воздуха в здании» [266], вентсистемах, «движением воздуха через неплотности, отверстия, проемы в наружных и внутренних ограждениях, по каналам и воздуховодам систем» [266] вентиляции и КВ. Перетекание воздуха в здании вызывает перемещение вредных выделений по смежным помещениям здания, что не всегда допустимо. Движение воздуха в здании и системах формируется под влиянием схемы организации воздухообмена, режима работы механической и естественной вентиляции, особенностей

технологического процесса, параметров приточных и конвективных струйных потоков, режим функционирования помещений здания [299].

При исследовании краевой задачи ВРЗ использовались различные методы, которые отражали развитие вычислительной техники в стране. Метод гидравлической аналогии активно использовался в 60-х годах 20 века, в основу метода положено математическое подобие движения воздуха через каналы вентсистем, неплотности ограждений здания и движения воды через систему гидравлических сопротивлений. Достоинствами метода, который реализован на гидравлических интеграторах, является простота, наглядность, широкий диапазон сопротивлений, позволяющий учитывать сопротивление больших каналов наряду с уплотнительными элементами наружных ограждений. Недостаток – невысокая точность, сложность первоначальной сборки системы гидравлической аналогии.

Электрическая аналогия основана на аналогии процессов движения воздуха в здании процессу передачи электроэнергии через разветвленные сети с омическим сопротивлением. Метод достаточно сложен в связи с необходимостью проработки методики учета нелинейных уравнений движения воздуха. Недостатки: при выходе из строя электрических элементов процессы становятся искаженными, а также разработка эквивалентных параметров измерений вызывает сложности.

Метод математического моделирования ВРЗ, позволяющий проводить исследования любых вариантов протекания воздушных процессов в здании применяется успешно в наше время. С помощью этого метода были решены задачи расчета ВРЗ с использованием численных методов решения системы нелинейных уравнений [23, 67, 68, 148, 172]. Метод управления ВРЗ на основе метода математического моделирования на уровне проектирования и на уровне эксплуатации предложен в работе [299], он учитывает изменение нагрузок на системы во времени. Расчеты с применением методов математического моделирования позволило предвидеть развитие ВРЗ в более

широкой трактовке с единых позиций [266], но при этом единого рассмотрения всех динамических режимов не проводилось.

Разработана методика расчета определения перепадов давления воздуха, для расчета расходов воздуха, неорганизованного и организованного воздухообменов в помещениях здания. Используется избыточное давление относительно условного нуля, расположенного на кровле здания.

В настоящее время существует четыре метода построения эпюр давления на ограждения здания: 1) по нейтральной зоне; 2) по избыточным давлениям; 3) по фиктивным давлениям; 4) от условного нулевого значения давления воздуха. Последний способ, разработанный в МГСУ [299], обобщает предыдущие.

Метод внутренних избыточных давлений, предложенный П.Н. Каменевым, основан на введении понятия внутреннего избыточного давления.

Метод фиктивных давлений, предложенный В.В. Батуриным, основан на понятии фиктивного, т.е. гравитационного, имитирующего давления ветра, давления и похож на метод избыточных давлений. Отличие состоит лишь в выборе уровня для отсчета нуля давления, который в данном случае может быть выбран произвольно, например, уровень середины нижнего проема. Условный нуль давления может быть выбран произвольно. Возможность обобщенного анализа воздушного режима, стандартность конфигурации эпюр давления для различных зданий – являются преимуществами способа построения эпюр относительно условного нуля давления, предложенного В.П. Титовым [18, 269, 299].

Потоки воздуха через ограждения изучены Р.Е. [18, 315]:

$$G = |\Delta P|^k \text{sign}(\Delta P) \times F / R_u, \quad (1.3)$$

где k – коэффициент, зависящий от размера отверстий, щелей и пр.

Существует несколько методов расчета ВРЗ, использующие различные подходы [16, 55, 67, 68, 82, 322,]. При расчетах ВРЗ в настоящей работе

предпочтен наиболее удобный и проверенный метод [299] на основе решения системы нелинейных уравнений методом итераций. Предлагаемый способ решения заключается в линеаризации членов уравнений, содержащих степень 1/2. Для расчета необходимо знать давления в здании и снаружи. Методика для расчета давления внутри здания предложена в работе [85, 86, 100, 299].

«Уравнения кривых расхода воздуха имеют вид» [266], [203]:

$$G = F \times V \times j, \quad (1.4)$$

«Величина V показывает сколько единиц расхода составляет инфильтрация, эксфильтрация или суммарный расход и является трансцендентной функцией от искомого давления в здании P_0 » [266]. «Задаваясь начальным значением P_0^k , записываем для каждого оконного и дверного проема каждого помещения здания уравнение» [266]:

$$\frac{P_{c,\Sigma} - P_0^k}{P_{c,n} - P_0^k} = \frac{G_{\Sigma,n}^k}{G_{c,n}^k}, \quad (1.5)$$

отсюда можно получить уравнение для расчета

$$P_0^{k+1} = \frac{\sum \frac{G_{\Sigma,n}^k \times P_{c,n}}{P_{c,n} - P_0^k} \pm \Delta G_{\text{мех}}}{\sum \frac{G_{\Sigma,n}^k}{P_{c,n} - P_0^k}}, \quad (1.6)$$

где $P_{c,n} = P_n + 0,5 \times H \times \Delta \gamma$

итерационный процесс идет до тех пор, пока

$$|P_0^{k+1} - P_0^k| \ll \Delta P \approx 0,01 \text{ Па}, \quad (1.7)$$

Получив значение давления внутри всех помещений здания P_0 , вычисляем расход воздуха, перетекающего между помещений в здании [102].

Для наветренной стороны здания значение давления можно описать, как разность гравитационного давления снаружи и внутри здания суммируемое с ветровым давлением:

$$P_n = P_r + P_B = (H - h_i) \times (\gamma_n - \gamma_{\text{в}}) + (k_n - k_3) v_0^2 / 2 \times \rho_3, \quad (1.8)$$

избыточное давление с заветренной стороны здания будет иметь вид:

$$P_3 = (H - h_i) \times \Delta\gamma, \quad (1.9)$$

для наружных дверей и окон разность давлений будет равна:

$$\Delta P_i = P_{ni} - P_{oi}, \quad (1.10)$$

для отверстий во внутренних ограждениях перепад давлений ΔP можно представить так:

$$\Delta P_{1,2} = [P_{01} + (H_1 - h_{1i}) \times g \times \rho_{в1}] - [P_{02} + (H_2 - h_{2i}) \times g \times \rho_{в2}], \quad (1.11)$$

где 1,2 – первое и второе помещения.

Если параметры воздуха в помещениях здания сильно отличаются друг от друга, то избыточное давление необходимо рассчитывать отдельно для наружного воздуха и внутреннего воздуха каждого помещения:

$$P_n = P_r + P_b = (H - h_i) \times \gamma_n + (k_i - k_{\min}) v_n^2 / 2 \times \rho_n, \quad (1.12)$$

Давление внутреннего воздуха:

$$P_e = P_{oi} + (H_i - \Delta h_i) \times \gamma_e, \quad (1.13)$$

где Δh_i – расстояние по вертикали от уровня h_i до уровня пола соответствующего помещения.

Эюра давления ветра с наветренной стороны здания характеризуется формулой обратной формуле критерия Архимеда [102]:

$$P_e = P_v / (H \times \Delta\gamma) = \frac{(k_n - k_{\min}) v_n^2 \rho_n / 2}{H(\gamma_n - \gamma_e)} \quad (1.14)$$

Внешняя задача ВРЗ связана с процессами перемещения воздуха вокруг здания, обтеканием здания потоком ветра и с температурно-ветровым состоянием приземного слоя атмосферы [171, 299], в состав которого входят различные примеси, концентрация которых определяет их концентрацию в помещениях здания, что учитывается при расчетах условно, без учета влияния динамики тепломассообменных процессов. Обтекание здания воздушным потоком происходит с образованием наветренной и заветренной вихревых зон АС, с процессами инфильтрации и эксфильтрации в помещениях здания, которые совместно с системой вентиляции определяют величину концентрации примеси в воздухе помещений здания. Обтекание

здания воздушным потоком изучалось на основе лабораторных, теоретических и натурных исследований авторами Вулисом Л.А. [37], Горлиным С.М. и Зиборовой С.П. [45-47], Максимкиной Н.Г. [90, 91], Поляковым В.В., Титовым В.П., Латышенковым М.А. [128-131, 311, 299], Реттер Э.И. [139, 140], Рымаровым А.Г. [148, 172], Самсоновым В.Т. [253-255], Серебровским Ф.Л. [261, 262], Скорером Р. [265], Тишкиным В.С. [316-320], Томсоном Н.М. [321], Evans Н. [347].

Испытаниями с целью определения размеров циркуляционных зон занимались Н.М. Томпсон [321], Г. Эванс [347], Н.Г. Максимкина [90, 91], В.Т. Самсонов [253-255], В.М. Простаков [135], а В.П. Титов, В.В. Поляков, В.С. Тишкин [311, 316-320] – они дали картину обтекания здания (группы зданий); исследования проводились в гидравлическом лотке и аэродинамической трубе. Исследовались здания одной высоты и направление ветра принималось перпендикулярным одному из фасадов. Разновысотная застройка исследовалась мало.

Аналитическому исследованию процесса обтекания воздушным потоком здания посвящены работы Л.А. Вулиса [37], Г.Н. Абрамовича [1], Э.И. Реттера [139, 140], Ф.Л. Серебровского [261, 262].

Исследования, проведенные В.В. Поляковым [128] показывают, что размеры зоны подпора и аэродинамического следа для реальных сооружений остаются относительно неизменными при изменении величины скорости ветра, зато величины избыточных давлений на поверхностях наружных ограждений здания при этом значительно меняются. Результатом исследования были экспериментально полученные графические зависимости.

Здание взаимодействует с потоком воздуха, набегающего на него под действием ветра с образованием вихревых наветренной и заветренной зон аэродинамического следа здания, при этом происходит распределение давления снаружи и внутри здания в связи с воздухопроницаемостью ограждающих конструкций под действием силы ветра и одновременно под действием гравитационных сил.

Размеры вихревых зон у здания при обтекании приземным потоком воздуха (ветер), характер циркуляции, проветриваемость вихревых зон изучались методами физического моделирования в аэродинамических трубах и гидравлических лотках на моделях различных масштабов [1, 8, 128-131, 316-320].

Образование наветренного и заветренного воздушных объемов аэродинамического следа здания связано с наличием подстилающей поверхности земли и градиентом давления вблизи фасада здания. Обтекание зданий потоком воздуха определяется архитектурным решением: здание пластина – обтекание происходит через верх здания, здание башня – обтекание происходит преимущественно через боковые грани здания, эти аспекты определяют расчетную величину давления ветра в наветренном и заветренном воздушных объемах аэродинамического следа здания. Заветренная вихревая зона образуется за зданием и является зоной разряжения, которое создает эжекционное действие потока воздуха, срывающегося с наветренного фасада. Размеры заветренного воздушного объема аэродинамического следа определяются геометрическими размерами здания.

Необходимо рассматривать ВРЗ в единстве с суточными колебаниями температуры воздуха снаружи здания, что в настоящее время не делается из-за повышенной трудоемкости и отсутствия технологии.

Физико-математическое моделирование движения воздуха по каналам, воздуховодам, через щели и неплотности ограждающих конструкций.

Воздушные потоки, поступающие в здание, перетекающие по зданию и удаляемые зависят от систем приточных и вытяжных каналов и воздуховодов с различной воздухопроницаемостью. Для расчета краевой части ВРЗ необходимо знать расположение воздухопроницаемых конструкций, каналов и воздуховодов приточной и вытяжной систем вентиляции, характеристики сопротивления воздухопроницанию каждого воздухопроницаемого элемента здания, что позволит получить распределение потоков воздуха в здании.

Уравнения воздушного баланса для каждого помещения здания составлены из суммы расходов воздуха $G_{i,k}$ через каждый воздухопроницаемый элемент k в помещении i :

$$\sum_{i,k}^{n,m} G_{i,k} = 0, i = 1, 2, 3 \dots n, k = 1, 2, 3 \dots m \quad (1.15)$$

Движение воздуха через двери, окна, проемы по участкам каналов и воздуховодов, по коридорам, лестничным клеткам, лифтовым шахтам и др. воздухопроницаемым элементам здания определяется наличием перепада полных давлений до и после рассматриваемого элемента аэродинамической системы «здание» ΔP , Па, а направление движения воздуха определяется знаком разности полных давлений.

G – массовый расход воздуха, кг/ч;

ВРЗ быть представлен как аэродинамическая система с расчетными узлами, в которых известна величина избыточного полного давления или в результате расчетов будет найдено значение избыточного полного давления.

Воздушный режим здания с естественной системой вентиляции работает под воздействием на оболочку здания гравитационного и ветрового давления с учетом сопротивления воздухопроницанию наружных ограждающих конструкций и каналов системы естественной вентиляции, а также сопротивлением воздухопроницанию внутренних дверей. Характеристики сопротивления каналов естественной системы вентиляции зависят от потоков воздуха, проходящих по ним. На каждом шаге времени проводится перерасчет для корректировки потоков воздуха и сопротивления воздухопроницанию каналов и фасонных частей. Необходимо получить коэффициенты местных сопротивлений при этом удобно воспользоваться формулами, предложенными в работе [6, 66].

Расчеты сопротивлений каналов – местных и по длине можно проводить через характеристики сопротивления сети, что реализовано в работе [16].

Подходы к расчету потокораспределения в вентиляторных доводчиках изложены в работе [13], где не учитывается изменение давления в помещениях здания.

Современное здание – это сложная аэродинамическая система, в которой происходит движение воздуха под действием естественных сил и в результате действия искусственных побудителей, с наличием различных сопротивлений воздухопроницанию.

Если представить здание в виде аэродинамической сети, то ответвления этой сети будут связаны с отверстиями и каналами различного размера - окна, ворота и пр.

Высокое отверстие связано с распределением избыточного давления с каждой стороны:

$$P_1 = P_{01} + f_1(h), \quad (1.16)$$

$$P_2 = P_{02} + f_2(h), \quad (1.17)$$

Где $f_1(h)$, $f_2(h)$ – распределение плотности воздуха по высоте помещений, что определяется расчетом теплового режима помещения и здания.

Сочетание величин P_{01} , $f_1(h)$, P_{02} , $f_2(h)$ – определяет, происходит ли через неплотности окна процесс инфильтрации или эксфильтрации или одновременно имеет место и инфильтрация и эксфильтрация [299, 315].

Если рассматривать распределение давления по высоте помещения как линейную функцию, то формулы распределения давления по высоте помещения будут иметь следующий вид:

$$P_1 = P_{01} + (H_1 - \Delta h_1) \times \gamma_1, \quad (1.18)$$

$$P_2 = P_{02} + (H_2 - \Delta h_2) \times \gamma_2, \quad (1.19)$$

Варианты распределения давления с двух сторон высокого отверстия зависят в первую очередь от отличия температуры воздуха в помещениях ($\gamma_1 > \gamma_2$, $\gamma_1 < \gamma_2$) и от соотношения между величинами давления и распределения температуры воздуха по высоте помещений P_{01} , P_{02} , $H\Delta\gamma_1$, $H\Delta\gamma_2$. Необходимо рассчитать расход воздуха, проходящий через отверстие, где может иметь

место инфильтрация или эксфильтрация, а так же одновременно и инфильтрация и эксфильтрация, эти потоки необходимо учитывать в воздушном балансе помещения, а инфильтрацию в тепловом балансе помещения. Можно воспользоваться формулой, учитывающей возможное наличие одновременно инфильтрации и эксфильтрации через отверстие.

$$G_{c,1-2} = \frac{F}{R_u \times (\kappa + 1) \times H \times \Delta\gamma_{1-2}} \times \left(|\Delta P_{0,1-2} + H \times \Delta\gamma_{1-2}|^{\kappa+1} - |\Delta P_{0,1-2}|^{\kappa+1} \right), \quad (1.20)$$

Воздухопроницаемость внутренних ограждений влияет достаточно сильно на интенсивность перетекания воздуха в здании [70, 71, 112, 102, 299, 298, 306], на процессы влажностного и теплового режимов здания, а все отверстия в здании характеризуются сопротивлением воздухопроницанию. Архитектурно-строительное решение здания в плане и по высоте влияет перетекание воздуха в здании, а при правильном размещении условно "чистых" и "грязных" помещений дают возможность сократить количество воздуха перетекающего воздуха в здании, которые, как отмечено в работах [20, 23] влияют на величину требуемого воздухообмена в помещениях, что требует расчета ВРЗ.

«Работа систем приточно-вытяжной механической вентиляции оказывает влияние на воздушный режим здания» [266]. По существующим методикам расчета при выборе сечений каналов и сопротивлений на входе и выходе воздуха систем естественной и «приточно-вытяжной механической вентиляции не учитывается влияние» [266] здания и его воздушно-теплового режима [85, 86, 315].

Для более сложных случаев удобно воспользоваться графоаналитическим методом, предложенным Н.Н. Разумовым [136], в котором формируются графики характеристик воздухопроницаемых элементов здания. Достоинством метода является учет характеристик вентиляционного оборудования, однако, большая трудоемкость, приближенность и малая эффективность сужают возможности применения аналитического и графоаналитического методов.

Дальнейшее развитие теория по расчету ВРЗ получила для жилых зданий, с учетом инфильтрации, дисбаланса [102, 299], расчет воздухообмена как функция ВРЗ в работе [82]. Методы расчета ВРЗ разрабатывались с целью определения теплотерь здания за счет инфильтрации, расчета систем вентиляции, определения потоков перетекающего в здании воздуха. Аналитические исследования процессов краевой задачи позволили создать инженерные методы расчета инфильтрации.

Наиболее проста и удобна для расчетов методика и программа, предложенные В.П.Титовым и В.Г.Лельковым в работе [307, 308], которая позволяет провести расчет ВРЗ.

Активное шлюзование позволяет организовать или предотвратить перетекание воздуха [23, 249, 299].

ВРЗ необходимо учитывать при проектировании, наладке и эксплуатации вентиляционных систем, в частности при аэродинамическом расчете систем механической и естественной вентиляции, при выборе мест воздухозабора, мест размещения выбросов вредных примесей, при поиске возможностей управления ВРЗ с помощью систем вентиляции.

Распределение давления в вертикальных и горизонтальных воздуховодах (каналах) системы вытяжной вентиляции с естественным движением воздуха влияет на ВРЗ и каждого помещения [102], существующие методики недостаточны для расчета системы естественной вентиляции в современных условиях применяемых окон. Располагаемое давление для расчета расхода воздуха или подбора сечения шахты определяется по следующей формуле:

$$\Delta P_p = P_0 + (h_{ш} - h)\gamma_в - h_{ш}\gamma_{ш} - (H - H_{ш})\gamma_n - (C_{ш} - C_{мин.})v_n^2 \rho_n / 2, \quad (1.21)$$

где $h_{ш}$, h , $H_{ш}$, H – высота от места входа воздуха в шахту до устья шахты, высота шахты над кровлей здания, высота от пола помещения до устья шахты, отметка условного нуля. При определенном направлении и силе ветра возможно опрокидывание вытяжки [266].

Амплитуда колебания давления в суточном и сезонном временных диапазонах приводит к разрегулировке расходов воздуха по отдельным участкам и ответвлениям, что влияет на ВРЗ и все рассматриваемые в настоящей работе режимы здания, что невозможно учесть в действующих концепциях расчетов.

Физико-математическое моделирование воздушного режима здания

Физико – математическое моделирование ВРЗ зависит от цели поставленной задачи, когда необходимо получить динамические параметры микроклимата [249]. Статичность потокораспределения воздуха в системах обеспечения микроклимата в помещениях здания, а учет динамики рассмотрен в работе [299].

Для формирования модели ВРЗ необходима следующая исходная информация:

- внутренняя исходная информация: требуемые параметры воздуха (микроклимата), способ организации воздухообмена, характеристика воздухораспределителей,
- краевые исходные данные: архитектурно-планировочное решение здания, конструкции и сопротивление воздухопроницанию ограждений, схемы систем вентиляции, размеры и отметки участков, каналов, воздуховодов, шахт,
- внешние исходные данные: параметры наружного климата, аэродинамические характеристики здания.

Модель ВРЗ, позволяющая определить расходы воздуха инфильтрующегося, эксфильтрующегося, перетекающего по зданию, для анализа распределения избыточного давления в проектируемом или существующем здании, состоит из системы балансовых уравнений по входящему и уходящему воздуху в каждом помещении рассматриваемого здания. Система уравнений для здания с количеством помещений равном N в общем виде имеет следующий вид.

помещении с минимальными затратами энергии. Управление ВРЗ предполагает создание стабильного состояния «параметров микроклимата в помещениях здания, организацию перетекания воздуха между помещениями здания» [249], сокращение потребления энергии системами здания при проектировании и эксплуатации. Для управления организацией и оптимизацией перетеканием воздуха в здании созданы модели параметрической оптимизации системы управления ВРЗ и оптимизации режимов работы систем вентиляции. Недостаток этих моделей в отсутствии детализированной связи ВРЗ с тепловым, влажностным и газовым режимами помещений и здания в целом.

Управление ВРЗ позволяет оптимизировать работу системы вентиляции, системы автоматики, найти оптимальный способ регулирования потоками перетекающего по зданию воздуха, сокращая или увеличивая воздухообмены в помещениях в связи с необходимостью в рабочее и не рабочее время, управлять микроклиматом в помещениях здания.

Уравнения, системы уравнений рассматривались с учетом требований математики [38, 39], а решения уравнений и систем при программировании проводились с учетом рекомендаций в работе [108].

Схема формирования баз данных для анализа действия теплового режима здания как объекта автоматизированного проектирования показана на рисунке 1.3.

Исследованию теплового режима помещения (ТРП) посвящены труды таких отечественных ученых как В.Н. Богословский, Г.А. Селиверстов, Ю.А. Табунщиков и др. Исследование Тепловой режим помещения исследовался в трудах [17, 27, 260, 279-282]. Общие закономерности теплопередачи лежат в основе исследований теплообмена в помещении, а в частности теплообмен в помещении состоит из процессов: теплопроводности (кондукции); конвективного теплообмена; теплообмена излучением; массообмена.

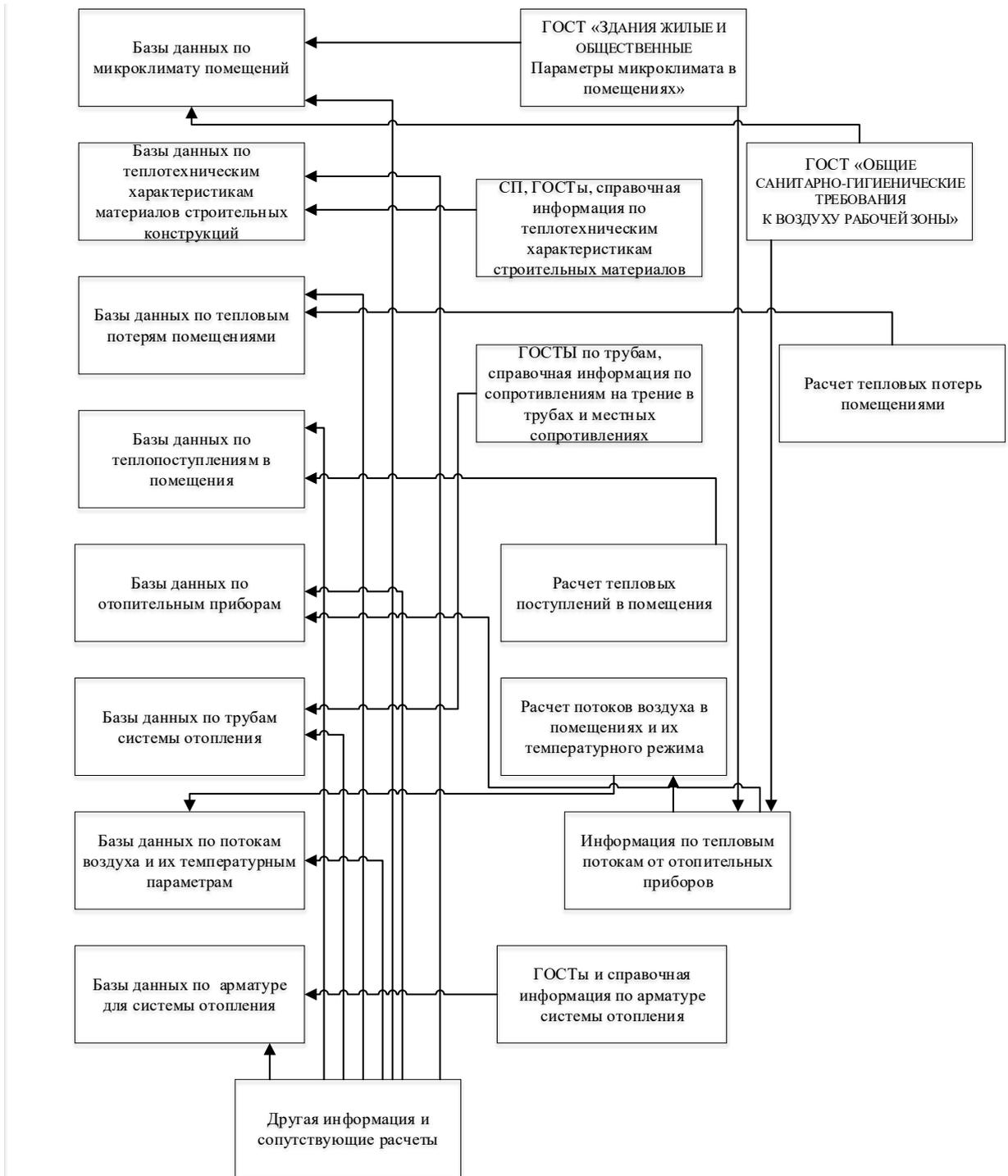


Рисунок 1.3 Схема формирования баз данных для анализа действия теплового режима здания как объекта автоматизированного проектирования

Теплопроводность через стенку описан законом Фурье:

$$c \times \rho \times x \times \frac{\partial x}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x) \frac{\partial t}{\partial x} \right], \quad (1.24)$$

Конечно-разностные и численные методы стали более распространенными для решений уравнения (1.24) [17].

«Среди известных методов можно отметить методы, основанные на граничных условиях, представленных как гармонические или периодические» [266].

Гармонические граничные условия используются в теории теплоустойчивости. Работы О.Е. Власова [27] используются в отечественной теории теплоустойчивости. Данные исследования не рассматривают здание в комплексе со всеми тепломассобменными процессами в нем.

В работах по теории теплоустойчивости А.М. Шкловера [337, 338] решены вопросы учета гармонических колебаний потоков теплоты. Лучистый и конвективный теплообмен рассмотрены для помещений без учета влияния воздухообмена [272]. Изменение температуры поверхности стенки τ_c , происходящее в условиях прерывистых теплоступлений, определяется с помощью разложения кривой прерывистой теплоподдачи в ряд Фурье.

Теория теплоустойчивости рассмотрена в работах В.Н. Богословского [17, 18], [266]. «На основе правила сложения гармонических колебаний и принципа суперпозиции получена возможность оценить общий тепловой режим помещения, и по результатам частных тепловых воздействий стало возможным решение задачи о теплоустойчивости помещения в ее полной постановке простыми для инженерной практики приемами» [266]. «Разного рода граничные условия учитывались приближенно с допущениями, так как для решения задач с привлечением принципа суперпозиции необходима однородность граничных условий. Было отмечено, что поступление лучистого тепла в помещение оказывает влияние на нестационарный тепловой режим помещения [17]» [266].

Исследованию нестационарного теплового режима помещения при возмущениях, произвольно меняющихся во времени, а также найдены решения (для П-образных, синусоидальных и других периодических

функций), приводящих к упрощению формы кривых, описывающих тепловые воздействия посвящены работы [122, 123].

Теплоустойчивостью помещений занимались Ю.А. Табунщиков [279-282], В.В. Наседкин [109], Е.Г. Малявина [92, 93], [266]. В работе [76] Ю.Я. Кувшинов усовершенствовал теорию теплоустойчивости, применил периодические тепловые воздействия и совместил с работой теплообменных аппаратов [35, 36, 80], [266]. «Были предложены граничные условия в виде прерывистых периодических функций времени, которые наиболее приближены к реальным условиям» [266]. При всем спектре частот тепловых воздействий изучались изменения температуры в помещении. Результаты дают возможность анализировать работу СКМ в разных временных интервалах.

Количественное регулирование систем КВ описано в работах [258, 259], где предложены характерные зависимости для изменения воздухообмена $K_p=f(\tau)$.

«Допущения, обычно используемые, в теории теплоустойчивости при анализе теплового режима помещения, следующие [76]» [266]:

- действующие влияния описаны на основе гармонических функций,
- все поверхности в помещении изотермические,
- температура воздуха равномерно распределена по объему помещения,
- температура не влияет на теплофизические параметры,
- все помещения имеют сходный тепловой режим;

Уравнения теплообмена для помещения [148, 172]:

1. баланс теплоты в воздухе описываем уравнением:

$$V_n c_e \rho_e \frac{dt_e}{d\tau} = \sum (\alpha_{ki} F_i (t_i - t_e)) + L c_e \rho_e (t_{np} - t_e) + Q_k(\tau), \quad (1.25)$$

2. для слоев ограждений уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial t_i}{\partial \tau} = a_i \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (1.26)$$

3. теплообмен на поверхностях в помещении записываем в виде уравнения:

$$\lambda \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_{ki}(t_i - t_e) + \sum (\alpha_{l,i-j}(t_i - t_j)) + q_l(\tau), \quad (1.27)$$

Рассмотрение помещения без связей с наружным воздухом и воздухом смежных помещений позволяет упростить систему уравнений для инженерных и корректировочных расчётов. ВРЗ не учитывается при расчетах теплового режима помещения, кроме расчета процесса инфильтрации [68, 72, 73].

Методы анализа периодических (квазистационарных) и нестационарных температурных режимов в ограждающих конструкциях достаточно полно разработаны в работах Бахинди Л. [12], Богословского В.Н. [17, 18], Власова О.Е. [27], Кувшинова Ю.Я. [76], Лыкова А.В. [89], Малявиной Е.Г. [92, 93], Муромова А.Е., Наседкина и Нефелова С.В. [108, 109, 110], Патанкар С. [119], Поз М.Я. [122, 123], в работах [104, 128, 130, 131, 132, 133, 138, 139, 143, 145, 146, 149, 150, 151], Рымкевича А.А. [248], Стецовского М.П. [270], Табунщикова Ю.А. [279-282], Титова В.П. [297-310], Ушкова Ф.М. [328], Фокина К.Ф. [331], Шкловера А.М. [327, 328]. Методы расчета изменения температуры воздуха в помещениях зданий, основанные на стационарных условиях, где температура воздуха переменна лишь по высоте, изложены в работах [17, 18 и др.]. Анализ установившихся (стационарных) режимов в помещении с учетом полной картины тепло и массообмена в нем проводят методами, разработанными под руководством академика РААСН В.Н. Богословского. Математическому моделированию теплового режима зданий, созданию энергоэффективных зданий посвящены работы, проводимые под руководством Ю.А. Табунщикова [279-282], в которых освещены математические зависимости, обобщен зарубежный опыт проектирования и эксплуатации энергоэффективных зданий, однако математическими зависимостями, представленными в работе, невозможно воспользоваться без специального программного обеспечения, которого нет. Массивные сооружения с позиции теплового режима рассматривались в работах [24-25, 123, 164, 241-243, 245, 292 -294, 297, 359]. Высотные здания по

теплопередаче рассматривались в работах [77, 146, 199, 216, 224, 233, 234, 236, 237].

Методы расчета воздушного режима здания (ВРЗ) разрабатывались с целью определения теплотерь здания за счет инфильтрации, расчета систем вентиляции (механической или естественной), определения потоков перетекающего в здании воздуха. ВРЗ являлся составной частью теплового режима здания.

Тепловой режим здания состоит из теплового режима каждого помещения с источниками и стоками тепловой энергии, работа которых изменяется, при этом «тепловой режим каждого помещения» [249] более или менее существенно разный, включая температурный режим ограждающих конструкций, что влияет на ВРЗ и ГРЗ.

Строительные материалы представляют собой капиллярно-пористую среду, а вопросы переноса водяного пара в них представлен в трудах [17, 19, 40, 88, 122, 288-290, 330, 331, 332]. Перемещение влаги в толще стены изучено в работах В.Г. Гагарина. Существует множество различных механизмов переноса влаги [266, 267, 217, 219, 220, 223, 227, 228]. Влажностный режим помещений рассматривался в работах [266, 267, 217, 219, 220, 223, 227, 228].

Влагоперенос выражен общим уравнением, которое соответствует всем механизмам влагопереноса, так как в нем удельный поток влаги пропорционален градиенту потенциала (Θ_i) с учетом коэффициента влагопроводности (k_i).

$$g_i = -k_i \times grad\Theta_i, \quad (1.28)$$

Физико-математическое моделирование газовых режимов помещений в здании

Исследованию газовых режимов производственных зданий посвящены работы [102, 118, 147, 148, 166, 172, 197, 238, 239, 240, 258, 259, 277, 278, 348, 349, 350, 352, 353, 355, 356, 361, 362, 366], газовый режим зданий рассматривался без учета динамики ВРЗ и ГРЗ, что не позволяло получить

динамику развития ГРЗ. В работе [148, 172] проведены исследования газового режимов здания с допущением ограниченности динамики параметров теплового режима здания.

Проникновение и перемещение вредных веществ в здании зависит от наличия источников и стоков вредных веществ, расхода приточного, вытяжного, инфильтрующегося, перетекающего, врывающегося и аэрационного воздуха в здании $c=f(G)$ мг/м³.

«Формулы дифференциальных уравнений для расчета изменения концентрации вредных веществ в помещении при заданном воздухообмене» [266] применены А.Н.Селиверстовым [160, 161]:

При

$$L_0 > 0, L_0 c_0 d\tau + M d\tau - L_y c d\tau = V_n d c, \quad (1.28)$$

При

$$L_0 = 0, M d\tau = V_n d c, [86], \quad (1.29)$$

Получаем формулу на основе решения дифференциального уравнения (1.1):

$$C = c_0 + M/L + (c_n - c_0 - M/L) \times \exp(-\tau \times K_p), \quad (1.30)$$

Схема формирования баз данных для анализа действия газового режима здания как объекта автоматизированного проектирования приведена на рисунке 1.4.

Состав воздуха, уходящего из помещения под действием вытяжной вентиляции или при эксфильтрации, или при перетекании по количеству примесей такой же как и в воздухе помещения $C(\tau)$.

Расчеты аварийной вентиляции рассмотрены в работе [339].

Обобщение и дополнение по расчету и организации аварийной вентиляции дал В.М. Эльтерман [339, 340], предложив классификацию аварийных ситуаций, которые подпадают под работу аварийной вентиляции.

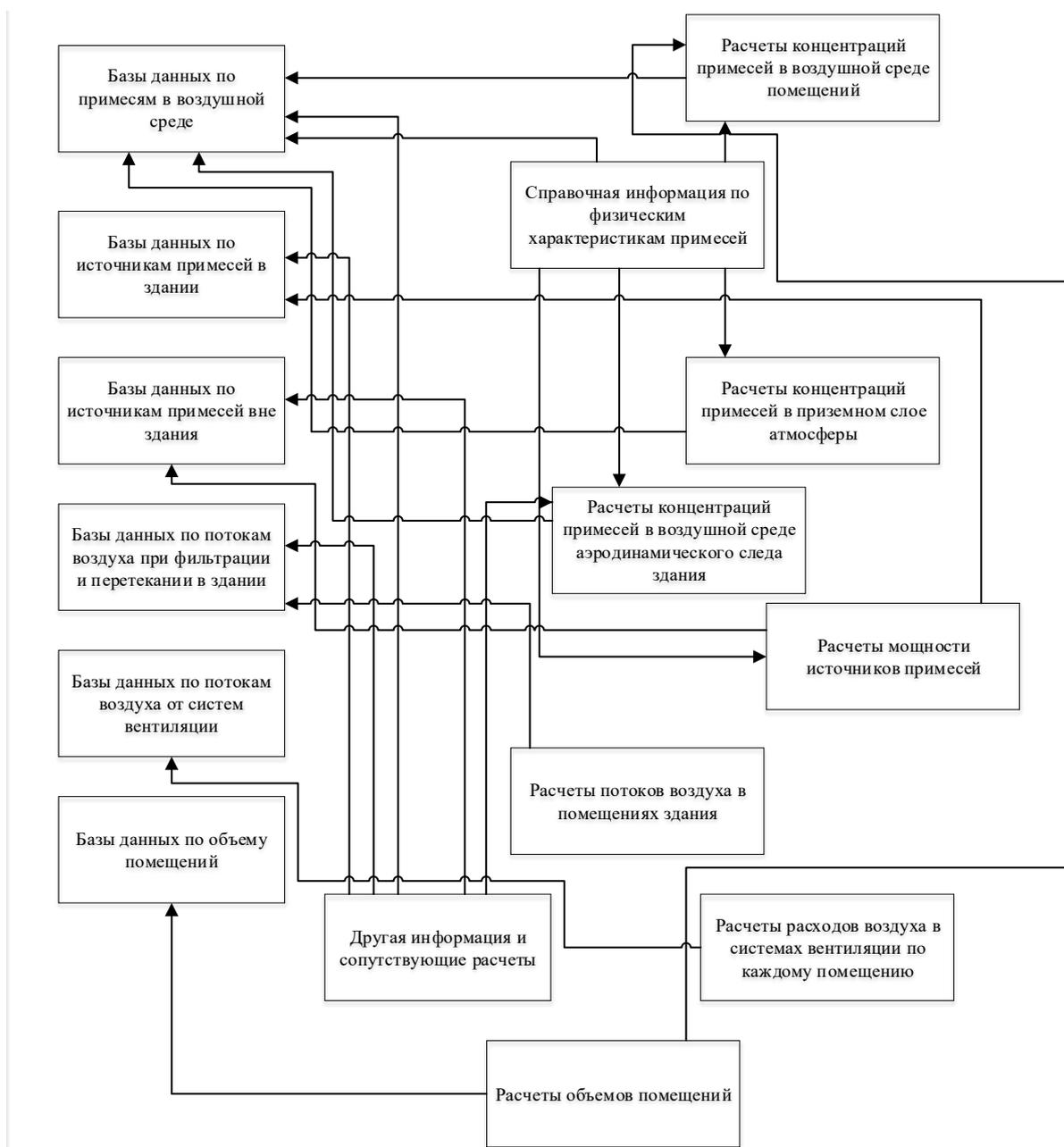


Рисунок 1.4. Схема формирования баз данных для анализа действия газового режима здания как объекта автоматизированного проектирования

В работе [82] предложено физико-математическое математическое моделирование помещений с вентиляцией при переменном во времени поступлении примесей и изменяющемся во времени воздухообмене. Даны дифференциальные уравнения и их решения при интегрировании. Обобщающее дифференциальное уравнение математической модели воздухообмена:

$$dc/d\tau + F(\tau)c = \Psi(\tau) + \Phi(\tau), \quad (1.31)$$

Здесь $F(\tau)$, $\Psi(\tau)$ – функции, характеризующие воздухообмен, а $\Phi(\tau)$ – функция, характеризующая процесс выделения вредных газов.

И его решение:

$$c(\tau) = \exp\left(-\int F(\tau)d\tau\right) \times \left\{ C1 + [\Psi(\tau) + \Phi(\tau)] \times \exp\left(\int F(\tau)d\tau\right) d\tau \right\}, \quad (1.32)$$

где $C1$ – постоянная, определяемая из начальных условий: при $\tau=0$, $F(\tau)=F_0$, $\Psi(\tau)=\Psi_0$, $\Phi(\tau)=\Phi_0$. В математической модели не дано влияние воздушного и теплового режимов здания в различные сезоны и время суток. В работе [150] приведены результаты исследований, в которых показана эффективность вентиляции при рассмотрении помещений на основе двухзонной математической модели. При анализе экспериментов выявлено, что схемы вентиляции, основанные на двухзонных моделях помещения эффективны. Анализ распространения примесей в воздухе на основе многозонного помещения с вентиляцией посвящены труды [148, 172, 249-251, 266, 267, 277, 278].

Перетекание воздуха между двумя смежными помещениями с анализом газового режима рассмотрено в работе В.П. Титова [302], однако тепловой режим не учитывался.

В.М. Эльтерман в своей работе [339] с учетом [357, 358] предложил формулу для определения максимальных приземных концентраций примеси в воздухе циркуляционной зоны за зданием от линейного и точечного источника:

$$c_m = k_1 m / (vH^2); c_m = k_2 m / (vH), \quad (1.33)$$

где m - валовый выброс на 1 м источника; k_1, k_2 - коэффициенты, приведенные в виде расчетных зависимостей.

В работе [339] дана формула для определения средней концентрации примеси в воздухе при ее попадании в межцеховое пространство:

$$c_{cp} = 14M / (L'X_m v), \quad (1.34)$$

где x_m – ширина межцехового пространства, м; L' - длина источника, м.

В работах В.В. Полякова и В.П. Титова циркуляционная зона за зданием рассматривается как замкнутый объем, где средняя концентрация примеси в воздухе равна:

$$c_{cp} = BML / (vH^3), \quad (1.35)$$

где B - экспериментальный коэффициент, зависящий от размеров здания, объема циркуляционной зоны и времени полупроветривания.

В.Т. Самсонов в своих исследованиях воспользовался нормальным законом распределения примеси в атмосфере. Деформацию воздушного потока у здания он учитывает с помощью обобщенного коэффициента диффузии. Анализ регенерации воздуха для повышения качества воздушной среды освещен в работах [151 - 161].

Давление ветра на здание важно учитывать для управления поступлением вредных примесей в приземный слой атмосферы [193-194].

Климатические характеристики, формирующие динамические режимы здания.

Роли климата в формировании микроклимата в помещениях зданий различного назначения, количественной оценке воздействия основных факторов климата - температуры, скорости ветра, осадков и солнечной радиации – на вертикальные поверхности различной ориентации для всей территории России посвящены следующие работы [75, 271-275].

Важно обеспечить комплексный учет климатических факторов. Тепловой режим помещения и здания зависит от тепла от солнечной радиации, поступающего на вертикальные и горизонтальные поверхности здания.

Направление и скорость ветра относятся к числу наиболее важных климатических факторов, влияние которых на инженерные сооружения различного назначения оказывается наиболее значительным. Не учет действия данных параметров климата ведет к несоответствию расчетного теплового и других режимов здания фактическому.

Важное значение имеет изменение скорости ветра по высоте при различных состояниях атмосферы, что важно для расчета распределения избыточного давления по высоте высотного здания на фасадах, для уточнения расчета краевой части ВРЗ. Для зданий высотой более 100 метров необходим учет роста скорости ветрового потока по высоте в связи с изменением процесса теплообмена на наружной поверхности ограждающих конструкций и влиянием на процессы инфильтрации и эксфильтрации.

Краевая часть, входит в состав воздушного режима здания. Если для малоэтажных зданий ветровое давление может считаться равномерно действующим на все здание по высоте, то для зданий высотой 100 м и более необходимо учитывать рост скорости ветра по высоте, которая совместно с гравитационным давлением участвует при расчете воздушно-теплого режима высотного здания [77].

Схема формирования баз данных для анализа действия влажностного режима здания как объекта автоматизированного проектирования показана на рисунке 1.5.

В СНиП [272] учитывается скорость ветра при расчетах воздухопроницания наружных ограждающих конструкций и их теплопотерь по средней скорости за самый холодный месяц введением соответствующих надбавок к основным теплопотерям здания в результате инфильтрации наружного воздуха, что недостаточно для высотного строительства на высоте 100 и более метров. В работе [75] предложены карты температуры и ветра разных территорий.

Вопрос об инсоляции вертикальных поверхностей в связи с его большой важностью для ряда практических задач нашел свое отражение во многих исследованиях. Значение количества потоков тепла на вертикальные и горизонтальные поверхности для различных широт, времени суток и различные периоды года даны в работе [75].

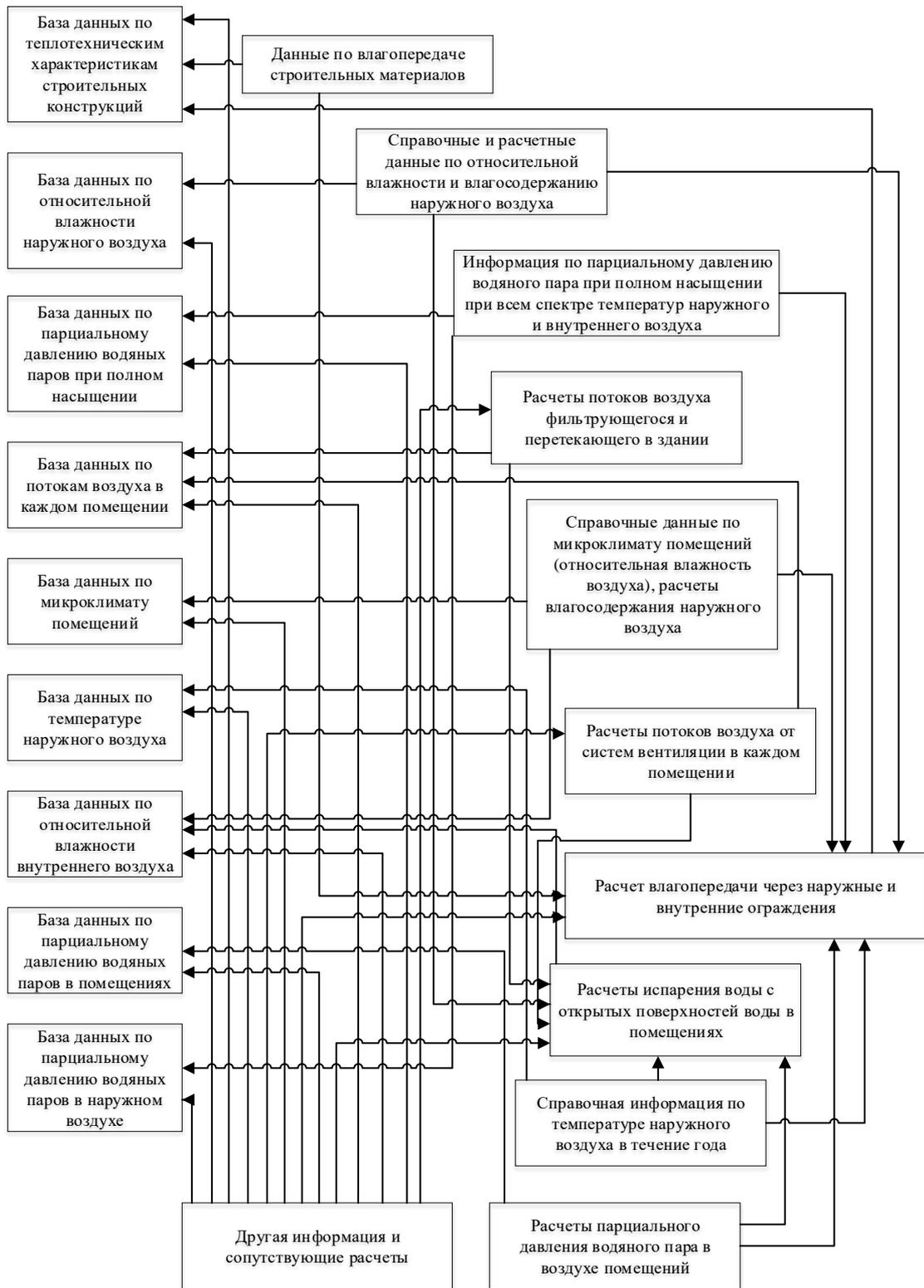


Рисунок 1.5 Схема формирования баз данных для анализа действия влажностного режима здания как объекта автоматизированного проектирования

Разница между температурами наружного и внутреннего воздуха формирует гравитационное давление, зависящее от высоты здания и вместе с ветровым давлением они определяют величины зон инфильтрации и эксфильтрации по высоте здания [150]. Необходимо учитывать изменение скорости ветра по высоте и его направление, а также нужен учет распределения аэродинамических коэффициентов по поверхности здания для расчета краевой задачи ВРЗ.

Климат местности очень важен для прогнозирования динамики рассматриваемых тепломассообменных и газового режимов помещений здания.

Анализ теории и практики информационного моделирования микроклимата зданий показал, что наращивается потенциал знаний в данной области, идет поиск новых решений по сочетанию различных методик на единой основе.

Были чертежи на бумаге с большей или меньшей информативностью, но все же относительно небольшой, теперь чертежи стали электронными, а их информативность постоянно растет. Синхронизация чертежей одного здания, выполненная различными проектировщиками, раньше требовала массы согласований и переделок, теперь это происходит в рамках программного продукта на единой основе. Для реализации и насыщения информационной модели здания существуют стандарты «National 3D-4D Program» и «National BIM Standart™ (NBIMS)» [66]. В развитие информационной модели здания внесли вклад зарубежные ученые: Роберт Эйш, Чарльз Истман, Knight D., Rosen S.L., Jernigan, Finish E и другие.

Информационная модель здания может представлять собой сведения о строительной оболочке и ее элементах, и всей инженерии здания, представленная в терминах, принятых для описания здания как объекта целевого управления [29-33, 364, 365], согласно которой строительный объект рассматривается как множество неделимых элементов, которые не пересекаются и имеют отношение к множеству состояний, из которых можно

выбрать необходимую область по отношению к множеству элементов и с учетом ограничений данные два вида множеств формализовать как информационную модель конкретной части строительного объекта для анализа его поведения в самый малый промежуток времени.

Согласно данным Jernigan и Finish E. [252] информационная модель здания основана на следующих принципах: коммуникация, интеграция, взаимодействие, знание, определенность, которые позволяют создавать информационные модели зданий, используемые при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий [107, 287].

При эксплуатации зданий часто необходимо проводить диагностику различных элементов и частей здания, что осуществляется в более удобном виде при объединении данных, полученных от различных измерительных приборов в единую цифровую модель здания [113]. При автоматическом управлении системами теплоснабжения общественного здания целесообразно снижать температуру внутреннего воздуха в помещениях в ночное время, а при моделировании теплопотребления такого здания с использованием программного продукта TRNSYS v.1.6 можно получить информацию об изменениях температуры в заданном режиме и получить данные по теплопотреблению с учетом экономических расчетов [141].

Математическое моделирование тепловых режимов помещений здания возможно осуществить на основе программ ANSYS, STAR CCM+ [59], на основе которых можно выполнять моделирование температурных и других режимов конструкций, систем, помещений и пр.

Анализ жизненного цикла здания [43] можно реализовать на основе сценарного проектирования по модели Форрестера и с применением BIM моделирования. В данном случае применяется параметрическая модель здания с параметрами, изменяющимися во времени для управления жизненным циклом изделия (PLM – Product Lifecycle Management) или с привязкой к зданию BLM – Building Lifecycle Management [22]. Информационное моделирование здания может быть соотнесено с интегрированным

проектированием на основе единых принципов понятных специалистам, проектирующим здание [98].

Существует концепция Open BIM, которую создают компании, присутствующие в альянсе building SMART, где разрабатывается стандарт по общим универсальным данным информационной модели здания (IFC – Industry Foundation Classes) [65].

В наше время проектом занимаются не одна организация, а множество организаций, управление которыми при проектировании здания — это сложная задача, решаемая с применением системы менеджмента качества, с использованием информационного моделирования здания и других программных продуктов на базе стандартов ISO 9001:2000 [133].

BIM моделирование на основе программного обеспечения SODIS Building позволяет формировать информационную модель объекта мониторинга и контролировать оборудование, системы и прочие элементы проектируемого здания, а также проводить контроль на стадии строительства [335].

Вести статистику элементов и частей здания в том числе инженерных систем можно на основе стандартов системы EAM (Enterprise Asset Management), что позволяет формировать планы ремонтов с заменой элементов и частей систем и оборудования. Соединение BIM и EAM позволяет вывести процесс эксплуатации здания на новый качественный уровень [328].

Одной из важных задач проектирования зданий – это снижение потребления энергии зданием, что можно осуществить на основе BIM и моделирования энергопотребления зданием. Сравнение программ по выполнению проектов и программ по энергетическому моделированию зданий показывает сложность организации их взаимодействия [334].

«Существуют технологии CALS (непрерывное приобретение и поддержка жизненного цикла) для интеграции автоматизированных систем в объединяющую многофункциональную систему» [44].

Среди затрат на здание от стадии проектирования до стадии сноса самыми затратными являются затраты на эксплуатацию здания, что определяет необходимость информационного моделирования здания для увеличения контроля над зданием в течение всего срока его эксплуатации [57].

Сложными вопросами в информационном моделировании зданий является наличие избыточности информации, повторяемость информации, потеря данных, некорректная стыковка данных, ошибки при передаче данных и их преобразовании [50].

При сопоставлении результатов ручного расчета и расчета с применением BIM технологий должно быть полное соответствие, и различий быть не должно, в противном случае теряется смысл такого проектирования. Требуется обучение специалистов и подготовка кадров для работы с программами по BIM моделированию.

Согласованность участников процесса BIM моделирования, ограничение количества работ и единство процесса моделирования являются факторами, которые определяют возможность выполнения информационной модели конкретного здания [284]. CAD-технологии при проектировании здания для формирования параметров микроклимата и качества воздуха в настоящее время не реализуются в виде единой программной технологии, а расчет динамики теплового, воздушного, влажностного и газового режимов здания при проектировании зданий не учитывается.

Максимальный учет всей информации об объекте при проектировании и эксплуатации приводит к развитию CAD-технологий. Первоначально уделялось внимание объекту проектирования, а не процессу проектирования. В последующем были разработаны CAD программы, позволяющие одновременно рассчитывать и проектировать, вычерчивая системы вентиляции и отопления.

1.2 Анализ проектных решений по формированию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды здания

Анализ проектных решений формирования и управления микроклиматом и качеством воздушной среды зданий показал, что современное физико-математическое моделирование изменений микроклимата и качества воздушной среды в помещениях зданий недостаточно проникло в область проектирования и управления системами обеспечения микроклимата и качества воздушной среды.

Формирование микроклимата и качества воздушной среды в помещениях здания на сегодняшний день проводится при проектировании тепловой защиты здания и инженерных систем при исполнении требований существующих нормативных документов, главными из которых являются: ГОСТ 30494 – 2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», СП 60.13330.2020 (СНиП «Отопление, вентиляция и кондиционирование») [178, 179, 206, 342, 354], СП 50.13330.2012 (СНиП «Тепловая защита здания») [94, 95], СП 131.13330.2012. (СНиП «Строительная климатология») и других.

Микроклимат и качество воздушной среды в здании защищены тепловой защитой здания и работой инженерных систем, формирующих микроклимат и состав воздушной среды, при регулировании работы, которых в зависимости от возмущающих воздействий наружного климата формируются требуемые параметры микроклимата и качества воздушной среды.

В соответствии с архитектурой и планировкой здания проводится конструирование системы отопления, ее гидравлический и тепловой расчет, подбирается оборудование для помещений и теплового пункта. Определяются воздухообмены для каждого помещения здания, проводится конструирование системы вентиляции, выполняется ее аэродинамический расчет, который завершается подбором вентиляционного оборудования для помещений и вентиляционных камер. Определяются избыточные потоки теплоты,

поступающие в помещения здания, что позволяет выполнить конструирование и расчеты системы кондиционирования воздуха, проводится подбор оборудования для помещений и здания для работы систем кондиционирования микроклимата [176] и качества воздушной среды. Проектирование инженерных систем здания связано с выполнением большого количества расчетов [176], что за последние 30 лет стало выполняться с применением программы EXEL, что значительно ускорило процесс проектирования и снизило количество ошибок при расчетах.

На сегодняшний день при проектировании зданий активно и повсеместно применяются системы САПР.

Наиболее активное применение за последние 20 лет получила программа AutoCAD, в которой реализована технология двух и трехмерного проектирования, а также вычерчивания всех инженерных систем здания со всеми частями и элементами. Применение данной программы позволило пройти путь от электронного кульмана до некоторых возможностей моделирования здания, редко используемых.

Архитекторами и конструкторами зданий чаще востребована программа ArchiCAD, применение которой позволяет проектировать архитектурно-планировочные решения и архитектурно-строительные конструкции здания, работая с виртуальным зданием, прорабатывая все его элементы, что в итоге упрощает получение проектной документации для реализации при строительстве здания.

За последние 15 лет в мире активно развиваются BIM (Building Information Modeling или Building Information Model) технологии, связанные с информационным моделированием здания, что определяется комплексным анализом в процессе проектирования всей архитектурной, конструкторской, технологической, энергетической, экономической и прочей информации о здании и его инженерных системах во взаимосвязи и взаимозависимости. Здание теперь рассматривается как единый объект, и проектируется как единое целое на основе трехмерной модели с информационной базой данных

по всем элементам здания. Такой подход имеет следующие преимущества: вместо графических объектов теперь имеет место информация, пригодная для использования проектировщиками всех специальностей и анализа решений для выбора наилучшего, информация доступна для всех проектировщиков и других специалистов на всех стадиях жизни здания.

Среди программ, реализующих BIM технологии в наше время, можно выделить программу Autodesk Revit, которая разработана для архитекторов, конструкторов, проектировщиков зданий, включая инженерные системы.

Существует подход проектирования инженерных систем здания на основе программы ANSYS, в которой на основе конечно-элементного анализа проводят расчеты линейных и не линейных стационарных и нестационарных инженерных задач при проектировании зданий. Для инженеров, проектирующих здание использование данной программы затруднительно.

Немецкими специалистами фирмы «Немечек» разработана программа Allklima, которая позволяет проектировать систему вентиляции. Данный подход близок к работе с программой AutoCAD, но встроенные расчетные модули инженерных систем позволяют совместить вычерчивание инженерных систем с их расчетом. Часто конструирование инженерных систем, формирующих микроклимат, является очень сложной задачей, и проектировщик не может сразу контролировать расчет этих систем.

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.

1.3 Анализ современного состояния и перспектив комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды здания

Анализ современного состояния и перспектив процессов и результатов вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды показал, что существующие знания не имеют единой основы для создания концепции прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды на всем периоде жизненного цикла здания.

Для вариативного и комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования качества воздушной среды в воздухе на территории, где расположено здание, на сегодняшний день применяется программа «Эколог» разработанная при участии ГГО им. Воейкова А.И. для расчета рассеивания вредных примесей в приземном слое атмосферы, где распределение примеси в воздухе зависит от мощности источника, высоты и коэффициента турбулентной диффузии, что основано на статистической теории (Гауссова теория) рассеивания вредных примесей.

Допущение статистической теории:

1. Везде имеет место распределение концентраций вредных примесей по теории Гаусса.
2. Для расчета применяется средняя скорость ветра.
3. Мощность источника вредных примесей здесь постоянная во времени.
4. Нет взаимодействия струи и поверхности земли.

Данная программа позволяет проводить расчеты концентрации примеси в воздухе приземного слоя атмосферы на территории промышленного предприятия от различных типов источников вредных выделений: точечных, площадных, линейных. В проектной практике данная программа связана с промышленной вентиляцией, где вентиляционные системы удаляют из промышленных помещений загрязненный воздух,

формируя точечные источники вредных примесей [7, 9, 14, 15, 34, 41, 42, 40, 41, 58, 61, 62, 63, 64, 69, 83, 84, 87, 101, 120, 132, 134, 135, 138, 191]. Формирование итоговой концентрации примеси в воздухе происходит при комплексном учете всех источников и комбинировании их работы для анализа работы оборудования по очистке вытяжного вентиляционного воздуха при контроле за величиной концентрации примесей в атмосферном воздухе в сравнении с величиной ПДК. При этом данная программа не связана с проектными решениями по инженерным системам, формирующим микроклимат и концентрации примеси в воздухе здания. Программа активно используется для прогнозирования и анализа экологического состояния приземного слоя атмосферы на территориях промышленных предприятий и окружающих данные предприятия участках местности городов и населенных пунктов.

Существует подход проектирования инженерных систем здания на основе программы ANSYS, в которой на основе численного моделирования и конечно-элементного анализа проводят расчеты линейных и не линейных стационарных и нестационарных инженерных задач при проектировании зданий. Взаимосвязь программы ANSYS при численном моделировании с другими пакетами программ, в частности с CAD-системами NX, Autodesk Inventor и другими позволяет решать задачи по прогнозированию параметров микроклимата в помещениях здания.

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

1.4 Выводы по главе 1

1. 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 параметров микроклимата и концентраций примесей в воздухе, 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.

Воздушный режим здания рассматривается, как состоящий из трех частей, что позволяет разделить расчетные технологии по отдельным вопросам функционирования воздушного режима здания для формирования необходимых баз данных для реализации математической модели воздушного режима здания.

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

2. Анализ проектных решений формирования и управления микроклиматом и качеством воздушной среды зданий, показал, что рассмотрение совместного влияния динамических тепломассообменных (воздушного, теплового) и газового режимов в помещениях и в здании при инженерных расчетах 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 изменчивости климата и режимов эксплуатации инженерных систем.

3. 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 теплообменных и газового режимов здания позволит оптимизировать энергопотребление зданием за весь его жизненный цикл.

Существует подход по проектированию инженерных систем здания на основе программы ANSYS, в которой на основе численного моделирования и конечно-элементного анализа проводят расчеты линейных и не линейных стационарных и нестационарных инженерных задач при проектировании зданий. Взаимосвязь программы ANSYS при численном моделировании с другими пакетами программ, в частности с САД-системами NX, Autodesk Inventor и другими позволяет решать задачи по прогнозированию параметров микроклимата в помещениях здания.

Других активно используемых программ для прогнозирования и анализа параметров микроклимата и концентрации примесей в помещениях здания при комплексном и вариативном моделировании не имеется.

Глава 2 Научные основы формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания

2.1 Теория формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания

Теория формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания - это создание проектного решения и последующий его анализ на основе моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе 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 при совместной и комплексной работе инженерных систем, и далее процесс формирования и анализа проектных решений продолжается до получения необходимого проектного решения.

На основе прогноза переменных во времени параметров воздушного, теплового и газового режимов здания при совместной и комплексной работе инженерных систем предлагается формировать и управлять микроклиматом и качеством воздушной среды, а при анализе результатов прогноза формировать новые проектные решения инженерных систем, которые могут дать требуемые параметры микроклимата и качество воздушной среды в помещениях здания.

На структурной схеме (рисунок 2.1) представлен порядок создания и управления микроклиматом и составом воздушной среды инженерными системами в здании.

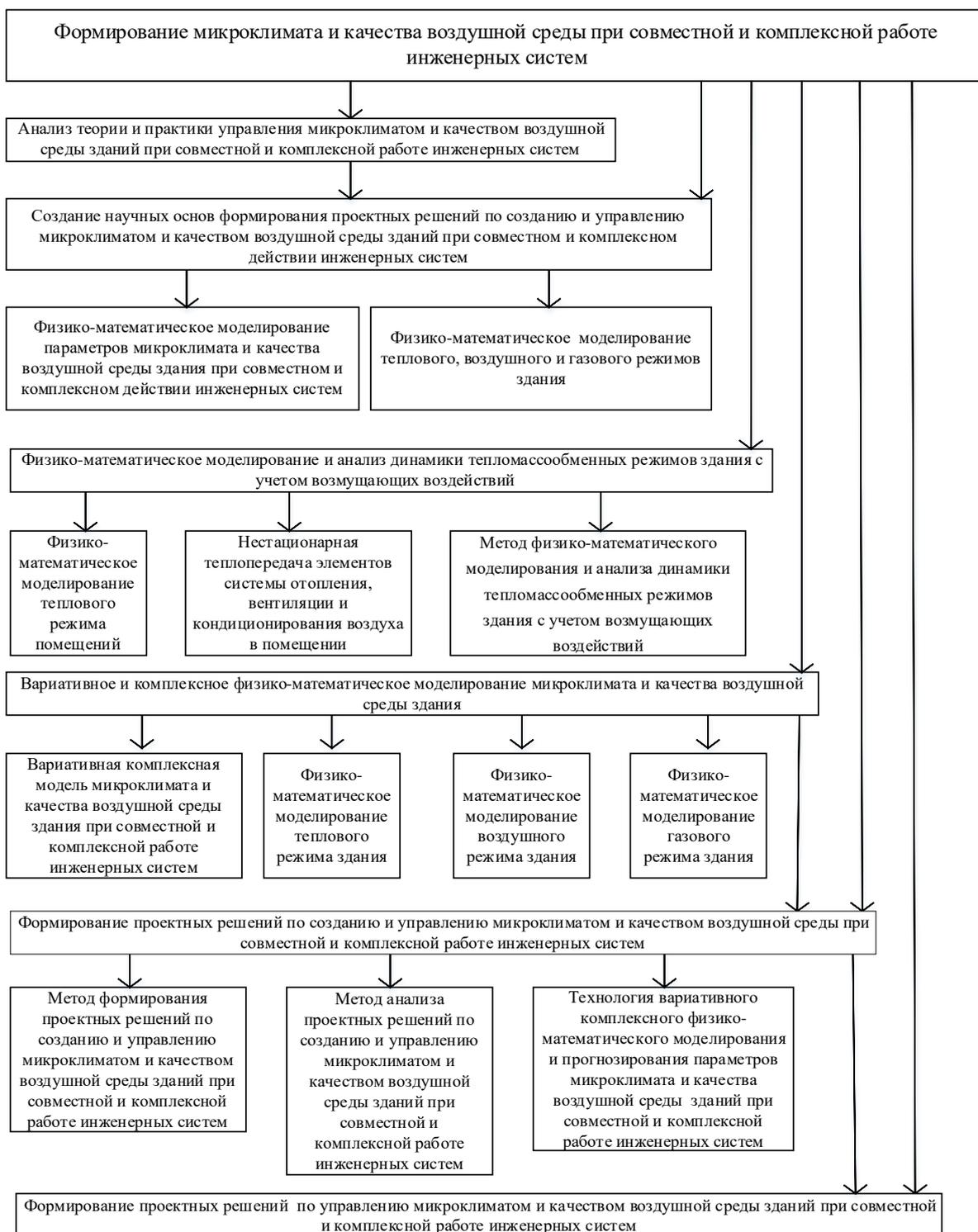


Рисунок 2.1 Структурная схема формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем

На основе исходной информации для проектирования инженерных систем, формирующих управление микроклиматом и качеством воздушной среды здания, формируется проектное решение.

Проводится анализ параметров микроклимата и качества воздушной среды на соответствие нормативным требованиям. И если параметры микроклимата и концентрация примеси в воздухе соответствуют нормам, то созданное первоначально проектное решение принимается к исполнению. В случае несоответствия параметров микроклимата и концентрации примесей действующим нормам, проводится формирование нового проектного решения, результат работы которого анализируется.

При эксплуатации построенного здания проводится анализ параметров микроклимата и концентрации примеси в воздухе помещений здания и производится формирование управляющего решения для корректировки потоков теплоты для работы систем отопления в холодный период года, а также воздушных потоков с нагретым или охлажденным воздухом для работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха в холодный, переходный и теплый периоды года.

2.2 Комплексное физико-математическое моделирование параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания

Комплексное физико-математическое моделирование параметров микроклимата и качества воздушной среды здания заключается в совместном и взаимозависимом расчете изменения во времени тепломассообменных и газового режимов, формирующих микроклимат и качественный состав воздушной среды в помещениях при совместной и комплексной работе инженерных систем.

Параметры микроклимата в помещениях и концентрация примесей в воздушной среде формируются при действии тепломассообменных и

газообменных процессов, определяющих взаимосвязанную и взаимозависимую работу воздушного, теплового и газового режимов здания [148, 172, 346, 347] с учётом совместного и комплексного действия инженерных систем. Инженеры проектирующие инженерные системы здания формируют микроклимат и качество воздушной среды в помещениях варьируя работой разных вариаций инженерных систем их элементов, настраивая микроклимат и качество воздушной среды на весь период жизни здания, учитывая переменчивость наружного климата и качество наружного воздуха, создают возможности корректировки работы инженерных систем.

Схема функционирования единой технологической системы обеспечения параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем здания показана на рисунке 2.2.

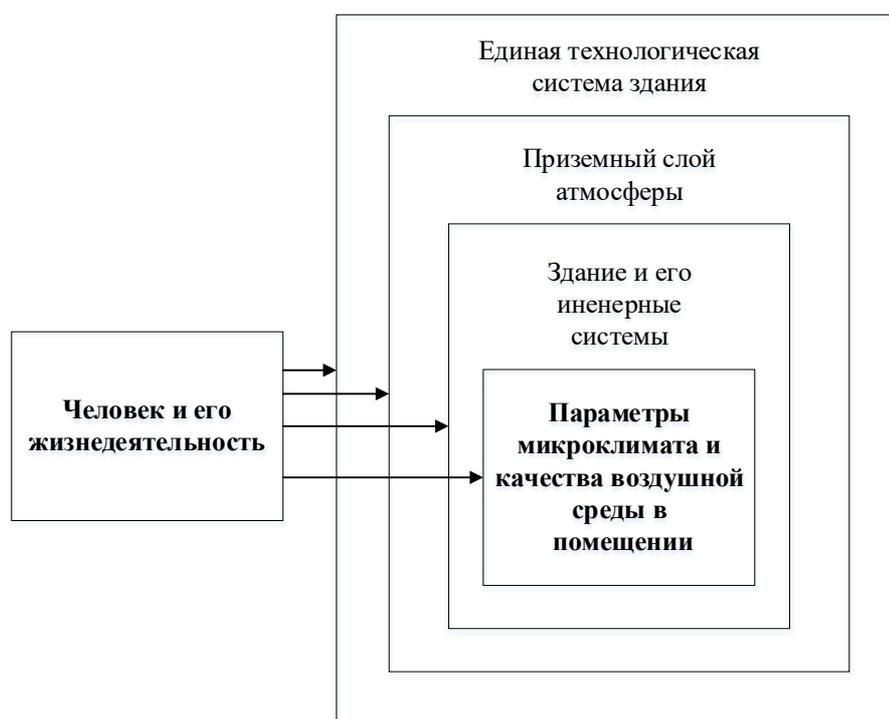


Рисунок 2.2. Схема единой технологической системы обеспечения параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем здания

Общие параметры для всех рассматриваемых динамических тепломассообменных и газового режимов здания дают возможность провести

объединение данных режимов [148, 172, 213, 214, 229] при совместной и комплексной работе инженерных систем в единую технологическую систему.

Вредные примеси, попадая в воздух помещений вместе с воздухообменом, образуют концентрации вредных примесей в воздухе помещений - газовый режим здания (ГРЗ), значения концентраций вредных примесей зависят от воздуха (ВРЗ) и теплового режима здания (ТРЗ), что учитывается в расчетах.

Начиная с 1989 г. «автор данной работы разрабатывает методологические основы новой технологии проектирования и эксплуатации систем обеспечения микроклимата и качества воздуха с возможностью прогнозирования, на основе комплексного моделирования динамического теплообмена по воздуху и теплоте и изучает газовые режимы здания при совместной и комплексной работе инженерных систем на основе единой технологической системы обеспечения микроклимата и качества воздуха» [176].

«Физико-математическое моделирование воздушных, тепловых и газовых режимов здания осуществляется на основе технологии, объединяющей математические модели воздуха, теплогазовые режимы на единой методологической основе для комплексного прогнозирования параметров микроклимата и качества воздуха при совместной и комплексной эксплуатации инженерных систем в помещениях здания» [176] и обеспечения возможности гибкости при управлении инженерными системами. Для контроля при создании требуемых параметров микроклимата и качества воздушной среды в помещениях рассматриваемые теплообменные и газовый режимы здания совместно с работой инженерных систем объединены в комплексную технологическую систему (рисунок 2.3). Воздух, перемещающийся в здание, по зданию и уходящий из здания, переносит с собой примеси, водяные пары и теплоту.

Ограждающие конструкции и инженерные системы здания формируют потребление тепловой энергии в здании.

Необходимые физико-математические модели для прогнозирования параметров микроклимата следующие: физико-математическая модель температурного режима в ограждающих конструкциях; физико-математическая модель переноса теплоты в системе отопления; физико-математическая модель переноса теплоты в системе вентиляции; физико-математическая модель переноса теплоты в системе кондиционирования воздуха; физико-математическая модель воздушного режима помещения (здания), физико-математическая модель теплового режима помещения (здания); физико-математическая модель тепло-воздушного режима помещения (здания); физико-математическая модель газового режима помещения (здания), физико-математическая модель всех указанных тепломассообменных и газового режимов для помещения (здания). При этом помещение может рассматриваться с осреднением параметров микроклимата по объему (однозонная модель) и с распределёнными параметрами микроклимата в объеме помещения (многозонная модель).

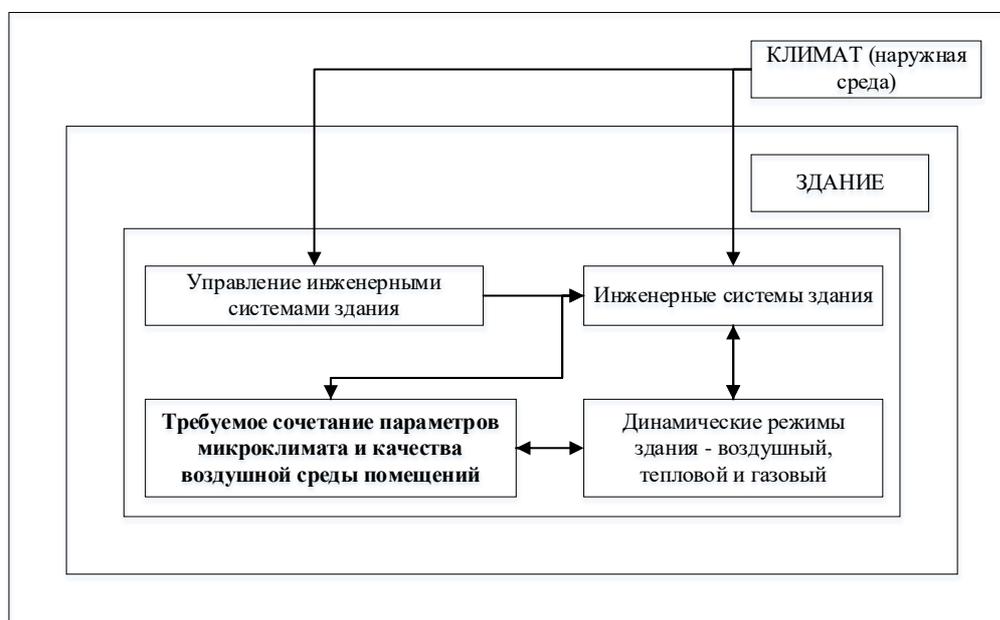


Рисунок 2.3. Схема объединения тепломассообменных и газового режимов здания в комплексную технологическую систему обеспечения параметров микроклимата и качества воздушной среды

При прогнозировании тепломассообменных и газового режимов здания могут решаться ряд задач, в частности, снижение капитальных и эксплуатационных расходов; оценка влияния на микроклимат пиковых и годовых расходов тепловой энергии и др.

Взаимно влияют на друг друга следующие динамические режимы: воздушный на тепловой, тепловой на воздушный, воздушный на газовый. В качестве допущения другие влияния на динамические режимы не рассматриваются.

Чтобы провести расчеты и анализ ВРЗ, ТРЗ и ГРЗ необходимо получить от архитекторов и конструкторов здания информацию по ориентации здания на генплане, геометрию всего здания по каждому этажу, состав наружных и внутренних стен, полов, перекрытий и покрытия, информацию об окнах и дверях [304, 321, 329, 336, 344, 345]. Назначение и порядок работы помещений определяют технологи, и от них необходимо получить информацию о порядке работы каждого помещения и технологического оборудования, размещенного в них, о требованиях к системам отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, о работе источников вредных примесей.

Информация по климату местности связана с температурой воздуха, скоростью ветра, потоками солнечной радиации.

При изучении модели здания в аэродинамической трубе могут быть получены аэродинамические коэффициенты наружной поверхности здания.

Алгоритм физико-математического моделирования газового, воздушного и теплового режимов здания показана на рисунке 2.4.

Комплексность метода по расчету распределения вредных примесей заключается в расчете газового режима здания при одновременном действии воздушного и теплового режимов.

В момент начала работы источника вредных выделений создается конкретная характерная для этого времени суток и года ситуация с тепловым и воздушным режимами в помещениях здания. После расчета воздушно-теплового режима здания, который моделируется в течение 10 суток для

формирования квазистационарного состояния параметров микроклимата, на 11 сутки начинается расчет газового режима и расчет продолжается в период работы источника и после прекращения его действия.

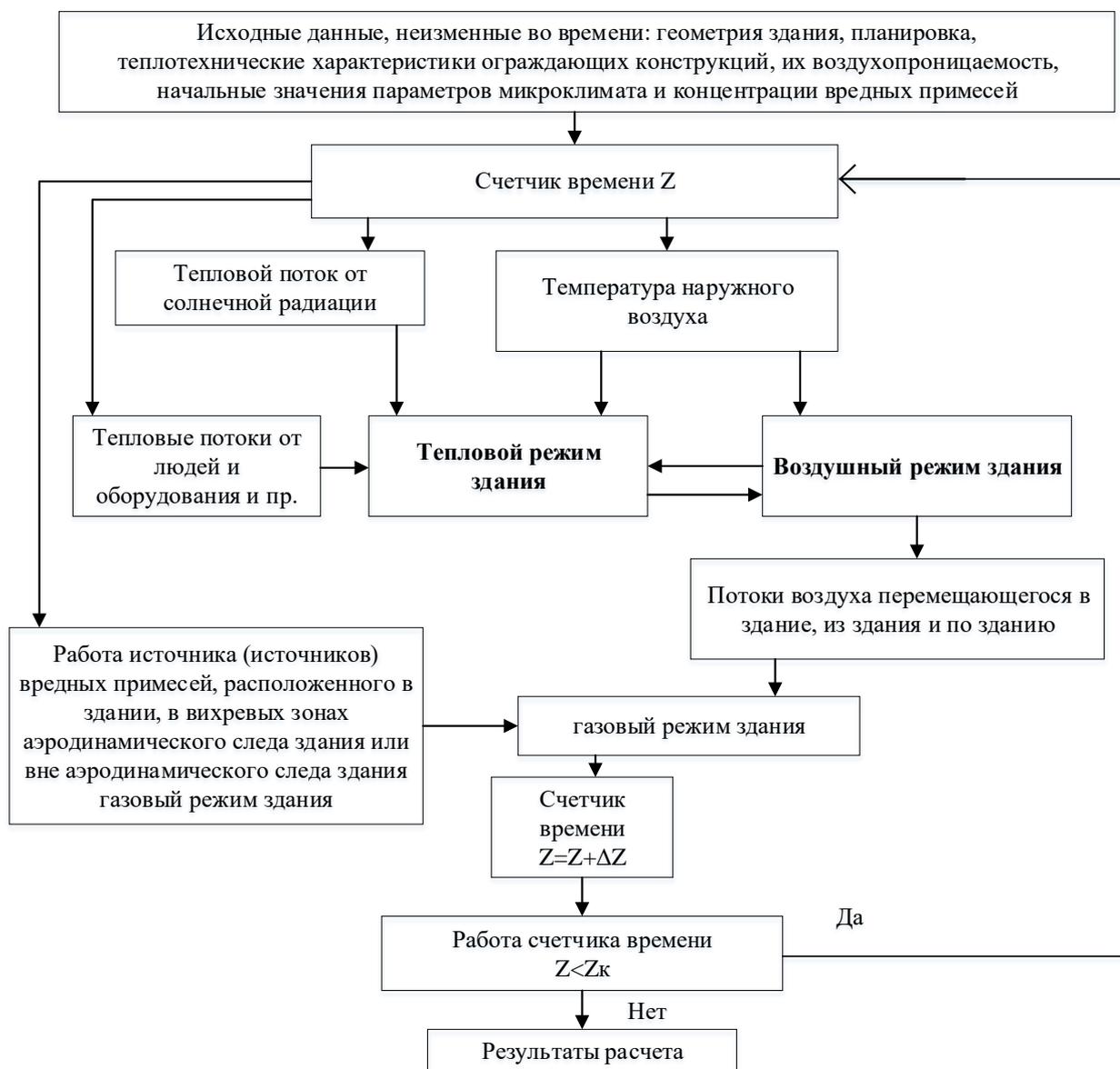


Рисунок 2.4. Алгоритм физико-математического моделирования газового, воздушного и теплового режимов здания, где Z_k – время окончания расчета

Комплексность математической модели параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем в здании формируется за счет совместного расчета переменных во времени балансов потоков воздуха, теплоты и газовых

примесей в воздухе здания в требуемом интервале от суточного до многолетнего.

«Если проанализировать формулы расчета теплового режима помещений здания, то можно увидеть, что входящая в них температура наружного воздуха в действительности является переменным значением с течением времени, и, следовательно, тепловой режим помещений в течение всего года также является переменным. Кроме того, тепловые потоки, перемещаемые в системе отопления в холодное время года, также носят переменный характер» [180]. «Существующая статистика климатической динамики на территории, где расположено здание, известная по нормативным документам, усредненным за определенный период времени, а также по существующим базам данных. Однако мы не знаем конкретных значений будущей температуры наружного воздуха. Изменения температуры наружного воздуха близки к гармоническому изменению, которое математически описывается тригонометрическими функциями \sin или \cos , которые могут использоваться как функции для прогнозирования изменений температуры наружного воздуха, например,» [180]:

$$t_n = t_{cp} - A_t \times \sin\left(\frac{2 \times \pi}{T} \times (\tau + \Delta\tau)\right), \quad (2.1)$$

где « t_n – температура наружного воздуха, °С, t_{cp} – средняя температура, при которой производится исследование, °С, A_t – амплитуда изменения температуры, °С, T – период времени за который производится исследование, час, τ – текущее время, час, $\Delta\tau$ – смещение во времени минимумов или максимумов, час» [180].

«Как известно температура наружного воздуха изменяется в течение года от минимума в январе, до максимума в июле. Если проанализировать формулу (2.1) для годового изменения температуры для климата московского региона, то начало отопительного сезона около $t_{cp}=+8^\circ\text{C}$, амплитуда изменения температуры около $A_t = 30^\circ\text{C}$, период времени примем равным 1 году $T=8760$

часов [180], а результаты расчетов изменения температуры наружного воздуха в течение года показаны на рисунке 2.5» [180].

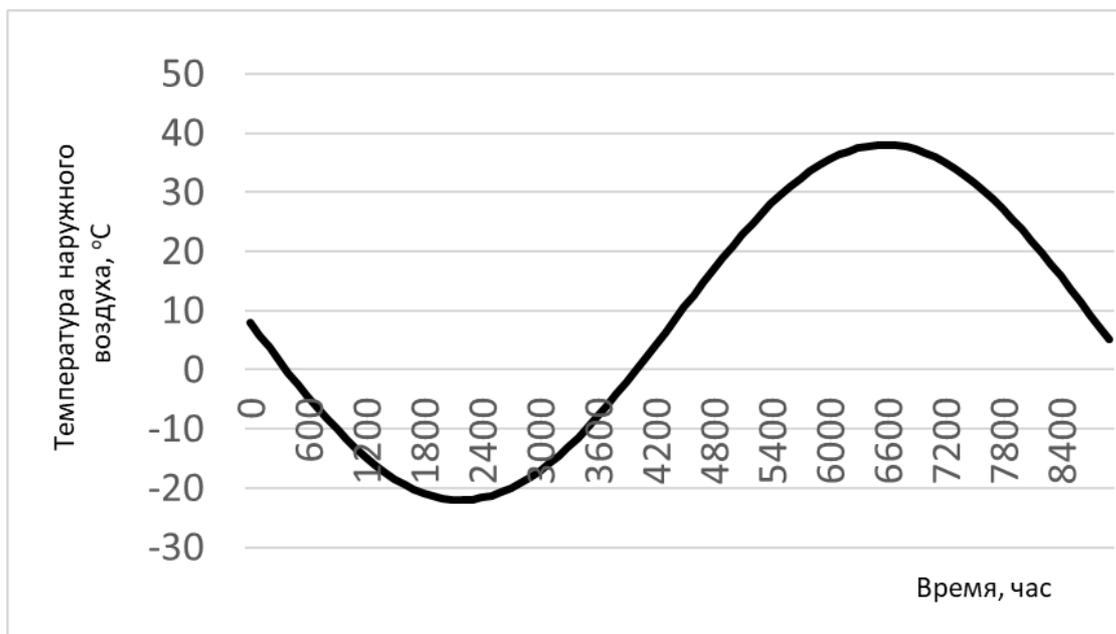


Рисунок 2.5 Изменение температуры наружного воздуха в течение года для условий московского региона

«Другой аспект изменения температуры наружного воздуха – это суточное изменение температуры, так как днем теплее, а ночью холоднее. Проведены расчеты по формуле (2.1) для получения данных по изменению температуры наружного воздуха в период 5 суток при следующих исходных данных: средняя температура $t_{cp} = -20$ °C и амплитуда $A_t = 6$ °C. Результаты расчета изменения температуры наружного воздуха в течение 4 суток показаны на рисунке 2.6» [180].

«Анализ температуры наружного воздуха для условий города Москвы за 2013-2017 годы (по данным сайта Гисметео) показал, что характер изменений температуры очень близок к гармоническому. На рисунках 2.7 и 2.8 показано как менялась температура наружного воздуха в городе Москве в дневное и ночное время соответственно за период в течение 5 лет. На рисунке 2.9 показано изменение температуры наружного воздуха средней за сутки за 5 лет. Разница между минимальной температурой ночью и максимальной днем рассматривается как амплитуда изменения температуры за сутки. На рисунке

2.10 показано как изменялась амплитуда температуры между ночным и дневным пиками за 5 лет в городе Москве. На основе анализа данных на рисунке 2.10 видно, что средняя амплитуда равна 8,14 °С, минимальная равна 0 °С, а максимальная равна 17 °С за рассматриваемый период времени» [180].

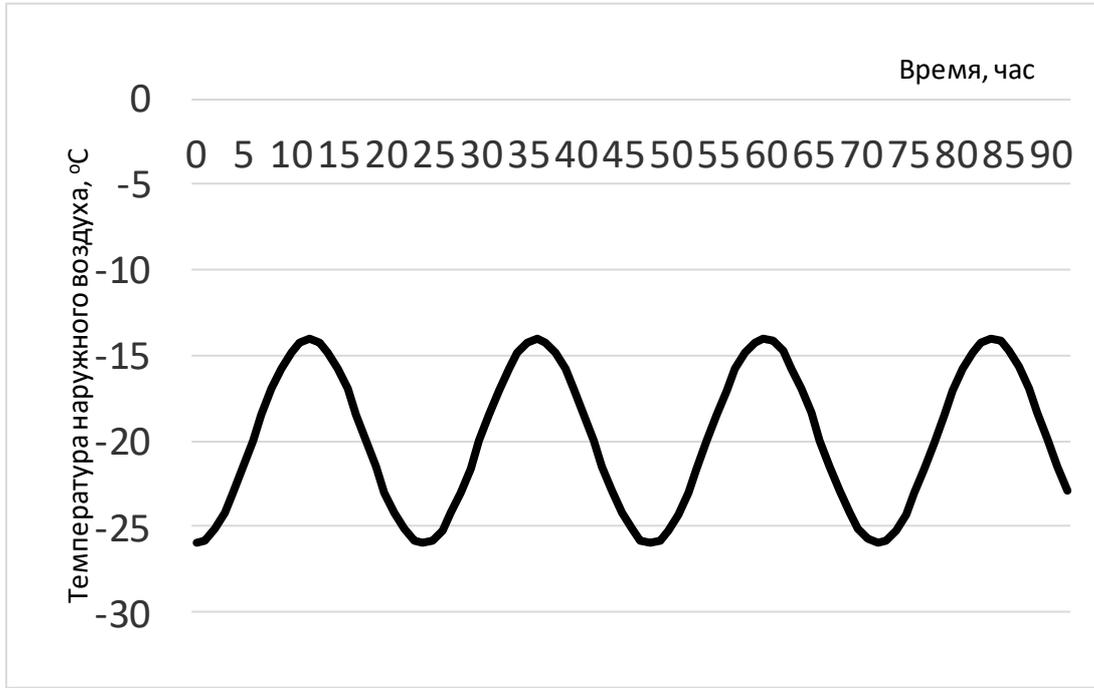


Рис. 2.6 Изменение температуры наружного воздуха в течение суток в холодный период года

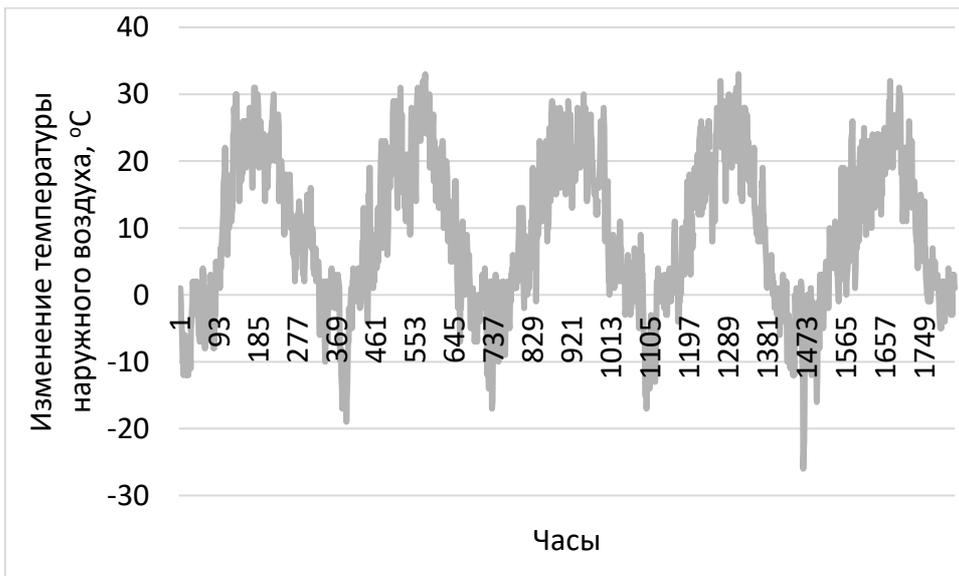


Рис. 2.7 Изменение температуры наружного воздуха за 5 лет в дневное время

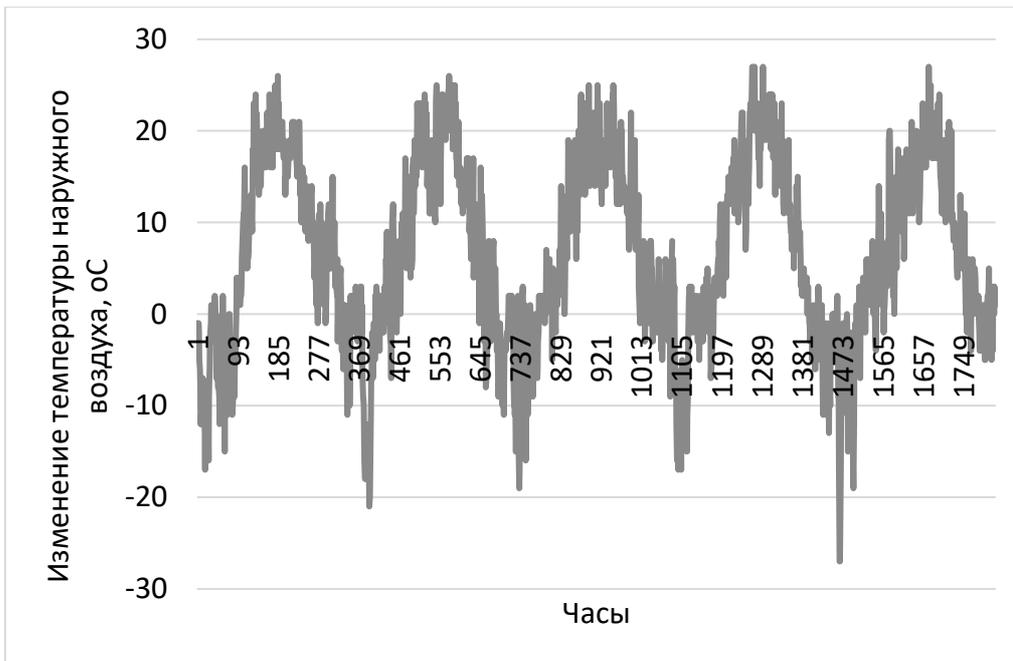


Рис. 2.8 Изменение температуры наружного воздуха за 5 лет в ночное время

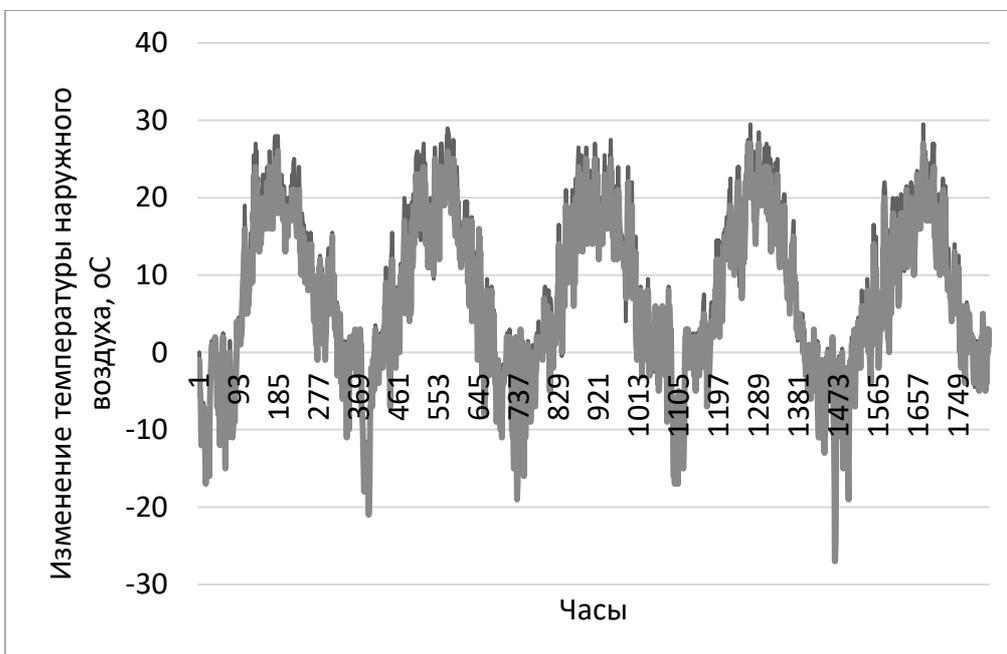


Рис. 2.9 Колебания в суточном режиме температуры наружного воздуха за период 5 лет

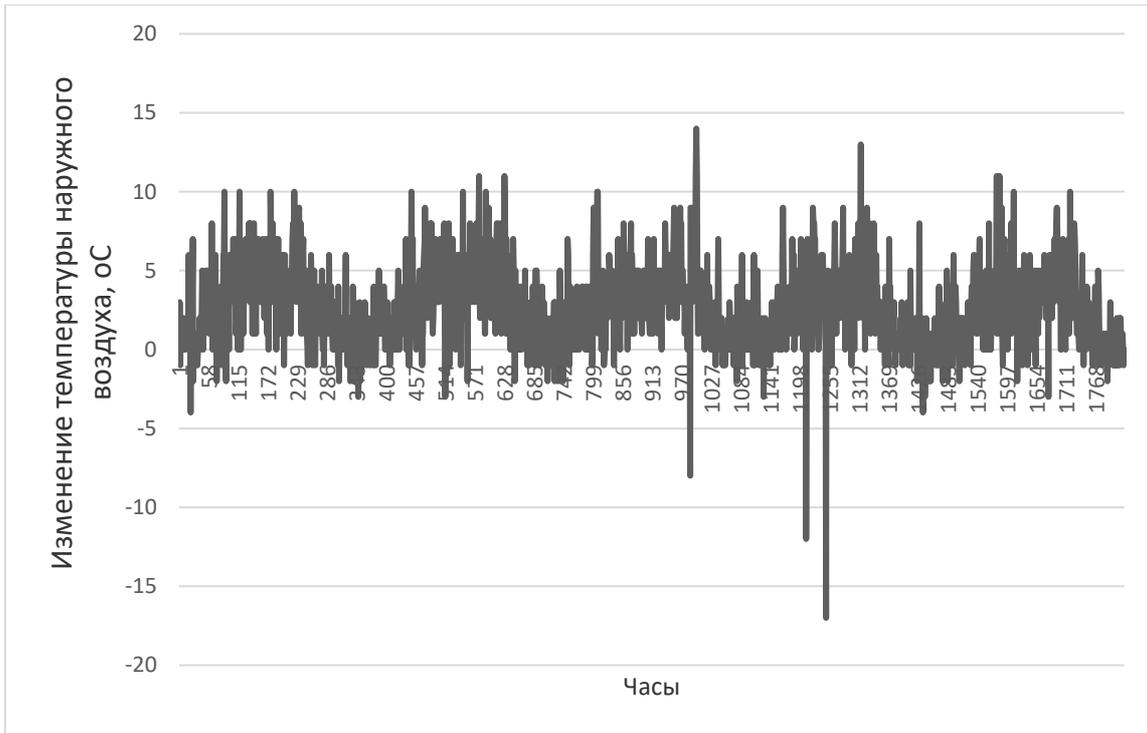


Рис. 2.10 Изменение амплитуды температуры между ночным и дневным пиками температуры наружного воздуха за 5 лет

Анализ гармонических функций показал, что подходит тригонометрическая функция. Уточненная формула (2.1) со сдвигом на 80 суток формирует близкую к реальности картину изменения температуры наружного воздуха во времени в течение ряда лет. Однако величина средней температуры может быть уточнена на основе анализа изменения реальной температуры воздуха, а также может быть уточнена амплитуда колебаний температуры воздуха в годовом или суточном разрезе времени за конкретный период времени.

$$t_n = 8 - 30 \times \sin \left(\frac{2 \times \pi}{8760} \times (\tau + 80 \times 24) \right), \quad (2.2)$$

На рисунке 2.11 показан набор гармонических функций с разной амплитудой 10, 20 и 30 °С, которые могут быть пригодны для поиска необходимой функции для конкретного периода времени.

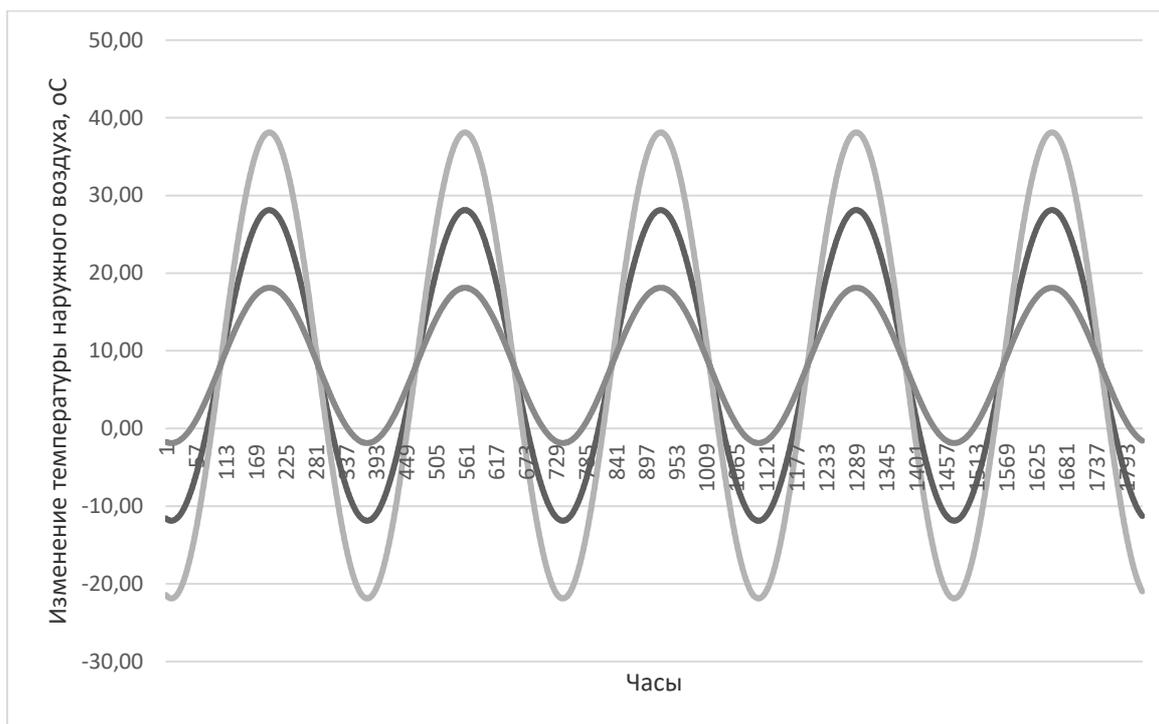


Рис. 2.11 Гармонические функции по изменению температуры за годы с разными амплитудами.

На рисунках 2.12-2.15 показано совмещение дневной, ночной и среднесуточной температуры с гармонической функцией со средней температурой 8 °С и амплитудой 30 °С. По дневным температурам гармоническая кривая ближе к реальному изменению температуры, а по ночным температурам гармоническая кривая имеет завышенное значение в минимумах и максимумах. Сам ход изменения температуры по гармоническому закону практически идеально совпадает с годовым изменением температуры. Средняя разница между фактической среднесуточной температурой и расчетной по гармоническому закону составляет 0,05 °С.



Рис. 2.12 Совмещение расчетной и фактической температуры в дневное время

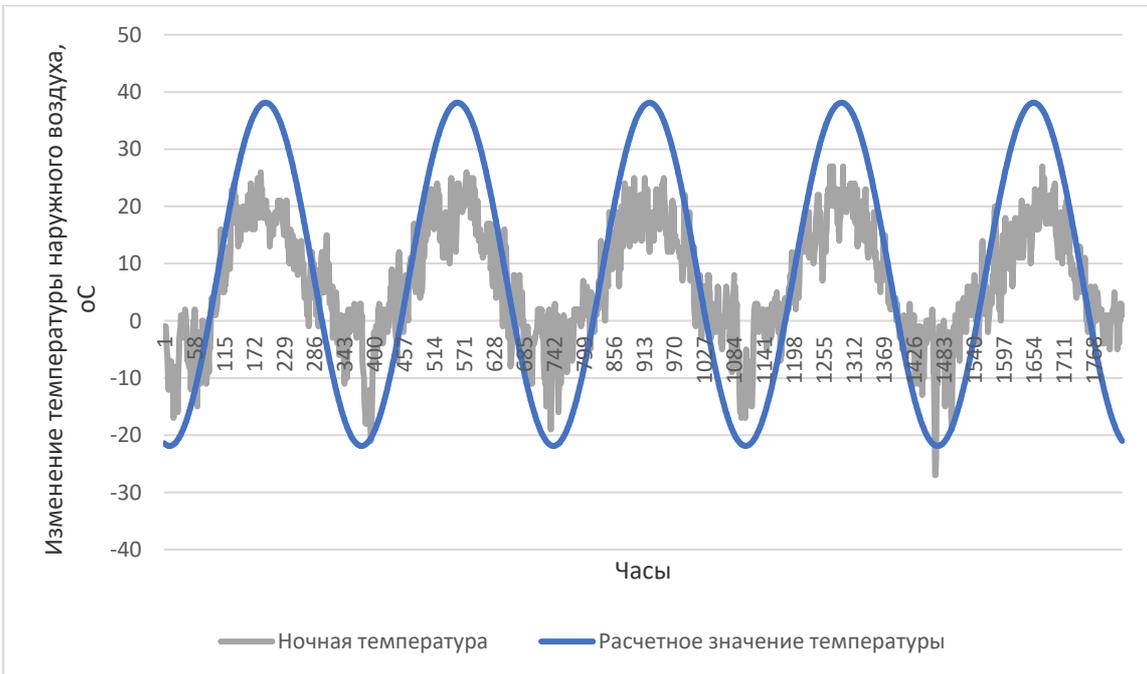


Рис. 2.13 Совмещение расчетной и фактической температуры в ночное время



Рис. 2.14 Совмещение расчетной и фактической среднесуточной температуры

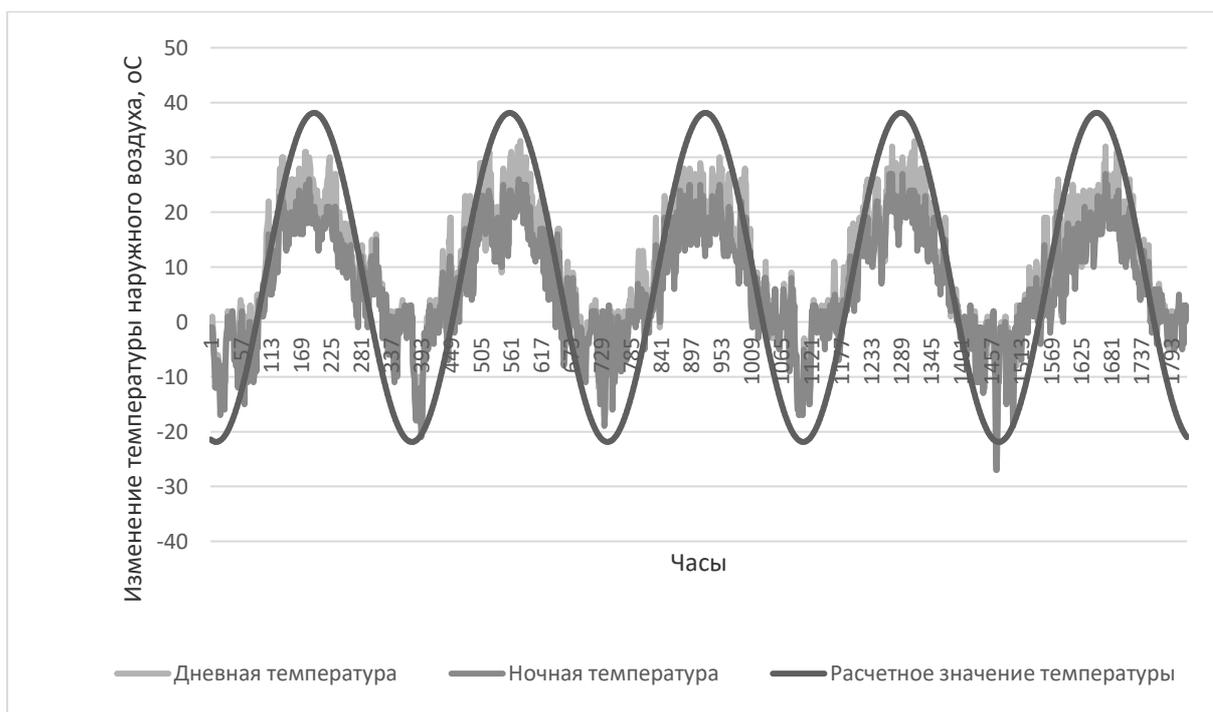


Рис. 2.15 Совмещение расчетной и фактической температуры в дневное и ночное время

При использовании амплитуды изменения температуры равной 20 °С, получаем графики совмещения фактических и расчётной температуры с

лучшим схождением, при котором средняя разница температуры составляет 0,03 °С. На рисунках 2.16-2.19 показано совмещение графиков расчетной и фактической температуры.

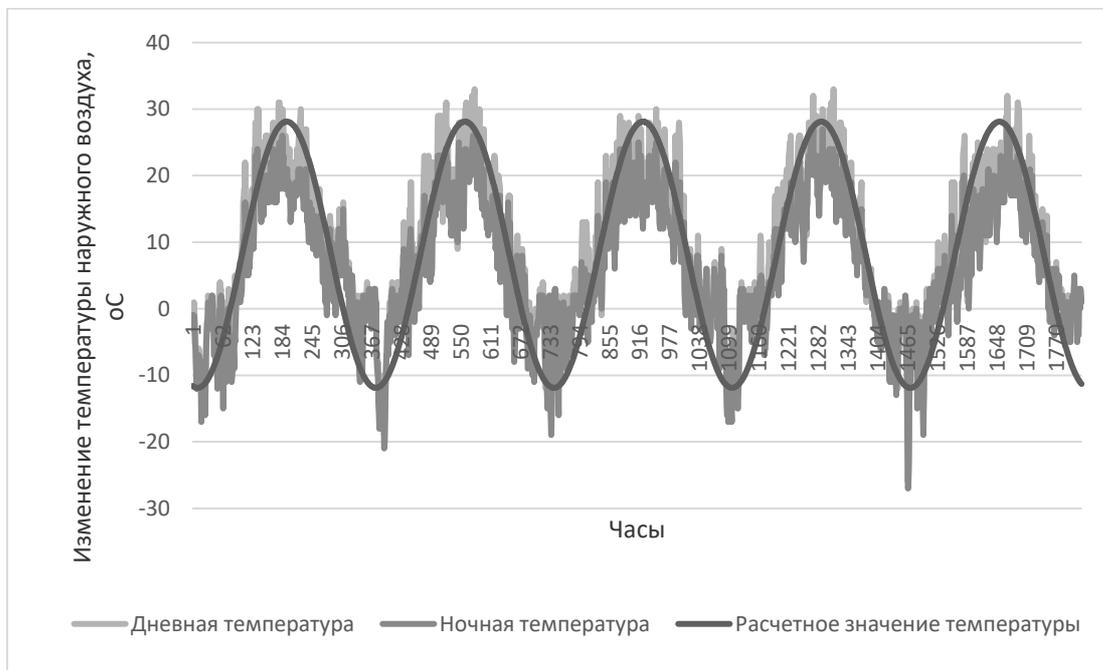


Рис. 2.16 Совмещение расчетной и фактической температуры в дневное и ночное время

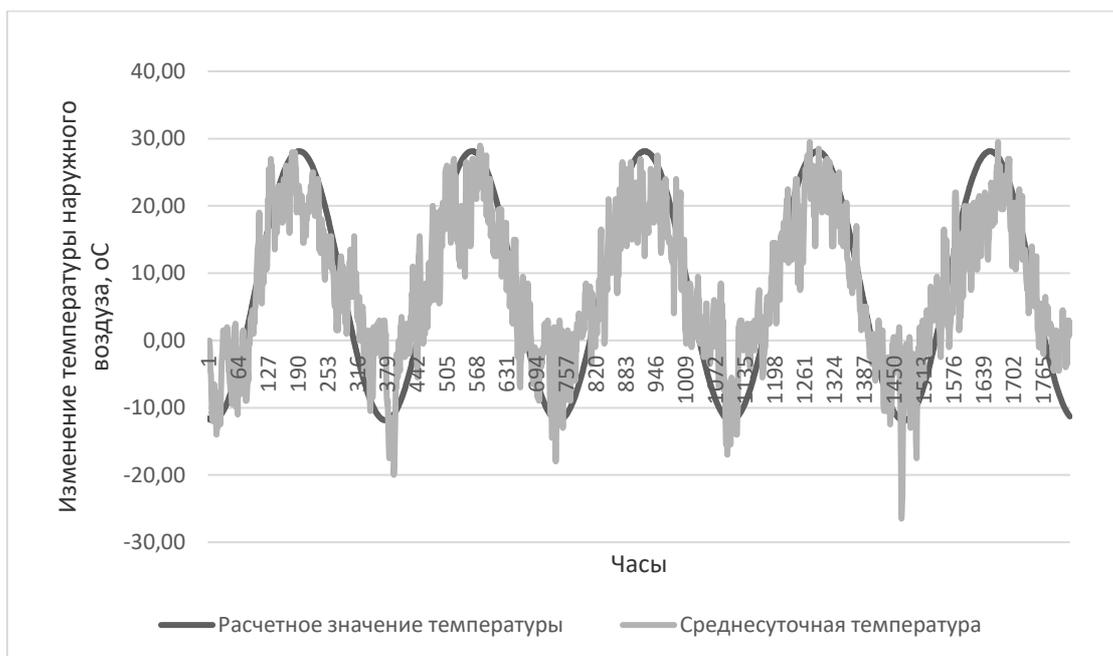


Рис. 2.17 Совмещение расчетной и фактической среднесуточной температуры

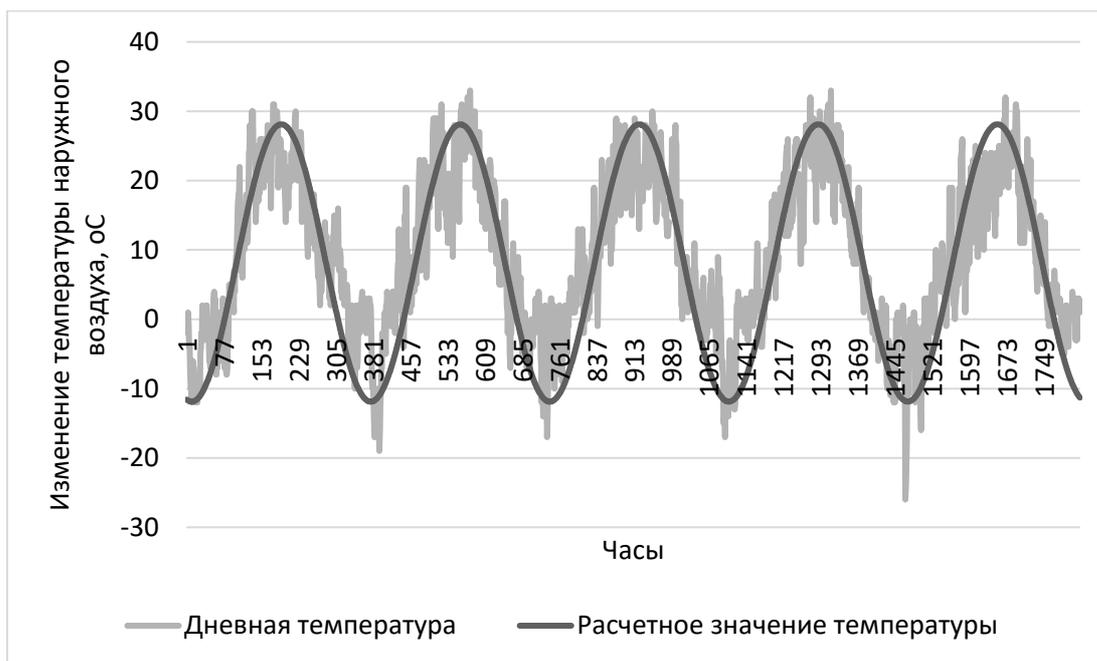


Рис. 2.18 Совмещение расчетной и фактической температуры в дневное время



Рис. 2.19 Совмещение расчетной и фактической температуры в ночное время

На рисунке 2.20 показано совмещение среднесуточной температуры наружного воздуха с расчётными значениями температуры, изменяющейся по гармоническому закону с разными амплитудами 30 °С, 20 °С и 10 °С.

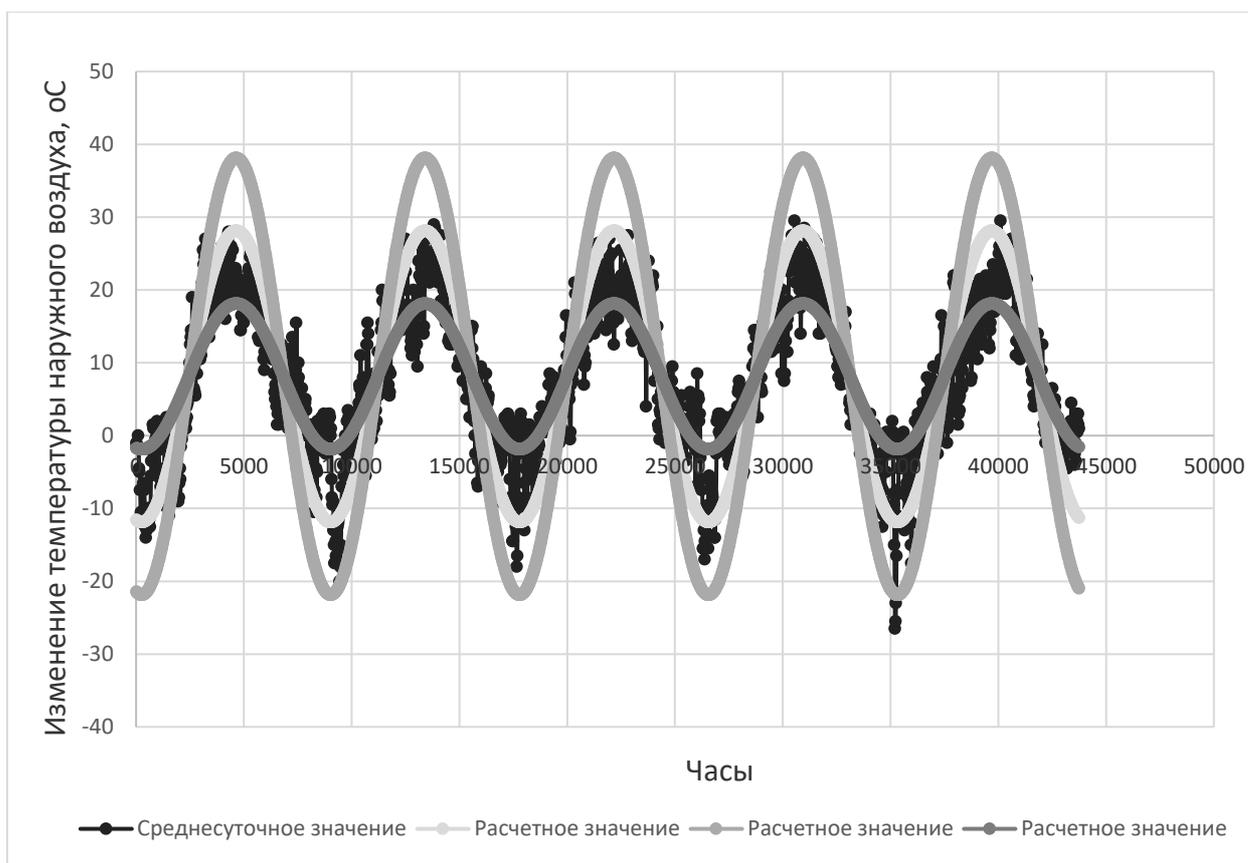


Рис. 2.20 Совмещение расчетной с разными амплитудами и фактической среднесуточной температуры за 5 лет

Из рисунка 2.20 видно, что фактическая среднесуточная температура наружного воздуха хорошо сходится с гармоническим изменением температуры, а точность схождения связана с нахождением необходимой амплитуды.

На рис. 2.21 показано как изменялась среднесуточная температура наружного воздуха за 2013 год, здесь видно хорошее схождение с расчетной температурой с амплитудой 10°С.

Колебание температуры в течение суток так же может быть описано гармоническим законом, однако в данном случае имеет место больший диапазон амплитуд, который находится между 0 и 17 °С, что трудно описать одной функцией и удобней для прогнозирования воспользоваться массивом, состоящим из множества конкретных значений температуры.

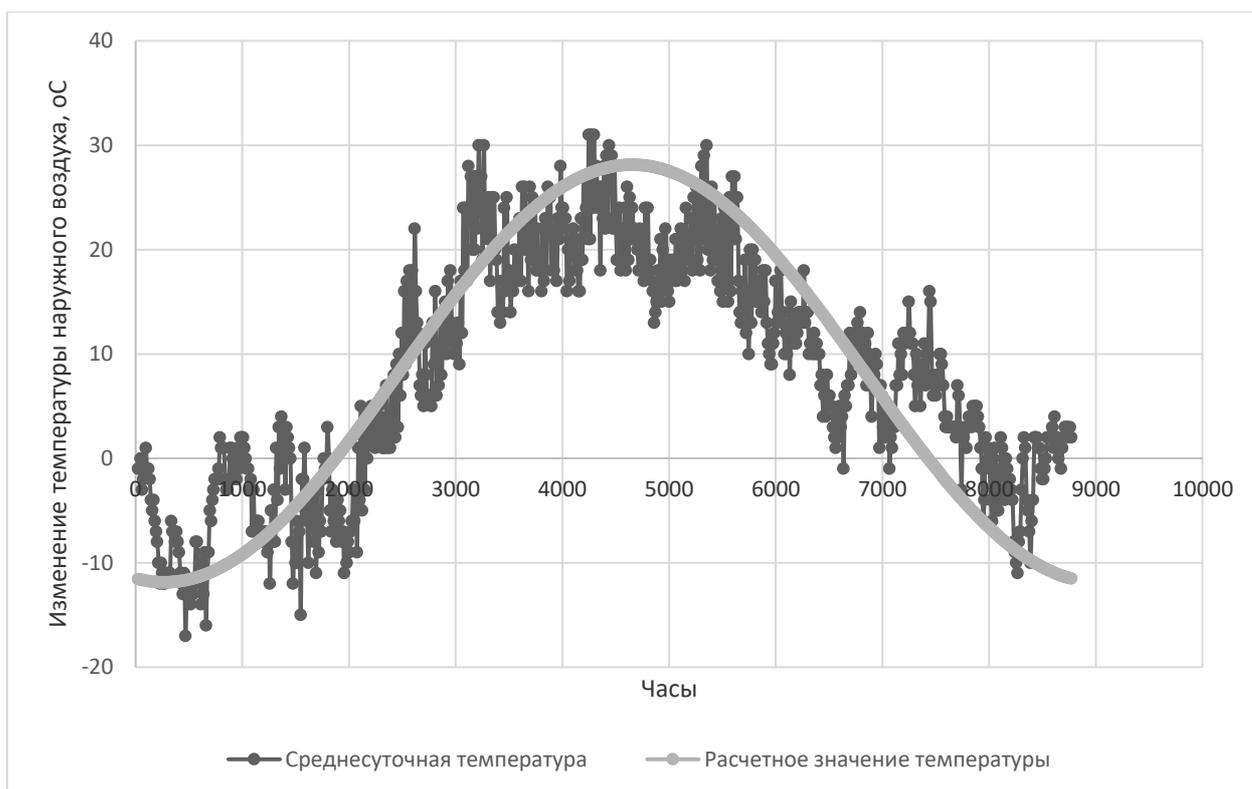


Рис. 2.21 Совмещение расчетной и фактической среднесуточной температуры за 2013 год

Важным аспектом прогнозирования – это 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 в помещениях происходит формирование основ для расчетов по прогнозированию параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем. Рассматриваемый период времени характеризуется конкретными значениями параметров либо расчетными, либо фактическими и у каждого процесса внутри рассматриваемых теплообменных и газового режимов есть свое время действия параллельно и одновременно или со смещением во времени. Единство времени по расчету выдерживается для всех указанных режимов.

2.3 Физико-математическое моделирование теплового и воздушного режимов здания при совместной и комплексной работе инженерных систем

Физико-математическое моделирование теплового и воздушного режимов здания проводится при решении системы уравнений баланса тепловой энергии для воздуха и ограждающих конструкций для всех помещений.

Тепловой режим здания формирует тепломассообменные процессы, происходящие в помещениях здания, в наружных и внутренних ограждающих конструкциях под действием внутренних источников теплоты и изменяющихся во времени параметров климата местности. Теплоперенос происходит тремя основными способами: теплопроводность, конвекция и лучистый теплообмен. Тепловой и воздушный режимы каждого помещения здания неотделимы друг от друга, так как перемещающийся воздух в помещениях здания связан с изменением его температуры, а при контакте воздушных потоков с поверхностями наружных и внутренних ограждающих конструкций происходит конвективный перенос и теплообмен, а так же при перепаде температуры между зданием и улицей, между помещениями формируется перепад гравитационного давления, приводящего к движению воздуха через открытые проемы, щели, неплотности, вентиляционные шахты, лестничные клетки и лифтовые шахты по всему зданию.

Тепловой режим здания (ТРЗ) для реализации математической модели прогнозирования условно разделен на три части – внутреннюю, краевую и внешнюю. Здание – это совокупность помещений, каждое из которых обладает своим индивидуальным тепловым режимом. Внутренняя часть теплового режима здания связана с температурным режимом каждого помещения здания, с работой источников лучистой и конвективной теплоты, работа которых имеет переменный во времени характер, с тепловым режимом наружных и внутренних ограждающих конструкций.

Схема для реализации физико-математического моделирования теплового режима здания во взаимодействии с воздушным режимом здания представлена на рисунке 2.22.

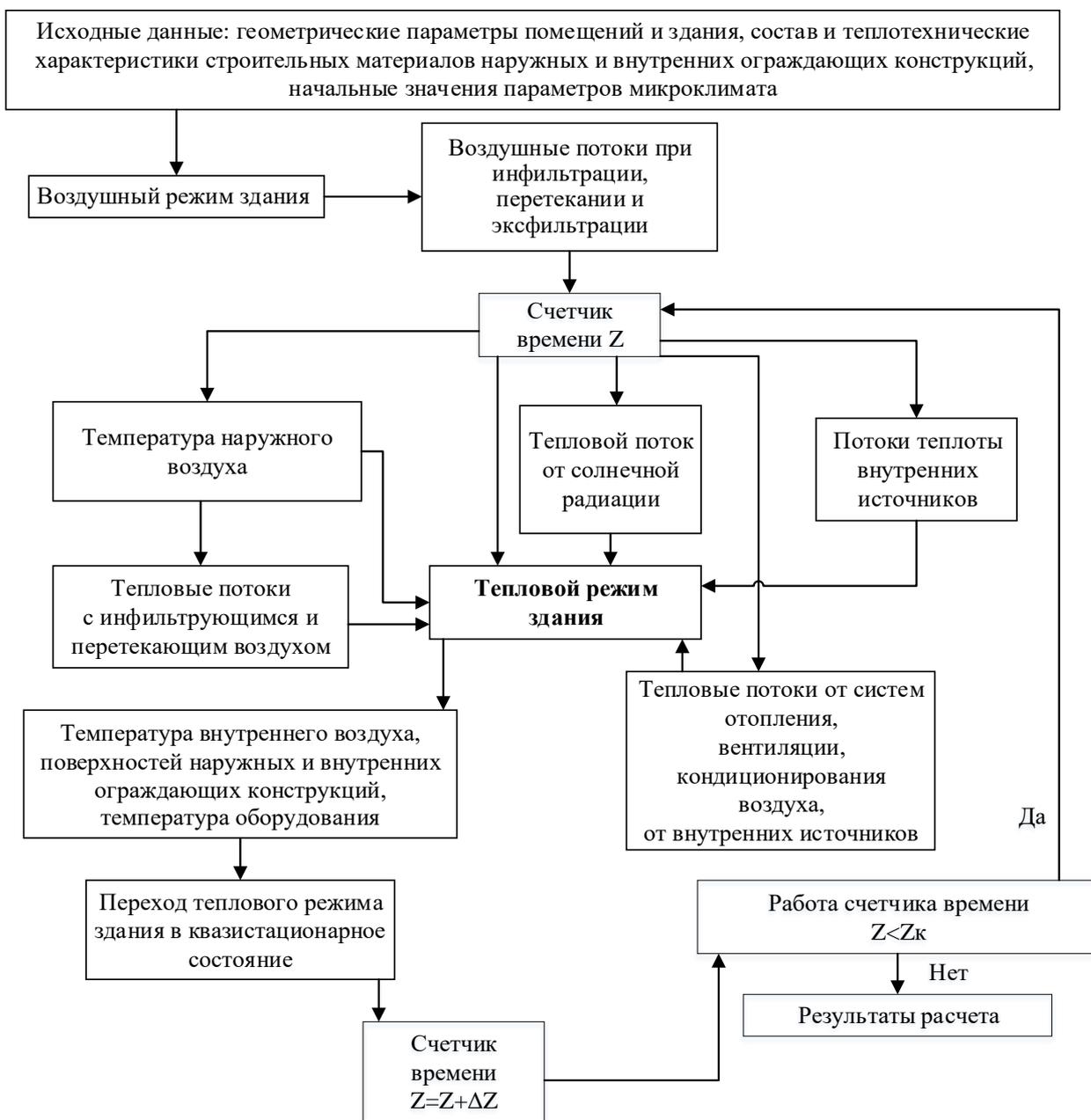


Рисунок 2.22. Схема для реализации физико-математического моделирования теплового режима здания во взаимодействии с воздушным режимом здания

Схема связей трех частей теплового режима здания и составляющих теплового режима здания показана на рисунке 2.23.

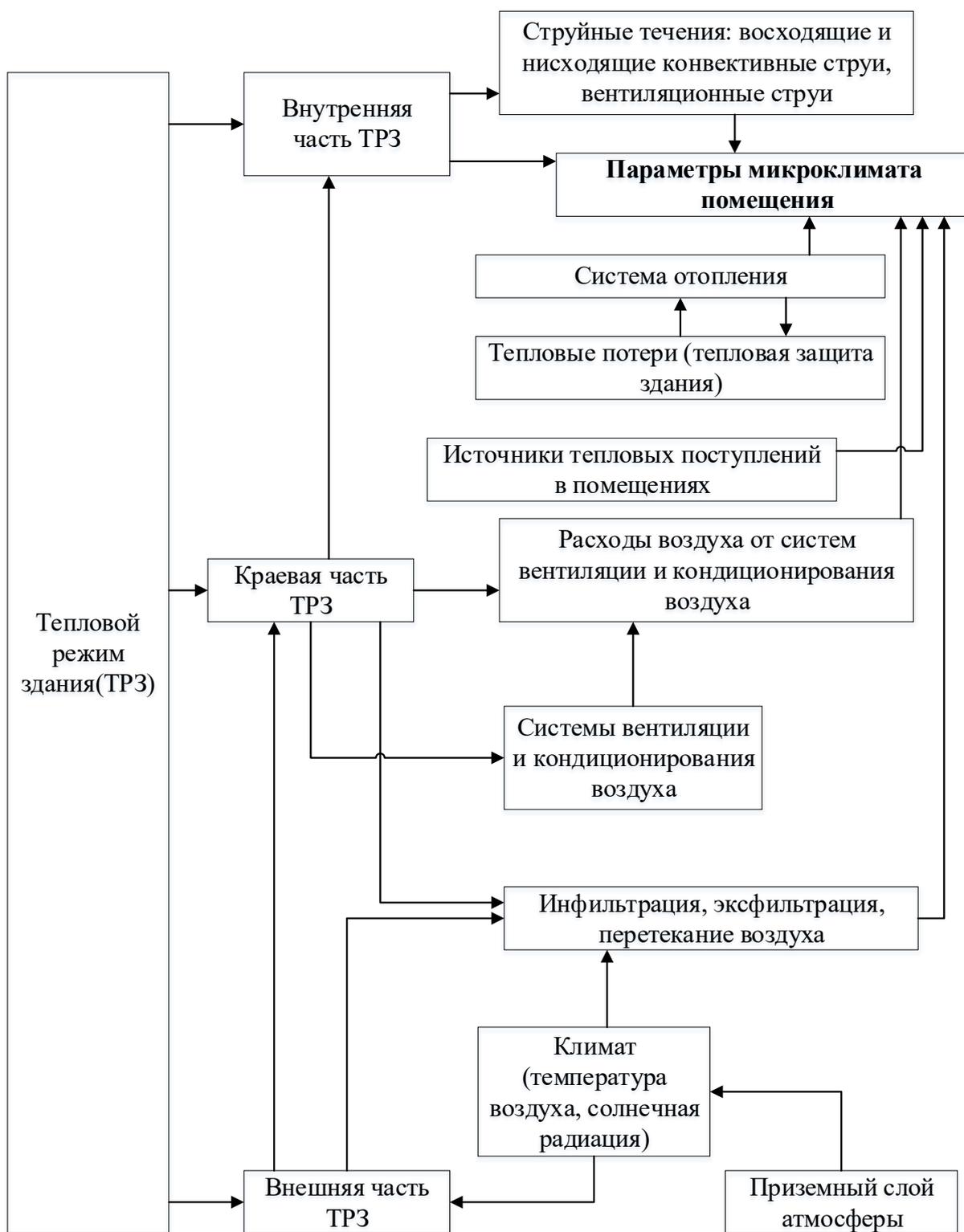


Рисунок 2.23. Схема связей трех частей теплового режима здания и составляющих теплового режима здания

Схема управления данными процессов для реализации физико-математического моделирования теплового режима приведена на рис. 2.24

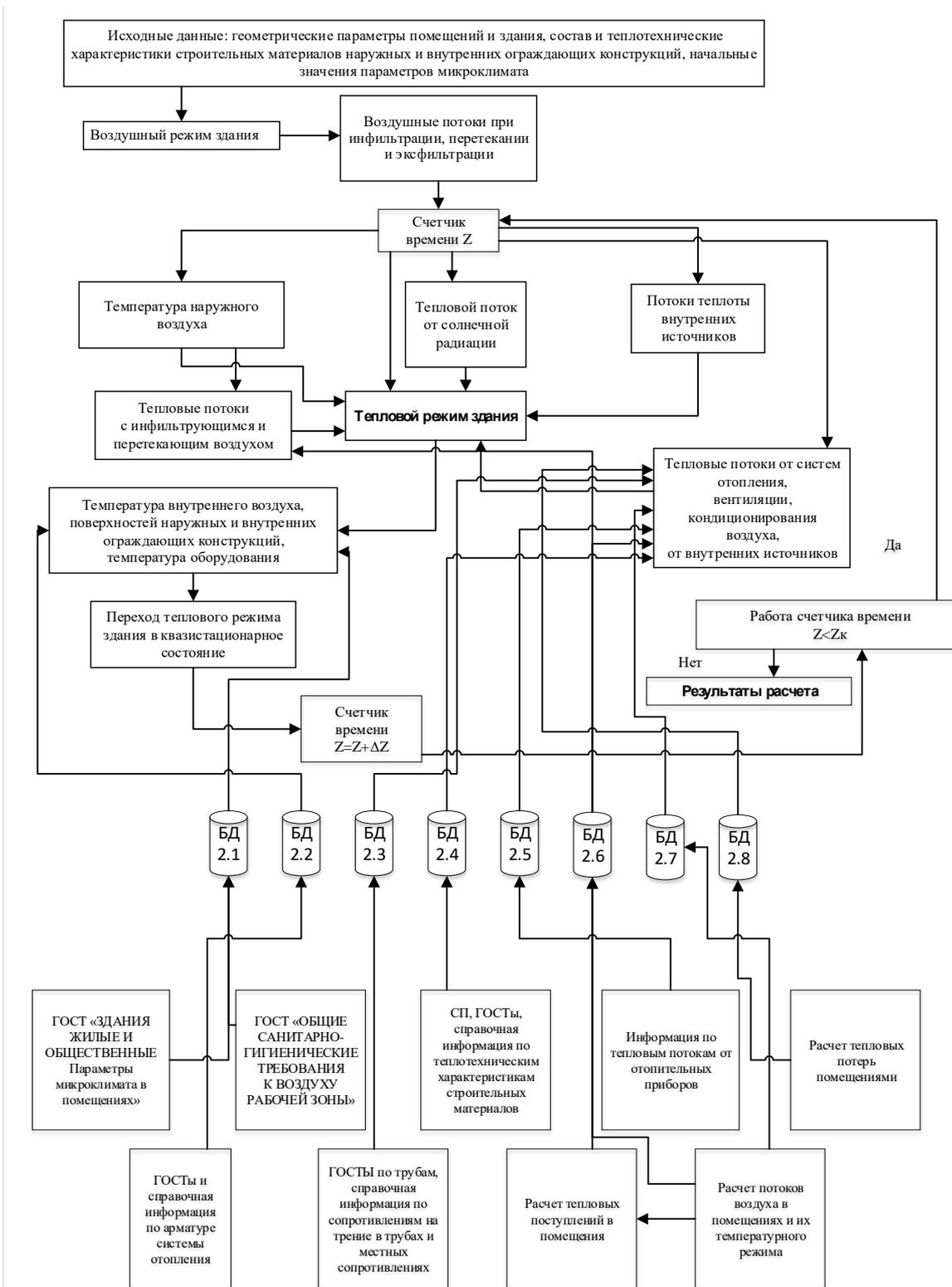


Рисунок 2.24 Схема управления данными процессов для реализации физико-математического моделирования теплового режима

В многоквартирных зданиях помещения могут иметь общие внутренние стены и перекрытия, через которые поступает поток теплоты если есть

различие в температуре внутреннего воздуха. Сегодня в каждой квартире можно регулировать температуру воздуха во все сезоны года меняя потоки теплоты от системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Фактически учесть реальные потоки в каждом помещении затруднительно и их не учитывают, а при этом температура воздуха в помещении в зимнее время может быть выше нормы на 10-60 %, а в летнее время до 70 %.

Потери теплоты одними помещениями и поступление избыточной теплоты в другие помещения изменяют температуру в помещениях, влияя на работу инженерных систем, нарушая учет теплоты и электроэнергии в помещениях. Если утеплить внутренние стены и перекрытия, то потоки теплоты между смежными помещениями сократятся. Нестационарная теплопередача через внутренние стены и перекрытия учтены при создании математической модели теплового режима помещений здания.

Краевая часть теплового режима здания связана с работой инженерных систем, изменяющих тепловые потоки в помещениях здания [319, 320].

Внешняя часть теплового режима здания связана с закономерностями изменений во времени в суточном и годовом режимах температуры наружного воздуха, теплопоступлениями от солнечной радиации, со скоростью и направлением ветра. Климатические особенности местности проанализированы и хорошо изучены, при этом их изучение продолжается постоянно, конкретные данные климата местности могут быть собраны непосредственно датчиками температуры при эксплуатации здания, эти данные могут быть занесены в электронную память и затем анализироваться, и применяться для прогнозирования и регулирования работы инженерных систем обеспечения параметров микроклимата.

Обозначения баз данных, применяемых для физико-математического моделирования теплового режима приведено в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Обозначения баз данных, применяемых для физико-математического моделирования теплового режима

№	Наименование базы данных	Номер базы данных
1.	Базы данных по микроклимату помещений	БД 2.1
2.	Базы данных по арматуре для системы отопления	БД 2.2
3.	Базы данных по трубам системы отопления	БД 2.3
4.	Базы данных по теплотехническим характеристикам материалов строительных конструкций	БД 2.4
5.	Базы данных по отопительным приборам	БД 2.5
6.	Базы данных по теплопоступлениям в помещения	БД 2.6
7.	Базы данных по потокам воздуха и их температуре	БД 2.7
8.	Базы данных по тепловым потерям помещениями	БД 2.8

Обозначения баз данных, применяемых для физико-математического моделирования воздушного режима приведено в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Обозначения баз данных, применяемых для физико-математического моделирования воздушного режима

№	Наименование базы данных	Обозначение базы данных
1.	Базы данных по воздухопроницаемости ограждающих конструкций (окон, дверей и пр.)	БД 1.1
2.	Базы данных по избыточному давлению в помещениях	БД 1.2
3.	Базы данных по гравитационному и ветровому давлению	БД 1.3
4.	Базы данных по микроклимату помещений	БД 1.4
5.	Базы данных по воздухораспределителям	БД 1.5
6.	Базы данных по элементам системы вентиляции	БД 1.6
7.	Базы данных по воздуховодам	БД 1.7

Схема для реализации физико-математического моделирования воздушного режима здания приведена на рисунке 2.25.

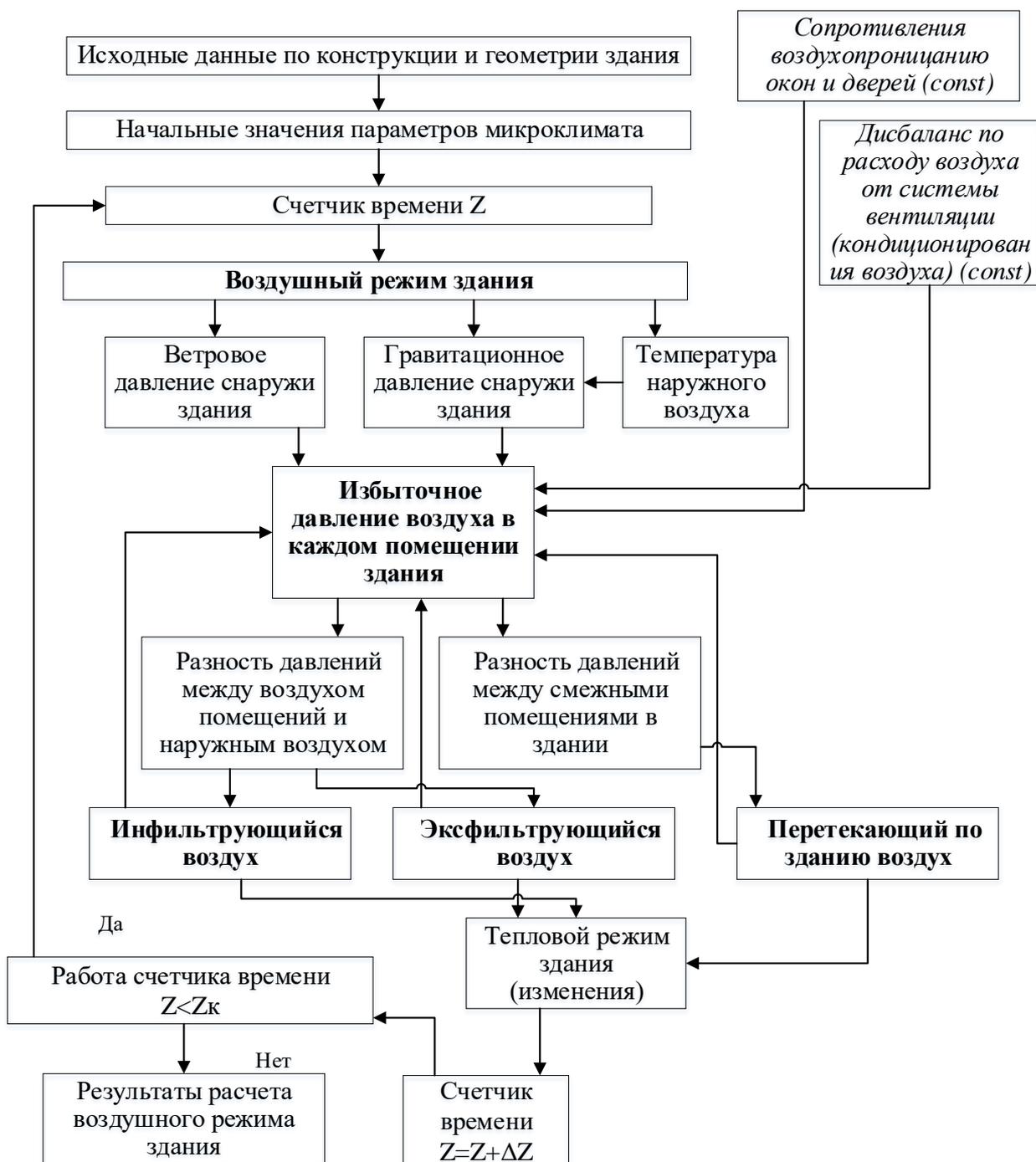


Рисунок 2.25. Схема для реализации физико-математического моделирования воздушного режима здания

Схема управления данными процессов при физико-математическом моделировании воздушного режима приведена на рис. 2.26.

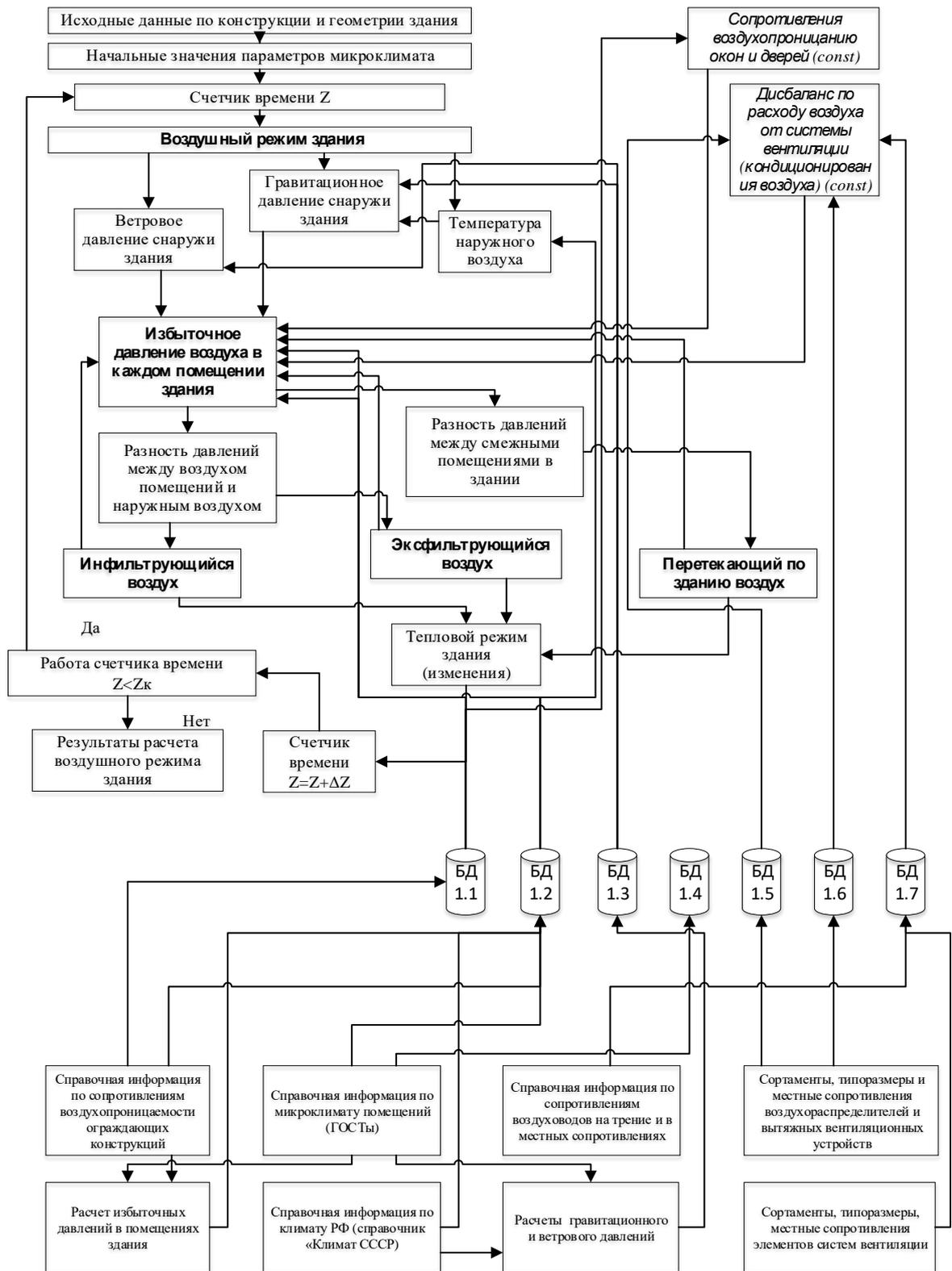


Рисунок 2.26. Схема управления данными процессов при физико-математическом моделировании воздушного режима

Воздушный режим здания (ВРЗ) состоит из трех частей – внутренней, краевой и внешней [299], каждая из которых рассчитывается отдельно во взаимосвязи с другими. Воздушный режим здания тесно связан с тепловым режимом из-за постоянного изменения температуры внутреннего и наружного воздуха в суточном режиме, что приводит к изменению гравитационного давления, и как следствие, к изменению потоков инфильтрующегося, эксфильтрующегося, перетекающего воздуха в здании. В современных инженерных расчетах температуры внутреннего и наружного воздуха приняты постоянными, равными расчетным по нормам, а в реальном здании температура воздуха в помещениях отличается от расчетного значения и, соответственно, реальный ВРЗ связан с потоками теплоты и воздуха, отличными от расчетных при проектировании.

Физико-математическое моделирование воздушного и теплового режимов здания осуществляется на основе названных физико-математических моделей и приведенных алгоритмов расчета. Укрупненная схема физико-математического моделирования воздушного и теплового режима здания приведена на рисунке 2.27.

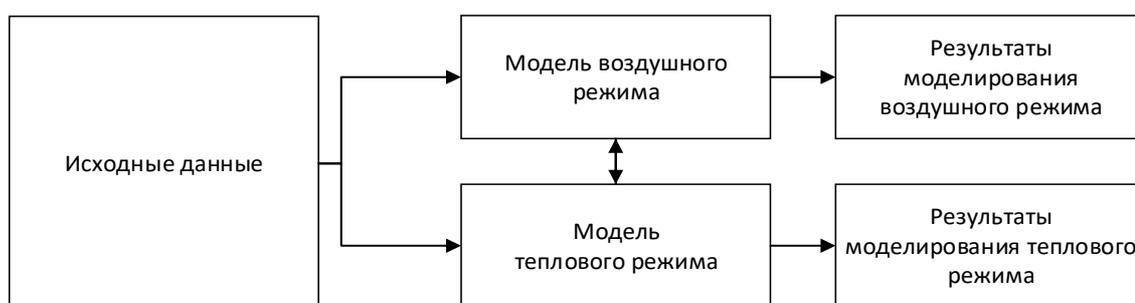


Рисунок 2.27. Укрупненная схема физико-математического моделирования воздушного и теплового режимов здания

2.4. Физико-математическое моделирование газового режима здания при совместной и комплексной работе инженерных систем

Физико-математическое моделирование газового режима здания осуществляется при решении систем уравнений по расчету изменения балансов поступления вредных примесей и водяного пара в воздух помещений.

Газовый режим здания – это изменение баланса потока вредных примесей в воздухе здания [150, 301, 303]. Воздушный режим здания совместно с тепловым режимом здания обеспечивают формирование газового режима здания, связанного с распределением вредной примеси в здании [150].

Газовый режим здания (ГРЗ) рассмотрен условно как состоящий из трех частей: внутренней, краевой и внешней. Единство процесса распространения вредной примеси в воздухе предлагаем разделить на отдельные блоки.

Аварийные или штатные выбросы вредных аэрозолей в воздух на промтерритории имеются всегда. Токсичность, масса поступивших в воздух вредных веществ, длительность и частота работы источников на разных промпредприятиях могут сильно отличаться. Имеют место систематические с разной частотой и нерегулярные выбросы вредных веществ. В жилых, общественных и административных зданиях так же могут присутствовать источники вредных поступлений в воздух. Источник поступления примеси в воздух может располагаться в здании или вне здания, мощность и режим работы источников вредных примесей носит, как правило, переменный и нестационарный во времени характер, однако существуют источники с постоянной мощностью выделения вредных веществ.

Для расчета газового режима здания при различных вариантах нахождения источников примесей проводится расчет ВРЗ и ТРЗ и газового режима воздушной среды вокруг здания в воздушном объеме аэродинамического следа. Газовый режим здания рассматривает

распространение вредных примесей, что определяется динамикой концентрации вредной примеси в воздухе (г/м^3).

Схема связей трех частей газового режима здания и составляющих теплового и воздушного режимов здания показана на рисунке 2.28.

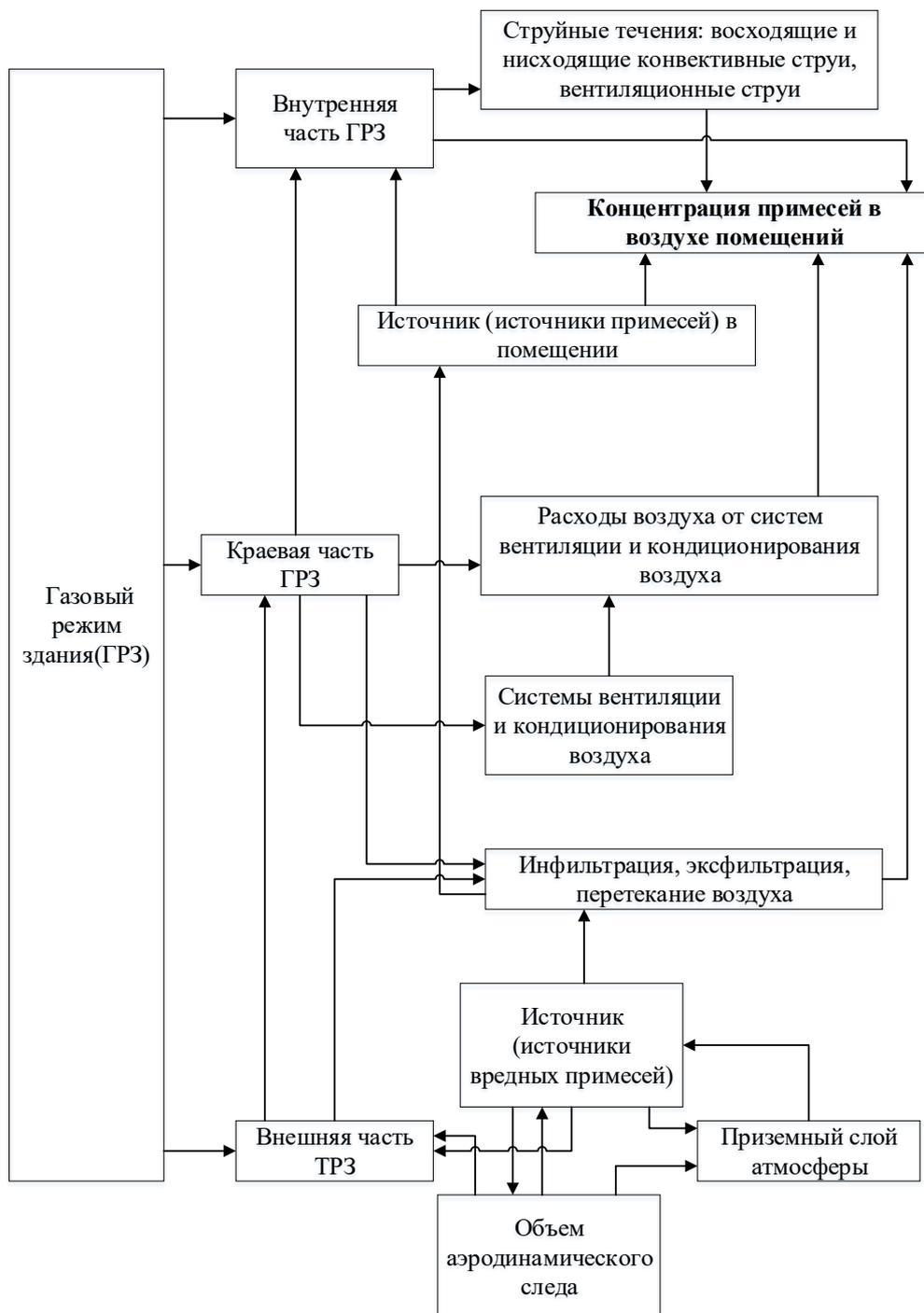


Рисунок 2.28. Схема связей трех частей газового режима здания и составляющих теплового и воздушного режимов здания

Схема связей трех частей влажностного режима здания и составляющих теплового и воздушного режимов здания показана на рисунке 2.29.

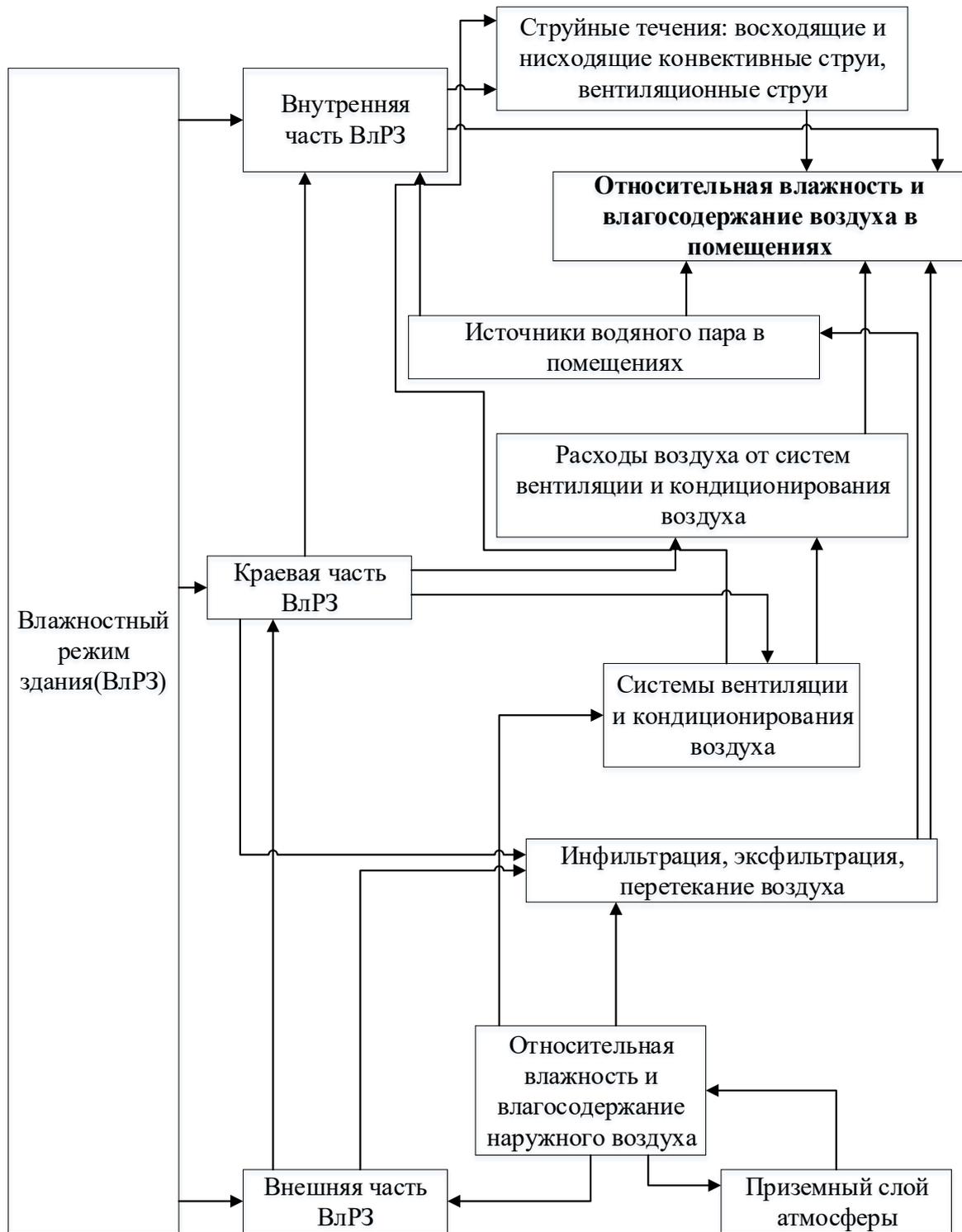


Рисунок 2.29. Схема связей трех частей влажностного режима здания и составляющих теплового и воздушного режимов здания

Общая постановка задачи по расчету газового режима здания предусматривает рассмотрение распространения примесей в воздухе в следующих направлениях:

- От источника примесей в помещении далее загрязнение воздушной среды других помещений здания при перетекании воздуха и далее из здания при эксфильтрации поступление загрязненного воздуха в воздух заветренной зоны аэродинамического следа здания, затем поступление примеси в воздух помещений с потоками воздуха при инфильтрации или через открытые окна и (или) двери;
- От источника примесей в заветренной зоне аэродинамического следа здания при инфильтрации и (или) через открытые окна и двери загрязнение воздуха помещений здания, и затем перетекание воздуха с примесью по зданию и по конкретно рассматриваемому помещению.

Целью проведения математического моделирования является получение возможности для расчета динамики концентраций вредных примесей в воздухе во всех элементах рассматриваемых систем.

При расчете газового режима здания проводится расчет внешней части газового режима здания, который включает расчет газового режима заветренного объема вихревой зоны аэродинамического следа (АС) здания [148, 172].

При работе вытяжных вентсистем здания могут быть следующие варианты: - вся вредная примесь попадает в вихревую зону АС, - вредная примесь частично попадает в вихревую зону АС, - вредная примесь не попадает в ВЗ АС, это известно из работ [157, 158, 164, 165], где рассматривались случаи низкого и высокого источников вредной примеси. Происходит накопление вредной примеси в вихревой зоне аэродинамического следа, где она циркулирует и вместе инфильтрационным и (или) врывающимся воздухом поступает в здание продолжая загрязнять помещения.

Воздухообмен между воздухом вихревой зоны АС и воздухом окружающего приземного слоя атмосферы и интенсивность работы источника

примеси определяют концентрацию примеси в ВЗ АС [148, 172]. Результаты исследований [114, 115] дали возможность найти размеры и кратность воздухообмена ВЗ АС, а также рассчитать изменение концентрации вредной примеси в ВЗ АС [148, 172]. Принято допущение, что в ВЗ АС происходит примесь равномерное распространение примеси [148, 172]. Получены расчетные формулы [114] для определения геометрии ВЗ АС.

Неорганизованные и организованные потоки воздуха в здании приводят к перемещению с ними примесей с наветренной и заветренной сторон [148, 172]. Однозонная или многозонная модели вентилируемого помещения применены для расчетов [135, 178, 262, 272].

Предлагаемая математическая модель позволяет при расчете учесть защищаемое помещение здания, которое может быть организовано специально для защиты людей от действия систематических с разной частотой и нерегулярных выбросов вредных веществ.

Влажностный режим здания рассматривается аналогично газовому режиму здания, при этом формируется расчет распределения водяных паров в воздухе помещений на основе величины концентрации водяного пара.

Физико-математическое моделирование газового и влажностного режимов здания осуществляется по схеме, приведенной на рисунке 2.30.

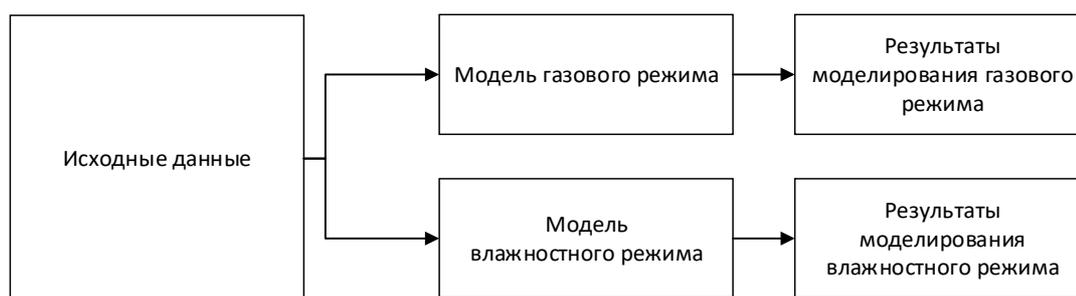


Рисунок 2.30. Укрупненная схема для реализации физико-математического моделирования газового и влажностного режимов здания

Схема управления данными процессов для физико-математического моделирования газового и влажностного режимов здания приведена на рис. 2.31.

2.31.

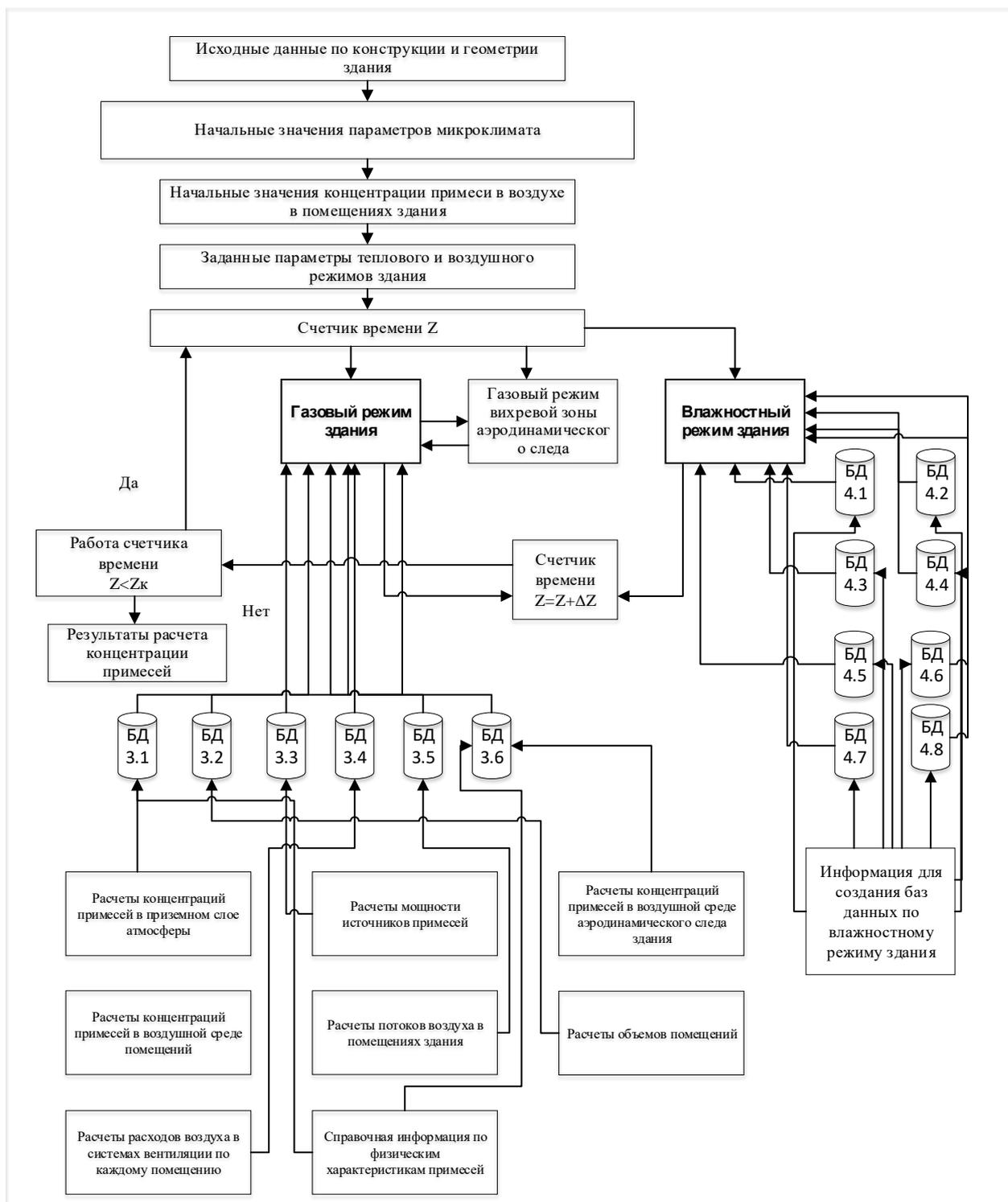


Рисунок 2.31 Схема управления данными процессов при реализации физико-математического моделирования газового и влажностного режимов здания

Обозначения баз данных, применяемых для физико-математического моделирования газового и влажностного режимов здания приведено в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Обозначения баз данных, применяемых для физико-математического моделирования газового режима

№	Наименование баз данных	Обозначение базы данных
1.	Информация о примесях в воздухе	БД3.1
2.	Информация о размерах помещений	БД3.2
3.	Информация по источникам примесей в здании	БД3.3
4.	Базы данных по потокам воздуха от систем вентиляции	БД3.4
5.	Базы данных по потокам воздуха при фильтрации и перетекании в здании	БД3.5
6.	Базы данных по источникам примесей вне здания	БД3.6

Обозначения баз данных, применяемых для физико-математического моделирования влажностного режима приведено в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Обозначения баз данных, применяемых для физико-математического моделирования влажностного режима

№	Наименование базы данных	Обозначение базы данных
1.	Информация по влажностным процессам строительных конструкций	БД4.1
2.	Информация по климату	БД4.2
3.	Информация о состоянии водяных паров в воздухе и ограждающих конструкциях	БД4.3
4.	Базы данных по потокам воздуха в каждом помещении	БД4.4
5.	Базы данных по относительной влажности внутреннего воздуха	БД4.5
6.	Базы данных по парциальному давлению водяных паров в помещениях	БД4.6
7.	Базы данных по температуре наружного воздуха	БД4.7
8.	Базы данных по парциальному давлению водяных паров в наружном воздухе	БД4.8

2.5. Выводы по главе 2

1. Предложена 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 динамических теплообменных и газового режимов здания.

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.

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 переменных во времени воздушного, теплового и газового режимов здания при совместной и комплексной работе инженерных систем и на основе результатов прогнозирования и его анализа формировать проектные решения позволяющие создать требуемые параметры микроклимата и концентрации примесей в воздушной среде в помещениях при совместной и комплексной работе инженерных систем здания.

2. Разработано комплексное физико-математическое моделирование 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.

Важный аспект прогнозирования – это 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 либо расчетными, либо фактическими значениями и у каждого процесса внутри рассматриваемых теплообменных и газового режимов есть свое время действия параллельно и одновременно или со смещением во времени. Единство времени по расчету выдерживается для всех указанных режимов.

3. Предложенные физико-математические модели теплового и воздушного режимов здания позволяют проводить анализ проектных решений при формировании параметров микроклимата и качества воздушной среды в помещениях при совместной и комплексной работе инженерных систем.

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.

4. Разработанная физико-математическая модель газового режима здания, зависит от воздушного и теплового режимов, и дает возможность анализировать проектные решения при формировании количественного состава вредных примесей в воздушной среде помещений. Газовый режим здания рассматривается как состоящий из трех частей – внутренней, краевой и внешней. Базы данных для рассмотрения внешней, краевой и внутренней

частей газового режима здания необходимы для реализации физико-математических моделей.

Глава 3. Физико-математическое моделирование и анализ динамики тепломассообменных режимов и качества воздушной среды здания с учетом возмущающих воздействий при совместной и комплексной работе инженерных систем

3.1 Метод физико-математического моделирования и анализа динамики тепломассообменных 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 и газового режимов здания с учетом возмущающих воздействий основан на решении систем балансовых уравнений, описывающих перемещение воздуха, теплоты, вредных примесей и водяного пара с учетом режимов работы источников, формирующих возмущающие воздействия.

Метод физико-математического моделирования и анализа динамики тепломассообменных и газового режимов здания с учетом возмущающих воздействий заключается в комплексном и взаимосвязанном расчете систем дифференциальных уравнений баланса процессов тепломассообмена и газообмена в здании. Взаимосвязанность систем уравнений определяется параметрами микроклимата и расходами воздуха, входящих в разные системы уравнений, связанные с разными математическими моделями, рассматриваемыми в настоящей работе, что формирует комплексность метода моделирования. В уравнениях, входящих в системы уравнений, описывающих тепломассообменные и газовый режимы здания, присутствуют величины, отвечающие за интенсивность во времени работы источников теплоты, холода, примесей, водяного пара, а также за значения параметров микроклимата и концентраций примесей во внутреннем воздухе здания, и климата и концентраций веществ в наружном воздухе [150]. Возмущающие

воздействия могут иметь различный характер изменения во времени [150]. Результаты расчетов анализируются на предмет соответствия параметров микроклимата и концентрации примесей [150] в воздухе требованиям нормативных документов, определяется временной интервал в течение суток или рабочего дня, или другого временного интервала, когда не соответствие параметров микроклимата и концентрации примесей в воздухе имели место, выявляется причина несоответствия параметров микроклимата и концентрации примесей [150]. Определяется количество тепловой и электрической энергии, потребляемое инженерными системами, формирующими параметры микроклимата и концентрацию примеси в воздухе помещений [150]. В случае несоответствия параметров микроклимата [150] и концентрации примесей нормам определяется, на какую величину необходимо увеличить или уменьшить количество тепловой и электрической энергии для приведения параметров микроклимата и концентрации примесей в соответствие с нормативными требованиями, и дальше расчеты проводятся повторно для выявления правильности принятых изменений в проектном решении.

Возмущающие воздействия могут быть заданы в виде уравнения, мощности конвективного потока теплоты или других источников с указанием интервала времени работы, массива данных за определенный интервал времени с известным шагом. Мощность конвективного потока теплоты задается в уравнении, отвечающем за температуру внутреннего воздуха, а мощность источника вредных примесей задается в уравнении, отвечающем за концентрацию вредной примеси во внутреннем и (или) наружном воздухе. Возмущающие воздействия могут носить периодический характер или внезапный разовый режим работы. Внезапное и мощное включение возмущающего воздействия может приводить к выходу расчета за пределы интервала физического смысла искомых параметров микроклимата и концентрации примеси в воздухе помещений здания, что преодолевается уменьшением шага расчета для увеличения частоты расчетного интервала

времени переходного периода между прежними значениями параметров микроклимата и концентрации примеси в воздухе и новыми значениями, полученными в результате действия возмущающего воздействия. Переходный период является наиболее сложным элементом при реализации модели, так как инерционность тепловых процессов в здании приводит к инерционности действия остальных теплообменных и газового режимов, что проявляется так же при переходе от начальных значений параметров микроклимата к фактическим в начальной стадии расчетов. Завершение переходного периода наблюдается за период около 10 суток. Параметры микроклимата и концентрации примесей, как правило, рассчитываются с интервалом времени в долях часа (0.01, 0.001, 0.0001 и т.п.), что является более удобным при расчете изменения параметров микроклимата за период времени в течение суток, декады, месяца, сезона, года и т.д., так как при этом один час расчетов связан с повторением расчетов целочисленное количество раз (100, 1000, 10000 и т.д.), что важно для получения интервала времени 1 час.

3.2 Физико-математическое моделирование теплового режима помещений при совместной и комплексной работе инженерных систем

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 (рисунок 3.1). Работа источников тепловых поступлений является переменной во времени в течение суток, сезона, года.

Все помещения здания нумеруются. Для каждого помещения здания составляется система балансовых дифференциальных уравнений, в которых учитывается теплообмен внутреннего воздуха с поверхностями ограждающих конструкций и теплопередача через ограждающие конструкции с учетом

переменной во времени температуры наружного воздуха. Кроме того, в систему уравнений входят значения переменных во времени потоков инфильтрующегося и перетекающего воздуха (составные части воздушного баланса (режима) здания).

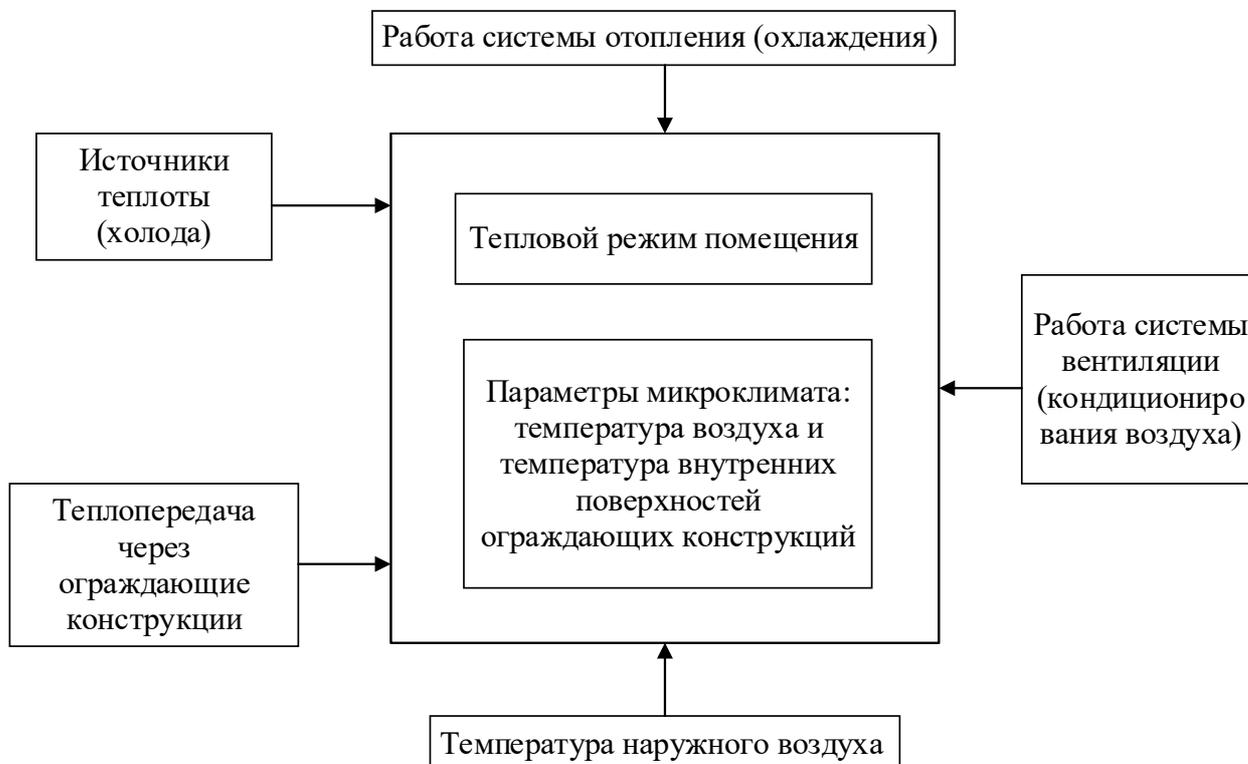


Рисунок 3.1. Схема влияний на тепловой режим помещения

3.3 Результаты расчета теплового режима помещений здания при совместной и комплексной работе инженерных систем

Результаты расчетов тепловых режимов в помещениях здания являются исходной информацией для расчета воздушного режима помещений. Одним из основных тепломассообменных режимов здания является тепловой режим, который формируется как совокупность теплового режима каждого помещения. Был проведен расчет теплового режима пятиэтажного офисного здания с размерами в плане 18×12 м, высота этажа 3 м, без чердака и подвала. Упрощенные план и разрез здания представлены на рисунке 3.2. В рассматриваемом здании окна в помещениях 1 и 3 на всех этажах находятся на наветренном фасаде здания, а окна в помещениях 2 и 4 на всех этажах

находятся на заветренном фасаде здания. Расчет проводился для холодного периода года. В холодный период года окна закрыты, их сопротивление воздухопроницанию принято равным расчетной величине сопротивления воздухопроницанию согласно СП «Тепловая защита здания» как для окон в двойных деревянных спаренных переплетах.

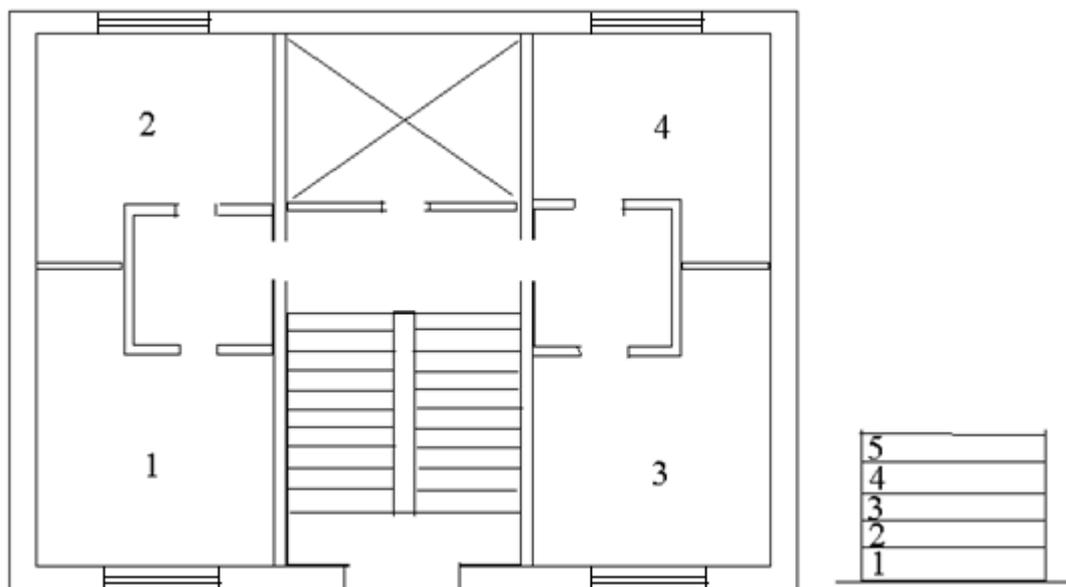


Рисунок 3.2. Упрощённые план и разрез пятиэтажного офисного здания [148, 172]

На рисунках 3.3-3.8 показаны данные, полученные в ходе моделирования температуры внутреннего воздуха. Изменения температуры внутреннего воздуха происходят при изменениях значения температуры наружного воздуха заданному по гармоническому закону $t = \sin(\tau)$ на основе формулы (2.1) настоящей работы [180] со средней температурой $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и с амплитудой суточного изменения температуры $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Из рисунков 3.3-3.6 видно, что примерно до 145 часа расчета имеет место переходный период расчета, когда все параметры микроклимата входят в квазистационарное состояние, так же видно отличие температуры внутреннего воздуха для первого и последнего этажей, что объясняется тем, что на первом этаже имеет место преобладание инфильтрации воздуха, а на последнем этаже преобладает эксфильтрация воздуха.

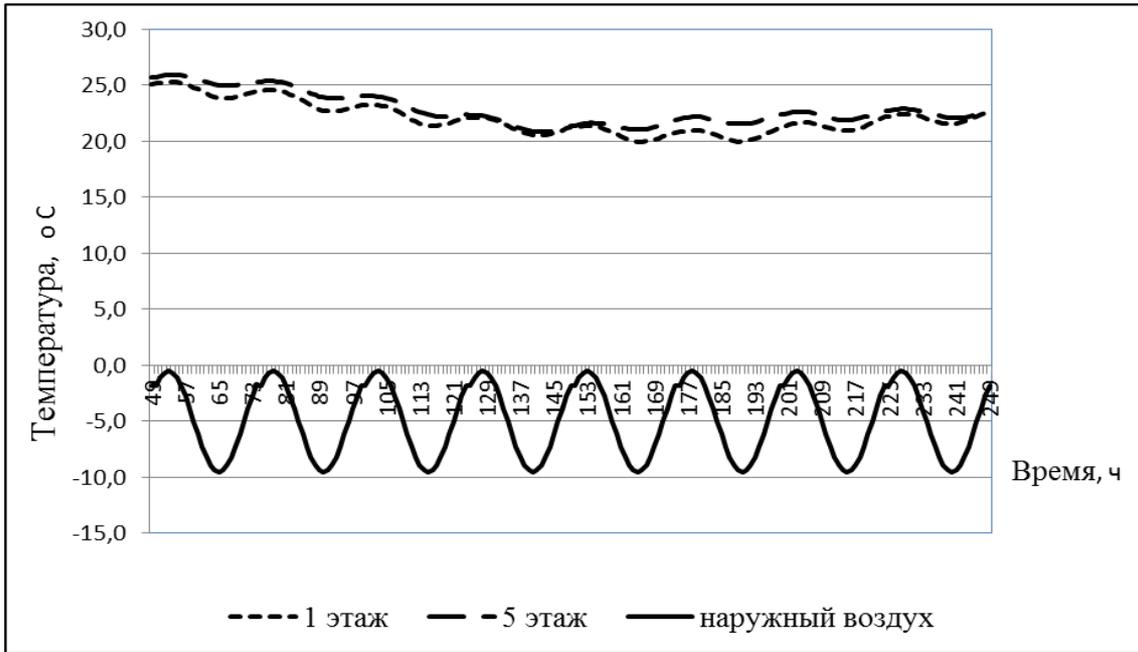


Рисунок 3.3. Динамика температуры воздуха в помещениях 1 и 5 этажей наветренного фасада и температуры наружного воздуха

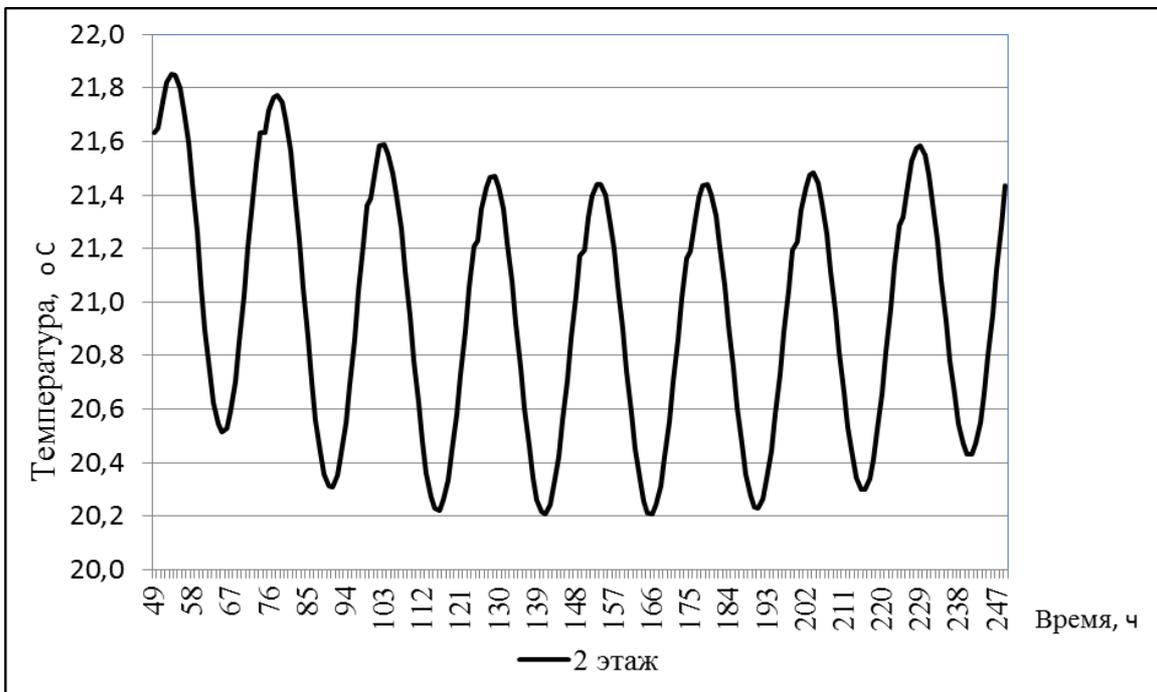


Рисунок 3.4. Динамика температуры воздуха в помещении 2 этажа наветренного фасада

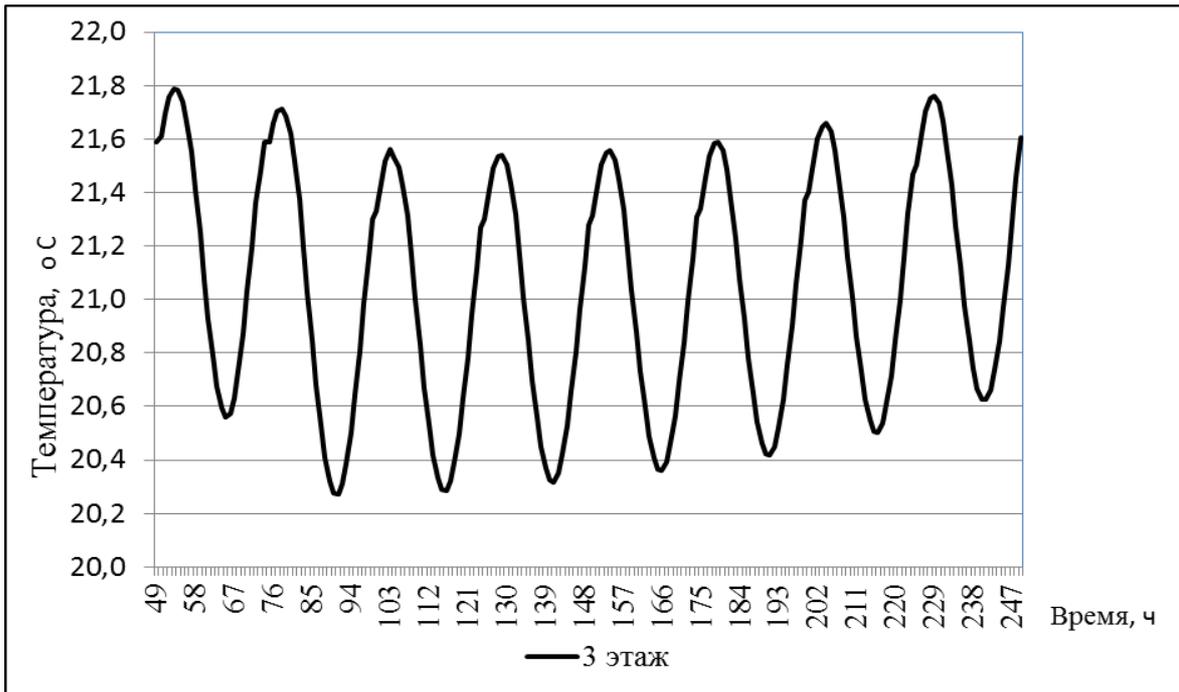


Рисунок 3.5. Динамика температуры воздуха в помещении 3 этажа наветренного фасада

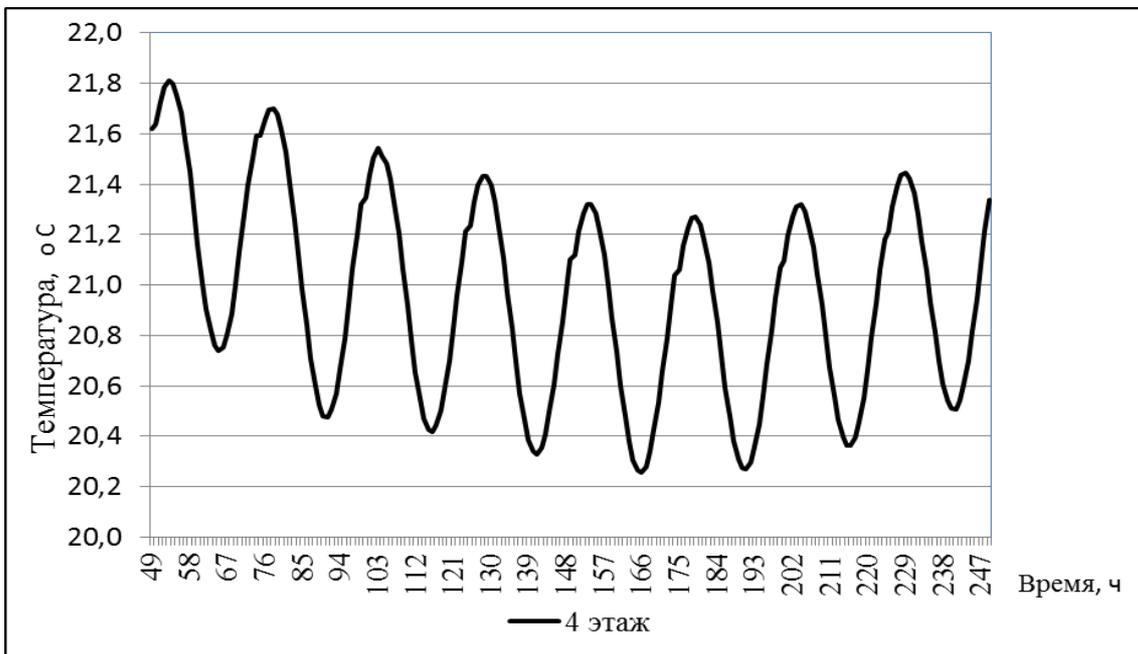


Рисунок 3.6. Динамика температуры воздуха в помещении 4 этажа наветренного фасада

Изменение температуры внутреннего воздуха на 2, 3 и 4 этажах имеет небольшое отличие в связи с изменением количества инфильтрующегося

воздуха по высоте здания и нарастанием количества эксфильтрующегося воздуха с середины высоты здания к последнему этажу. Воздухопроницаемость окон является необходимым элементом для работы естественной системы вентиляции здания при условии соблюдения нормативных требований по воздухообмену. При снижении величины воздушной проницаемости окон и наружных стен происходит изменение времени начала воздействия теплового потока в наружном воздухе на температуру внутреннего воздуха.

На рисунке 3.7 представлено как изменяется температура наружного воздуха при резком похолодании (информация о продолжительности и интенсивности периода резкого похолодания принята по данным проф. Богословского В.Н.).

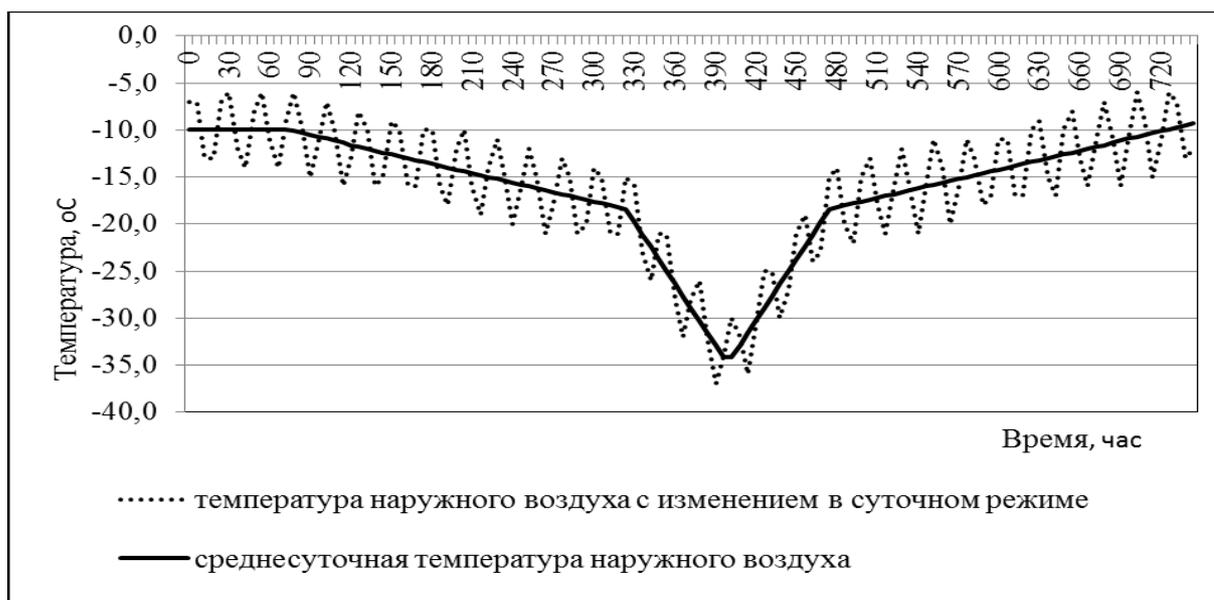


Рисунок 3.7. Динамика температуры наружного воздуха в суточном режиме в холодный период года в период резкого похолодания

Проведены расчеты теплового режима 17 этажного жилого здания серии П-44. На рисунке 3.8 видно квазистационарное изменение температуры, полученное при расчете по программе расчета воздушно-теплового режима.

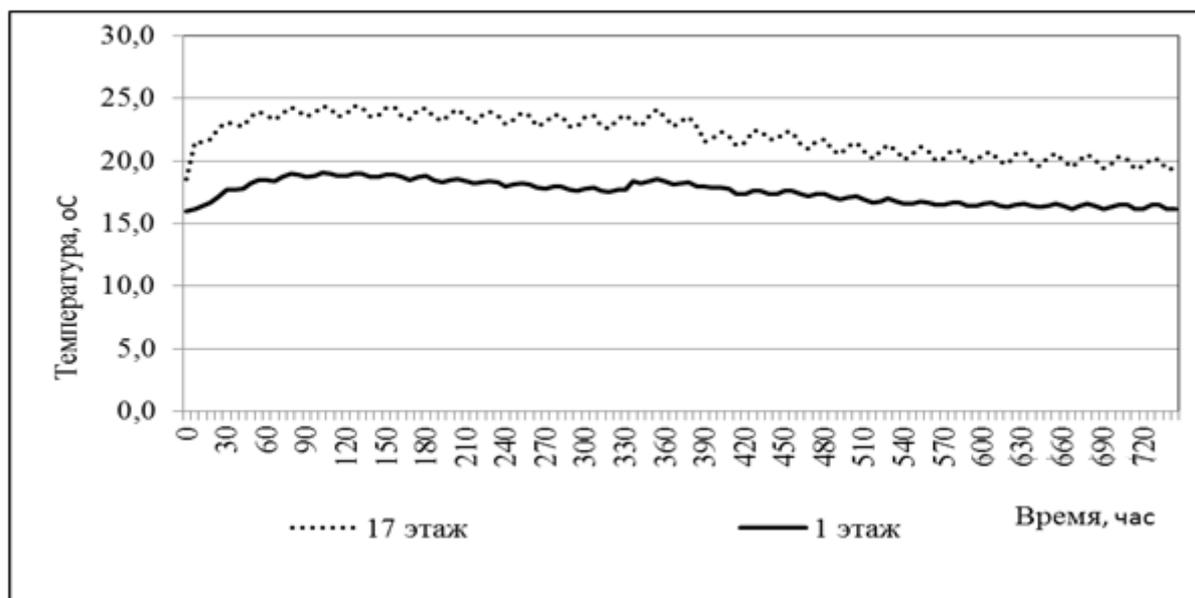


Рисунок 3.8. Динамика температуры внутреннего воздуха в помещениях 17 и 1 этажей наветренной зоны в суточном режиме в холодный период года в период резкого похолодания

На рисунках 3.3 – 3.6 и 3.8 показано квазистационарное изменение расчетных величин температуры внутреннего воздуха в помещениях здания, как результат расчета по программе, разработанной на основе физико-математического моделирования тепловоздушного режима здания.

3.4. Нестационарная теплопередача элементов системы отопления в помещении

Нестационарная теплопередача элементов системы отопления в помещении влияет на динамику теплового, воздушного и газового режимов помещения.

Температурный режим отопительного прибора важен для расчетов теплового режима помещения [96-99]. Отопительный прибор может располагаться открыто, скрыто, в нишах, за экранами, что определяет процесс теплообмена между отопительным прибором, воздухом помещения и ограждающими конструкциями.

Расчеты по изменению теплового потока от отопительного прибора позволяют прогнозировать температуру теплоносителя и воздуха в помещении для регулирования параметров микроклимата помещения и недопущения перегрева или переохлаждения помещений, с целью экономии тепловой энергии. Для проведения расчетов температурных режимов созданы математические модели, реализованные в виде компьютерных программ. Если отопительный прибор закрыт декоративным экраном, то пространство за экраном рассмотрено в виде отдельного объема с входящими и уходящими потоками воздуха, влияющими на теплообмен.

Рассматриваем отопительный прибор, как самостоятельный объем с входящей и уходящей водой с теплотой и с теплообменом с окружающим воздухом. Так как меняется температура в помещении, то меняется и теплоотдача отопительного прибора.

Уравнения для моделирования теплоотдачи отопительного прибора следующие [148, 172]:

1. переменная во времени теплоотдача отопительного прибора в воздух помещения:

$$\frac{dQ_{от.приб.}}{d\tau} = \frac{t_{нар.пов} - t_{в.пом}}{1/\alpha_k} F_j + Q_{луч}, \quad (3.1)$$

2. изменение температуры воды в отопительном приборе, начальная температура зависит от температуры наружного воздуха и от остывания воды по пути движения до рассматриваемого отопительного прибора:

$$t_{кон} = t_{нач} - \frac{Q_{от.приб.}}{G \times c}, \quad (3.2)$$

3. температура наружной поверхности отопительного прибора может быть определена по формуле (3.3), где $\delta_{усл}$ – условная (средняя по поверхности) толщина стенки отопительного прибора с учетом оребрения:

$$t_{нар.нов} = t_w - \frac{\frac{1}{\alpha_w} + \frac{\delta_{усл}}{\lambda}}{\frac{1}{\alpha_w} + \frac{\delta_{усл}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_в}} (t_w - t_в), \quad (3.3)$$

Большое влияние на процесс остывания воды оказывают теплотехнические характеристики материала: сталь, алюминий, чугун, медь, керамика, бетон и т.п., из которого изготовлен отопительный прибор, что учитывается при расчете.

Исследование температурного режима подающего теплопровода с нагретым до расчетной температуры теплоносителем и обратного теплопровода с остывшим до расчетной температуры теплоносителем системы отопления проводится с целью определить фактическую температуру теплоносителя при входе в отопительные приборы и выходе из отопительных приборов в помещениях здания. Теплопровод может проходить открыто, скрыто, в тепловой изоляции и без нее. Труба системы отопления проходит по помещению и отдает теплоту, повышая температуру воздуха, а теплоноситель в трубе остывает, что происходит в нестационарном режиме, и прогнозирование которого имеет важное значение для формирования теплового режима помещения. Расчет изменения температурного режима теплопровода в условиях, приближенных к реальным, позволяет прогнозировать температуру теплоносителя и температуру воздуха в помещении, оказывая заранее влияние на регулирование температурного режима теплопровода и помещения для недопущения перегрева или переохлаждения помещений, с целью экономии тепловой энергии.

В настоящей работе используется математическая модель, предусматривающая условное разделение трубы с теплоносителем на блоки и слои. Если труба теплоизолирована, то необходимо разбить теплоизоляцию на слои в направлении, перпендикулярном трубе, для повышения точности

расчёта, а при отсутствии теплоизоляции в качестве предположения толщину стенки трубы можно не делить на слои, а рассматривать как один слой.

Теплопровод - длинномерная конструкция и изменение температуры происходит по длине, поэтому необходимо разбить теплопровод на участки, которые представляют собой отрезок теплопровода конечной длины, на каждом таком участке температура теплопровода и теплоносителя принята одинаковой по длине участка, длина такого участка зависит от скорости движения теплоносителя, наличия тепловой изоляции, температуры теплоносителя и температуры воздуха в помещении. Взаимосвязанные процессы тепломассообмена, происходящие в теплопроводе на каждом рассматриваемом участке учитываются при расчетах [81]. В работе рассматриваются стальные трубы.

Запишем дифференциальные балансовые уравнения для нетеплоизолированной трубы с теплоносителем:

1. Теплоноситель на i -м участке трубы [148, 172]:

$$V_{wi} c_{wi} \rho_{wi} \frac{dt_{wi}}{d\tau} = \frac{t_1 - t_{wi}}{1/\alpha_w} \times F_i, \quad (3.4)$$

2. Стенка трубы (труба обладает высоким коэффициентом теплопроводности и ее можно не разбивать на слои, так как толщина слоя резких колебаний для стали равна 0,46 метра, что значительно больше толщины стальных труб, а у пенопропилена – 0,31м), принимаем толщину стенки теплопровода как один слой [148, 172]:

$$V_1 c_1 \rho_1 \frac{dt_1}{d\tau} = \frac{t_{wi} - t_1}{1/\alpha_w} F + \frac{t_g - t_1}{1/\alpha_k} F, \quad (3.5)$$

3. Воздух помещения вокруг трубы [148, 172]:

$$V_B c_B \rho_B \frac{dt_B}{d\tau} = \sum_j^n \frac{t_{\Pi} - t_B}{1/\alpha_k} F_j + L \times \rho \times c \times (t_{B.п.} - t_B), \quad (3.6)$$

где Π - поверхность теплопровода, V_B – объем воздуха, m^3 , $t_{B.п.}$ – температура воздуха в помещении, $^{\circ}C$.

Балансовые уравнения в дифференциальном виде для теплоизолированной трубы с теплоносителем:

1. Теплоноситель на i -м участке трубы [148, 172]:

$$V_{wi}c_{wi}\rho_{wi}\frac{dt_{wi}}{d\tau} = \frac{t_1 - t_{wi}}{1/\alpha_w} \times F_i, \quad (3.7)$$

2. стенка трубы [148, 172]:

$$V_1c_1\rho_1\frac{dt_1}{d\tau} = \frac{t_{wi} - t_1}{1/\alpha_w} F + \frac{t_j - t_1}{\frac{\delta_1}{2\lambda_1} + \frac{\delta_j}{2\lambda_j}} F_j, \quad (3.8)$$

2. тепловая изоляция [148, 172]:

$$V_jc_j\rho_j\frac{dt_j}{d\tau} = \frac{t_1 - t_j}{\frac{\delta_1}{2\lambda_1} + \frac{\delta_j}{2\lambda_j}} F_j + \frac{t_{j+1} - t_j}{\frac{\delta_{j+1}}{2\lambda_{j+1}} + \frac{\delta_j}{2\lambda_j}} F_j, \quad (3.9)$$

Количество уравнений зависит от количества слоев, на которые разбивается тепловая изоляция. Толщина слоя (δ) зависит от теплотехнических свойств утеплителя и от толщины слоя резких колебаний утеплителя и не должна быть больше него. Такой подход приводит к унификации процесса расчета, не снижает точность и не приводит к росту времени расчета. Если толщина слоя меньше слоя резких колебаний, то незначительно увеличивается точность, а время расчета возрастает на порядок и более.

3. поверхностный слой тепловой изоляции [148, 172] :

$$V_kc_k\rho_k\frac{dt_k}{d\tau} = \frac{t_\delta - t_k}{1/\alpha_k} F_k + \frac{t_{k-1} - t_k}{\frac{\delta_{k-1}}{2\lambda_{k-1}} + \frac{\delta_k}{2\lambda_k}} F_k + Q_l^{c.p.}, \quad (3.10)$$

5. уравнение для воздуха помещения, обтекающего трубу с тепловой изоляцией аналогично уравнению (3.6).

Балансовые уравнения в дифференциальном виде объединяются в систему уравнений для набора участков, на которые разбиваются

теплопроводы в каждом помещении здания, решаются итерационным способом. Итогом расчета является температурный режим помещения, на который влияют каждый из участков системы отопления отдельно и совместно, а также более точное значение температуры теплоносителя, циркулирующего по системе отопления.

Длина участка выбирается исходя из того, чтобы на участке температура теплопровода была близка к постоянной. Так как вода остывает, то меняется ее температура, но так как вода движется с заданной скоростью, то процесс ее остывания в теплопроводе, отличается от случая, когда вода находится в неподвижном состоянии. Вода в теплопроводе остывает постоянно и соответственно температура по длине теплопровода разная, но ее диапазон изменения находится в заданных пределах. Если участком теплопровода, на котором можно считать температуру постоянной принять в пределах ее изменения на 1°C, то тогда длины участков будут переменной длины, что усложнит физико-математическое моделирование. Для определения длины участка теплопровода получена зависимость:

$$l = \frac{G \times c}{d \times k \times (t_{mp} - t_g)}, \quad (3.11)$$

Если температуру воздуха принять равной 18°C, то температура теплоносителя зависит температурных условий вне здания и является переменной величиной. Для упрощения моделирования принимаем длины участков, на которые разбиваются теплопроводы системы отопления, равными длине 0,1-0,2 м. Расчетным путем определяется температура теплопровода в начале и в конце участка, определяется средняя температура, что позволяет определить расход воздуха в конвективной струе, а с ней и количество теплоты, поступающей в помещение [38, 167].

Образование конвективной струи происходит по-разному если участок нагретой трубы расположен горизонтально или вертикально. Длинномерная плоская струя формируется около горизонтальной нагретой трубы, при этом

скорость воздуха в струе уменьшается из-за остывания теплоносителя в трубе. На рисунке 3.9 показан разделенный на теплопровод без тепловой изоляции.

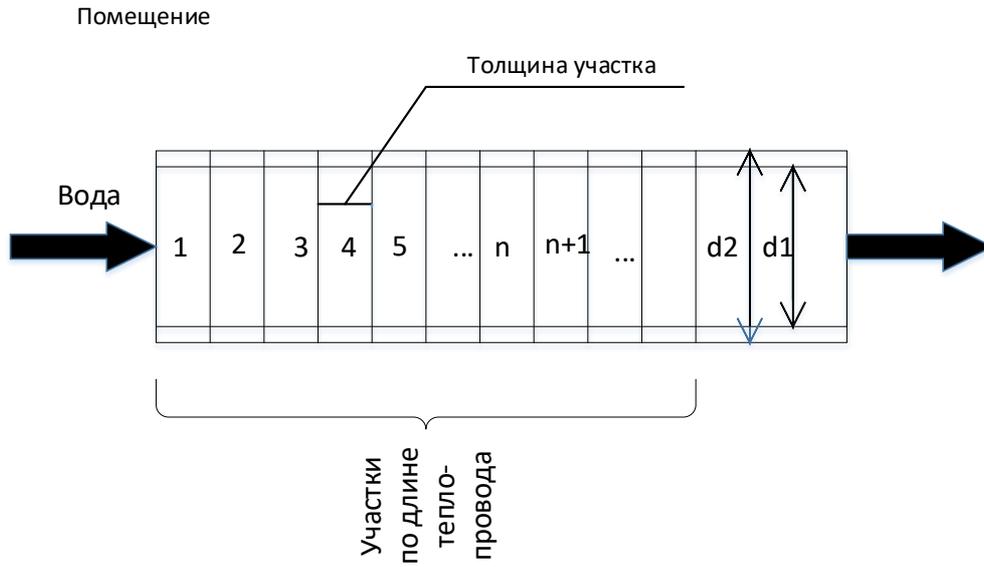


Рисунок 3.9 Теплопровод, разделенный на участки

Теплопровод, разделенный на участки показан на рисунке 3.9, где показаны: число участков N , длина участка $\delta_{уч}$, м, d_1 , d_2 – внутренний и внешний диаметры трубы.

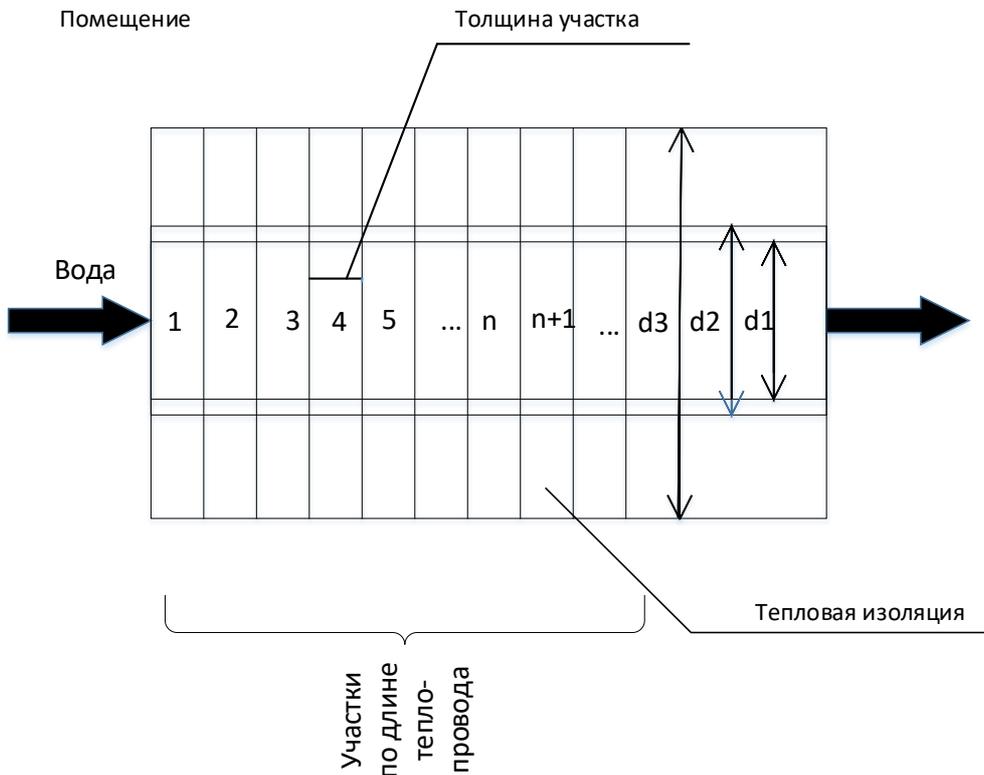


Рисунок 3.10 Разделение теплоизолированного теплопровода на участки

Разделение теплоизолированного теплопровода на участки показано на рис. 3.10, где число участков N , длина участка $\delta_{\text{уч}}$ м, d_1 , d_2 – внутренний и внешний диаметры трубы, d_3 - диаметр теплоизолированной трубы, $\delta_{\text{из,м}}$ – толщина тепловой изоляции.

У вертикальной нагретой трубы образуется вертикальная струя. Температура трубы изменяется и меняются параметры восходящей струи. При разбиении вертикальной горячей трубы на N участков получается N восходящих нагретых струй. В зависимости от направления движения теплоносителя в трубе сверху-вниз или снизу-вверх будет отличаться температура участков. Скорость струй и поток воздуха при наложении струй будут расти. На основе принципа суперпозиции определяем суммарные скорости струй. Если теплопроводы теплоизолированы, то конвективные струи, образующиеся около них, будут иметь меньшие скорости.

При равенстве теплового потока в продольном и поперечном направлениях на малом участке трубы выполняется равенство:

$$\Delta Q_{\text{пов}} = \Delta Q_{\text{вода}}, \quad (3.12)$$

где $\Delta Q_{\text{пов}}$ – теплопотери с поверхности теплоизоляционной или не теплоизолированной трубы, Вт; $\Delta Q_{\text{вода}}$ – теплопотери при остывании воды, Вт.

Движение воды связано с трением воды о стенки теплопровода. Чем больше скорость течения воды, тем выше выделение теплоты при трении.

$$Q = \Delta P \times L, \quad (3.13)$$

где ΔP – потери давления при трении, Па, L – расход воды, м³/с.

Рассмотрена стальная труба длиной 10 м без тепловой изоляции. Труба разбита на участки длиной 1 м. Результаты расчетов изменения температуры на каждом участке трубы системы отопления показаны на рис. 3.11.

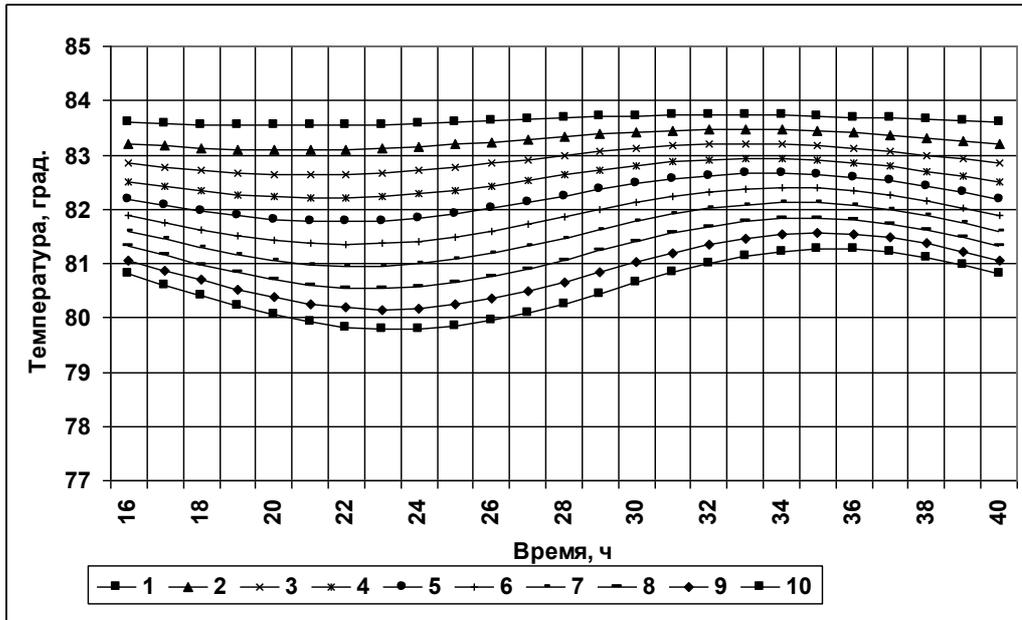


Рисунок 3.11 Изменение температуры воды в трубе

«Здание состоит из отапливаемых и не отапливаемых помещений. Рассмотрим отапливаемые помещения, которые по совокупности тепловых потоков однотипны (жилое здание)» [180].

«Тепловые потери в помещениях состоят из теплопотерь через ограждения и от инфильтрации:

$$Q_{зд} = \sum Q_n^{потери} = \sum_1^n \left(\sum_1^m Q_{огр} + Q_u \right), \quad (3.14)$$

где $Q_{зд}$ – суммарные тепловые потери помещениями здания, Вт, $Q_n^{потери}$ – тепловые потери помещением, Вт, $Q_{огр}$ – тепловые потери через наружные ограждения, Вт, Q_u – тепловые потери от поступающего в помещения воздуха за счет инфильтрации, Вт» [180].

«Тепловые поступления в помещения здания состоят из теплопоступлений от людей, бытового и другого оборудования, солнечной радиации и системы отопления:

$$Q_{зд}^n = \sum Q_n^{поступления} = \sum_1^n \left(\sum_1^k Q_{люди} + \sum_1^l Q_{тех} + Q_{с.р.} + Q_{с.о.} \right), \quad (3.15)$$

где $Q_{зд}$ – суммарные тепловые поступления в помещения здания, Вт, $Q_{п}^{поступления}$ – тепловые поступления в каждом помещении, $Q_{люди}$ – тепловые поступления от людей, Вт, $Q_{тех}$ – тепловые поступления от бытового оборудования, Вт, $Q_{с.р.}$ – тепловые поступления за счет солнечной радиации, которые являются справочной величиной и формируется при математическом моделировании как исходные данные, Вт, $Q_{с.о.}$ – тепловые поступления от системы отопления, Вт» [180].

«Суммы тепловых потерь и тепловых поступлений равны, а с учетом тепловой инерционности здания и системы отопления их равенство будет не совпадать во времени.

$$\sum Q_n^{потери} = \sum Q_n^{поступления}, \quad (3.16)$$

Балансовое уравнение для расчета изменения температуры воздуха в помещениях здания, запишем следующим образом:

$$\frac{dt_{vi}}{d\tau} = \frac{\sum_1^k Q_{люди} + \sum_1^l Q_{тех} + Q_{с.р.} + Q_{с.о.} - \sum_1^m Q_{опр} - Q_u}{V_{vi} c_{vi} \rho_{vi}}, \quad (3.17)$$

где, V_{vi} – объем воздуха i помещения, m^3 , c_{vi} – теплоемкость воздуха, $kJ/(kg \times ^\circ C)$, ρ_{vi} – плотность воздуха i помещения, kg/m^3 , « [180].

«Балансовые уравнения тепловых потоков, поступающих и уходящих от каждого i слоя ограждающих конструкций в помещении, имеет вид:

$$\frac{dt_i}{d\tau} = \frac{\sum Q_{пост.} - \sum Q_{ном.}}{V_i c_i \rho_i}, \quad (3.18)$$

где, V_i – объем материала i слоя ограждающей конструкции в помещении, m^3 , c_i – теплоемкость материала i слоя ограждающей конструкции в помещении, $kJ/(kg \times ^\circ C)$, ρ_i – плотность материала i слоя ограждающей конструкции в помещении, kg/m^3 », [180].

«Каждое теплотеряющее помещение здания имеет в своем объеме элементы системы отопления, например, в виде стояка, подводок,

расположенных в открытом виде, и отопительного прибора, которые передают теплоту в помещение ($Q_{\text{стояк}}$, $Q_{\text{подводки}}$, $Q_{\text{от.п.}}$).

$$Q_{c.o.} = Q_{\text{стояк}} + Q_{\text{подводки}} + Q_{\text{от.п.}}, \quad (3.19)$$

В стояке, подводках и отопительном приборе находится теплоноситель, например, вода с температурой, зависящей от температуры наружного воздуха и от теплового обмена воздуха и ограждений помещения с наружными поверхностями стояка [150], подводок и отопительного прибора. В систему отопления помещения поступает теплоноситель в количестве и с температурой для компенсации тепловых потерь помещением с количеством теплоты $Q_{\text{нач.}}$, а уходит теплоноситель из помещения остыв с количеством теплоты $Q_{\text{кон.}}$, отдавая необходимое количество теплоты для обогрева помещения.

$$\frac{dt_{wi}}{d\tau} = \frac{Q_{\text{нач.}} - Q_{\text{кон.}}}{V_{wi} c_{wi} \rho_{wi}}, \quad (3.20)$$

где, V_{wi} – объем воды как теплоносителя в элементах системы отопления в каждом помещении, м^3 , c_{wi} - теплоемкость воды, $\text{кДж}/(\text{кг} \times ^\circ\text{C})$, ρ_{wi} – воды, $\text{кг}/\text{м}^3$ », [180].

3.5. Выводы по главе 3

1. Создан метод физико-математического моделирования и анализа динамики тепломассообменных режимов здания с учетом возмущающих воздействий и баз данных, которые позволяют реализовывать разработанные физико-математические модели.

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 и водяного пара с учетом режимов работы источников, формирующих возмущающие воздействия. Метод физико-математического моделирования и анализа динамики тепломассообменных режимов здания с учетом возмущающих воздействий заключается в комплексном и взаимосвязанном расчете систем дифференциальных балансовых уравнений баланса процессов тепломассообмена. Параметры микроклимата, расходы воздуха и теплоносителя взаимоувязывают 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 [150]. Возмущающие воздействия могут иметь различный характер изменения во времени.

2. Сформирована последовательность физико-математического моделирования теплового режима помещения с учетом баз данных, формирующих тепловой режим здания.

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.

3. Получены результаты расчета теплового режима помещений при учете изменения температуры в наружном воздухе.

Результаты расчетов тепловых режимов помещений в здании участвуют как исходные данные в расчетах воздушных режимов помещений. Одним из основных теплообменных режимов здания является тепловой режим, который 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 отличается 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.

4. Предложена последовательность расчета нестационарной теплопередачи элементов системы отопления в помещении.

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, что необходимо выявить при реализации физико-математической математической модели теплового режима помещений здания.

Здание состоит из отапливаемых и не отапливаемых помещений. Рассмотрены отапливаемые помещения, которые по совокупности тепловых потоков однотипны, что имеет место, например, в жилом здании.

Глава 4. Вариативное и комплексное физико-математическое моделирование микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания

4.1 Вариативная комплексная физико-математическая модель микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания

Вариативная комплексная физико-математическая модель микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания является математическим ядром технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем зданий.

Вариативная комплексная физико-математическая модель микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем 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.

Вариативное и комплексное физико-математическое моделирование микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе 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, создающих заданные параметры микроклимата и концентрации примесей в воздухе помещений при совместной и комплексной работе инженерных систем здания. Микроклимат здания рассматривается как совокупность микроклиматов помещений,

которые могут отличаться в зависимости от назначения помещений. Качество воздушной среды здания рассматривается как совокупность качественного состава воздушной среды помещений, которые также могут отличаться в зависимости от назначения помещений.

Физико-математическое моделирование воздушного, теплового и газового режимов при совместной и комплексной работе инженерных систем здания проводится комплексно во взаимосвязи между режимами. Однако разнообразие зданий, и решаемых в них задач по формированию параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем широко варьируется, что требует вариативного подхода, который реализуется при физико-математическом моделировании каждого режима в отдельности или в любом сочетании в зависимости от решаемой задачи. При физико-математическом моделировании одного из тепломассообменных и газового режимов, остальные режимы так же присутствуют, но в упрощенной или заданной форме, с заданными параметрами, что сокращает время моделирования и позволяет быстрее проводить анализ параметров микроклимата и концентраций примесей и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем, и формировать проектные решения инженерных систем. На рисунке 4.1 показаны варианты вариативности при физико-математическом моделировании микроклимата и качества воздушной среды здания (а), помещения (б) и группы помещений (в).

Кроме того, иногда необходимо проанализировать параметры микроклимата и состав воздушной среды одного помещения или ряда помещений, или части здания, для которых можно сформировать модели тепломассообменных и газового режимов. В экологически благоприятных территориях зачастую рассмотрение газового режима здания не требуется, а в помещении с бассейном требуется рассмотрение влажностного режима [266, 267] и т.п.

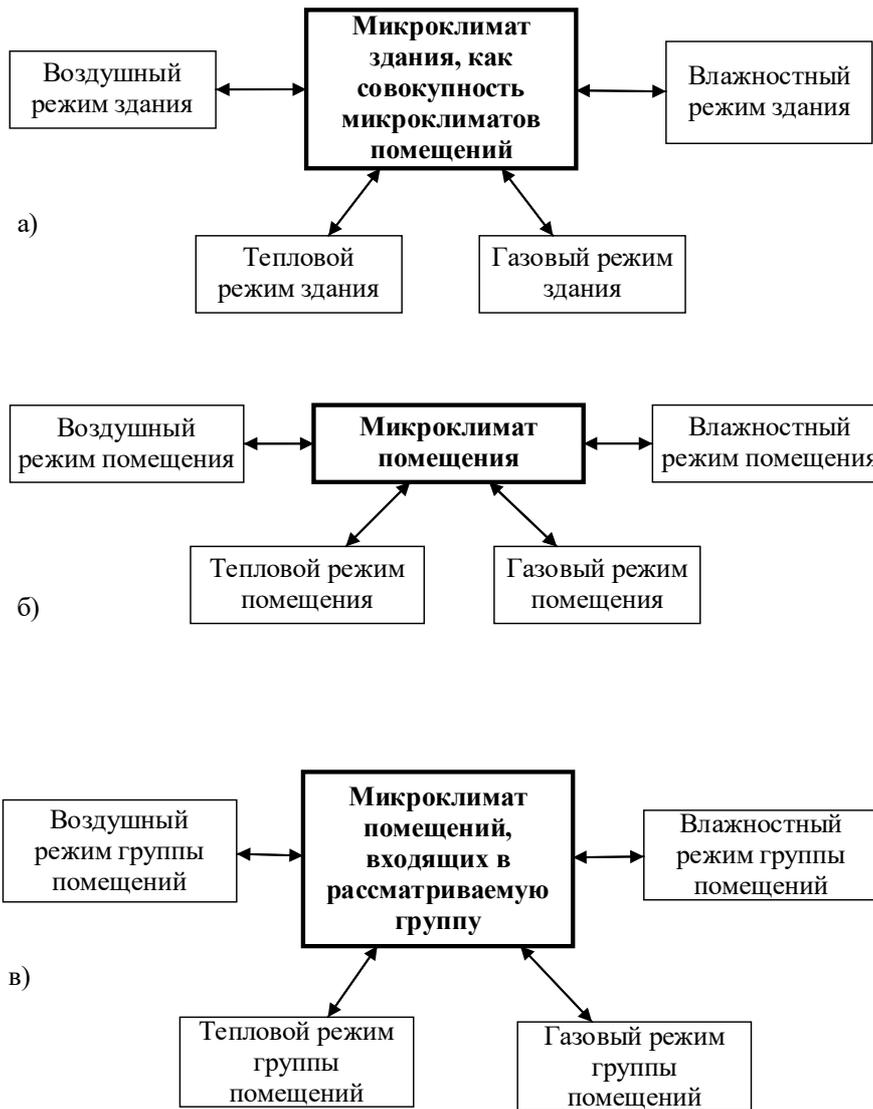


Рисунок 4.1. Вариативность физико-математических моделей динамических тепломассообменных и газового режимов для здания (а), для помещения (б), для группы помещений (в)

Технология вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем зданий включает в себя метод формирования проектных решений для создания и управления микроклиматом и качеством воздушной среды зданий при совместном и комплексном действии инженерных систем.

Технология вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества

воздушной среды зданий основана на физико-математическом моделировании динамических тепломассообменных и газового режимов здания при совместной и комплексной работе инженерных систем.

Взаимосвязь комплексного и вариативного физико-математического моделирования, и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем показана на рисунке 4.2.

Комплексное физико-математическое моделирование динамических тепломассообменных и газового режимов при совместной и комплексной работе инженерных систем в здании позволяет получить прогноз изменения параметров микроклимата и качества воздушной среды во времени в помещениях здания.

Многообразие задач, решаемых при проектировании здания, требует вариативности при физико-математическом моделировании изменения балансов тепловых, воздушных и газовых потоков и работы инженерных систем.

При прогнозировании изменений параметров микроклимата и концентрации примесей в воздушной среде применяются следующие физико-математические модели вентилируемого помещения: однозонная, двухзонная и многозонная. Так как все здания разные, то и физико-математические модели для моделирования требуют разного времени для исполнения и имеют различный уровень сложности. Для формирования вариативности и комплексности моделирования микроклимата и качества воздушной среды применяется физико-математическое моделирование динамических тепломассообменных и газового режимов.

Взаимное влияние имеет место для следующих динамических режимов здания: ВРЗ на ТРЗ, ТРЗ на ВРЗ, ТРЗ на ВлРЗ, ВРЗ на ГРЗ. Влияние ВлРЗ и ГРЗ на ВРЗ отсутствует.



Рисунок 4.2. Вариативность и комплексность при физико-математическом моделировании

Вариативность предполагает возможность проведения расчетов различных вариантов инженерных решений для всего здания, части здания, группы помещений, одного помещения при поиске необходимого инженерного решения. Физико-математическое моделирование рассматриваемых динамических режимов здания совместно с работой инженерных систем позволяет получить качественную картину динамики параметров микроклимата и качества воздушной среды и с учетом требований нормативных документов принять решение о выборе конкретного варианта инженерных систем.

4.2 Физико-математическое моделирование теплового режима здания при совместной и комплексной работе инженерных систем

Физико-математическое моделирование теплового режима здания реализуется при решении уравнений теплопроводности, конвективного и лучистого теплообмена.

Тепловым режимом здания формируются значения температуры воздуха в помещениях, изменяющиеся с течением времени и влияющие на другие тепломассообменные и газовый режимы здания. Прогнозирование изменения температуры внутреннего воздуха всех помещений рассмотрено на основе процессов теплообмена и теплопередачи с учетом действия источников теплоты. Все помещения в здании приняты однозонные. Для расчетов необходимо сформировать системы уравнений.

Для однозонного помещения дифференциальные балансовые уравнения приведены ниже:

1. воздух в i -м помещении [148, 172]:

$$V_{ei} c_{ei} \rho_{ei} \frac{dt_{ei}}{d\tau} = \sum_j^n \frac{t_j - t_{ej}}{1/\alpha_k} F_j + \sum_k^m L_{нк} c_{вк} \rho_{вк} + \sum_k^l Q_k^{яен}, \quad (4.1)$$

2. j -й внутренний поверхностный слой стены, перекрытия [148, 172] :

$$V_{mi} c_{mi} \rho_{mi} \frac{dt_{mi}}{d\tau} = \frac{t_{ei} - t_{mj}}{1/\alpha_k} F_j + \frac{t_{mj+1} - t_{mj}}{\frac{\delta_{j+1}}{2\lambda_{j+1}} + \frac{\delta_j}{2\lambda_j}} F_j + \frac{t_R - t_{mj}}{1/\alpha_l} F_j + Q_l^{c.p.}, \quad (4.2)$$

Поверхность стены, перекрытия [148, 172]

$$t_n = t_\epsilon - \frac{1/\alpha_\epsilon + \delta_1/(2\lambda_1)}{R} (t_\epsilon - t_{\epsilon-n})$$

3. внутренние слои стены, пола, потолка [148, 172]:

$$V_{mi+1} c_{mi+1} \rho_{mi+1} \frac{dt_{mi+1}}{d\tau} = \frac{t_{mj} - t_{mj+1}}{\frac{\delta_{j+1}}{2\lambda_{j+1}} + \frac{\delta_j}{2\lambda_j}} F_j + \frac{t_{mj+2} - t_{mj+1}}{\frac{\delta_{j+1}}{2\lambda_{j+1}} + \frac{\delta_{j+2}}{2\lambda_{j+2}}} F_j, \quad (4.3)$$

4. поверхностный слой стены, перекрытия [148, 172]:

$$V_{MK} c_{MK} \rho_{MK} \frac{dt_{MK}}{d\tau} = \frac{t_{усл} - t_{MK}}{1/\alpha_H} F_K + \frac{t_{MK-1} - t_{MK}}{\frac{\delta_{K-1}}{2\lambda_{K-1}} + \frac{\delta_K}{2\lambda_K}} F_K, \quad (4.4)$$

$$V_{MK} c_{MK} \rho_{MK} \frac{dt_{MK}}{d\tau} = \frac{t_H - t_{MK}}{1/\alpha_K} F_K + \frac{t_{MK-1} - t_{MK}}{\frac{\delta_{K-1}}{2\lambda_{K-1}} + \frac{\delta_K}{2\lambda_K}} F_K + Q_l^{c.p.}, \quad (4.5)$$

Стены, перекрытия разбиваем на слои, толщина которых определяется толщиной слоя резких колебаний температуры [17], которые определяются теплотехническими характеристиками материалов из условия [148, 172]:

$$R \times S = 1, \quad \frac{\delta}{\lambda} \times S = 1, \quad \delta = \frac{\lambda}{S},$$

Слой резких колебаний быстрее откликается тепловое воздействие, чем вся остальная толща стены или перекрытия. Слишком мелкое разбиение на слои приведет к несходимости модели, так как объем слоя будет стремиться к 0, а также это ведет к неоправданному росту времени расчета, и не ведет к увеличению точности расчета.

Дифференциальное Балансовое уравнение в дифференциальной форме для воздуха, обтекающего трубу системы отопления можно записать следующим образом [148, 172]:

$$V_{к.стр.} c_v \rho_v \frac{dt_{к.стр.}}{d\tau} = \sum_j^n \frac{t_j - t_{ej}}{1/\alpha_K} F_j, \quad (4.6)$$

Воздух под действием конвекции перемещается в верхнюю зону помещения. Расход воздуха, проходящего около нагретой поверхности теплопровода, получаем на основе методики расчета конвективных струй. Воздух окружающий струю захватывается в объем струи при ее расширении с температурой окружающего воздуха, догревается, и поступая в воздушный объем помещения, корректирует его температуру, также происходит

изменение температуры поверхности трубы и температуры теплоносителя. Детальный расчет этих температур позволит определить фактические потоки теплоты в помещение, что позволит более точно регулировать комфортное сочетание параметров микроклимата [13].

4.3 Физико-математическое моделирование воздушного режима здания при совместной и комплексной работе инженерных систем

Физико-математическое моделирование воздушного режима здания производится при расчете массопереноса от действия избыточных давлений воздуха, формирующихся в помещениях и снаружи здания.

Воздушный режим здания разделен на 3 части: внутреннюю, краевую и внешнюю, для прогнозирования величины потоков воздуха, перемещающихся по помещениям, поступающих, уходящих и перетекающих в помещениях здания, перенося теплоту и вредные примеси.

Во внутренней части воздушного режима здания изучается помещение с потоками воздуха в нем.

Если помещение рассматривается как многозонное, то в нем необходимо определить потоки через границы элементарных объемов (ЭО), что позволит в последующем получить распределение вредных примесей проведя расчеты ГРЗ. Определить потоки воздуха через границы зон (элементарных объемов) в помещении возможно на основе комплексного потенциала течения и теории источников и стоков [148, 172]. Физико-математическое моделирование струйного течения с помощью источников и стоков позволяет получить значения расходов воздуха через различные плоскости в помещении для определения локальных кратностей воздухообмена в отдельных частях помещения.

В краевой части воздушного режима здания изучается движение воздуха через оболочку здания, через неплотности, окна, двери, проемы и т.д.

Распределение гравитационного и ветрового давления по высоте здания неравномерное. На первом этаже сумма гравитационного и ветрового давлений имеет максимальное значение на последнем минимальное. Воздух поступает в помещения здания через неплотности окон, интенсивность поступления определяется их сопротивлением воздухопроницанию. При расчете ВРЗ давление воздуха в каждом помещении определяем, зная сопротивления воздухопроницанию элементов ограждающих конструкций здания, их площади, расходы воздуха от системы вентиляции [148, 172]. Методика этого расчета сформирована с учетом работ профессора В.П. Титова.

$$P_{\Gamma} = H \times g \times (\rho_{\text{H}} - \rho_{\text{B}}), \quad (4.7)$$

$$P_{\text{B}} = 0,29 \times \rho_{\text{H}} \times v^2, \quad (4.8)$$

$$P_{\text{c,n}} = P_{\Gamma} + P_{\text{B}}, \quad (4.9)$$

Решаем систему уравнений для каждого помещения [148, 172]:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_0^{k+1} = \frac{\sum \frac{G_{\Sigma,n}^k \times P_{\text{c,n}} \pm \Delta G_{\text{мех}}}{P_{\text{c,n}} - P_0^k}}{\sum \frac{G_{\Sigma,n}^k}{P_{\text{c,n}} - P_0^k}}, \\ \dots \end{array} \right. \quad (4.10)$$

$$G = \frac{|\Delta P|^{-\kappa}}{R_u} \times F \times \frac{\Delta P}{|\Delta P|}, \quad (4.11)$$

По выражению (4.11) получаем все необходимые для ВРЗ расходы воздуха (приток воздуха в помещение со знаком плюс, уходящий воздух из помещения со знаком минус) [148, 172, 315].

Данный расчет является стационарным, а нестационарность ВРЗ получается за счет перерасчета ВРЗ на каждом шаге при изменившемся тепловом режиме помещений здания. Скорость ветра в приземном слое атмосферы изменяется по высоте экспоненциально, величина скорости ветра зависит от состояния приземного слоя атмосферы [124,163].

В верхней точке здания ветровое давление равно давлению на открытой местности, у наветренной вертикальной поверхности фасада здания имеет место снижение давления примерно на 20 %, это учитывается аэродинамическим коэффициентом 0,8. Изменение давления у поверхности наветренного фасада получено на основе линейного уменьшения давления с коэффициентом 0,8 у поверхности наветренного фасада.

Второе давление, которое определяет ВРЗ – гравитационное давление, характеризующееся разностью плотностей наружного и внутреннего воздуха и высотой здания.

При моделировании работы каналов по пропусканию уходящего воздуха из квартир жилого здания учитывается нестационарность расходов воздуха в суточном режиме. Проводится совместный расчет воздушного, теплового режимов здания с учетом работы каналов.

При открывании окон изменяется сопротивление воздухопроницанию, что учитывается в заданный период суток при моделировании.

Во внешней части воздушного режима здания изучается обтекание здания потоком ветра, который создает поле ветровых давлений на внешней поверхности здания.

Перемещение воздуха вокруг и около поверхности высотного здания изучается внешней частью воздушного режима здания. Воздушный поток обтекает здание с образованием наветренного и заветренного воздушных объемов аэродинамического следа. Внутри наветренной вихревой зоны статическое давление падает в связи с распределением ветрового потока, при котором турбулентные вихри огибают здание от наветренного через боковые фасады, перетекая в заветренную область. При обтекании здания ветром выделим три зоны: верхнюю, среднюю и нижнюю. В верхней зоне воздух движется над кровлей здания в заветренную часть, у наветренной поверхности фасада воздух движется вниз в среднюю зону и через боковые фасады перетекает в заветренную область. В средней зоне воздух направлен в низ вдоль поверхности наветренного фасада к нижней зоне и через боковые

фасады в заветренную вихревую область здания. В нижней зоне воздух перемещается к боковым фасадам и в заветренную область здания. Верхние слои воздуха давят на нижние слои, что приводит к росту скорости ветра у поверхности земли.

Движение воздуха по каналам естественной системы вентиляции, относится к краевой части воздушного режима здания.

Для получения более точной картины движения воздуха в помещениях здания в результате инфильтрации, эксфильтрации, перетекании воздуха по зданию необходимо знать распределение давлений воздуха в каждом помещении здания, на это давление влияют расположенные в здании каналы естественной системы вентиляции. Более точное количество воздуха, движущегося по каналам можно определить, получив давление воздуха в помещении при одновременном расчете ВРЗ и нестационарного процесса движения воздуха по указанным вентиляционным каналам.

Рассмотрим вентиляционный канал системы естественной вентиляции, представляющий собой основной вентканал, проходящий через все этажи здания и к которому под углом присоединены спутниковые вентканалы, через которые воздух поступает из квартир здания в общий канал и удаляется в атмосферу. Для определения скоростей в вентканалах рассмотрим фрагмент вентканала (канала) показанный рисунке 4.3, где 1 – часть сборного канала до присоединения спутникового канала, 2 – спутниковый канал, 3 – сборный канал после соединения со спутниковым каналом.

Спутниковый канал расположен по отношению к оси слияния сборного канала 3 под углом α_2 , сборный канал 1 расположен под углом $\alpha_1 = 0$ по отношению к оси сборного канала 3. По каналам 1,2,3 движется воздух с расходами L_1, L_2, L_3 и скоростями v_1, v_2, v_3 , каналы имеют площадь живого сечения f_1, f_2, f_3 . Скорость воздуха в каналах различна, сложным элементом здесь является процесс слияния потоков и получение реальной скорости v_3' которая отличается в большую сторону от скорости v_3 полученной делением суммарного расхода в каналах 1 и 2 на площадь живого сечения канала 3, что

связано с изменением статического давления в точке слияния за счет эжектирующего эффекта.

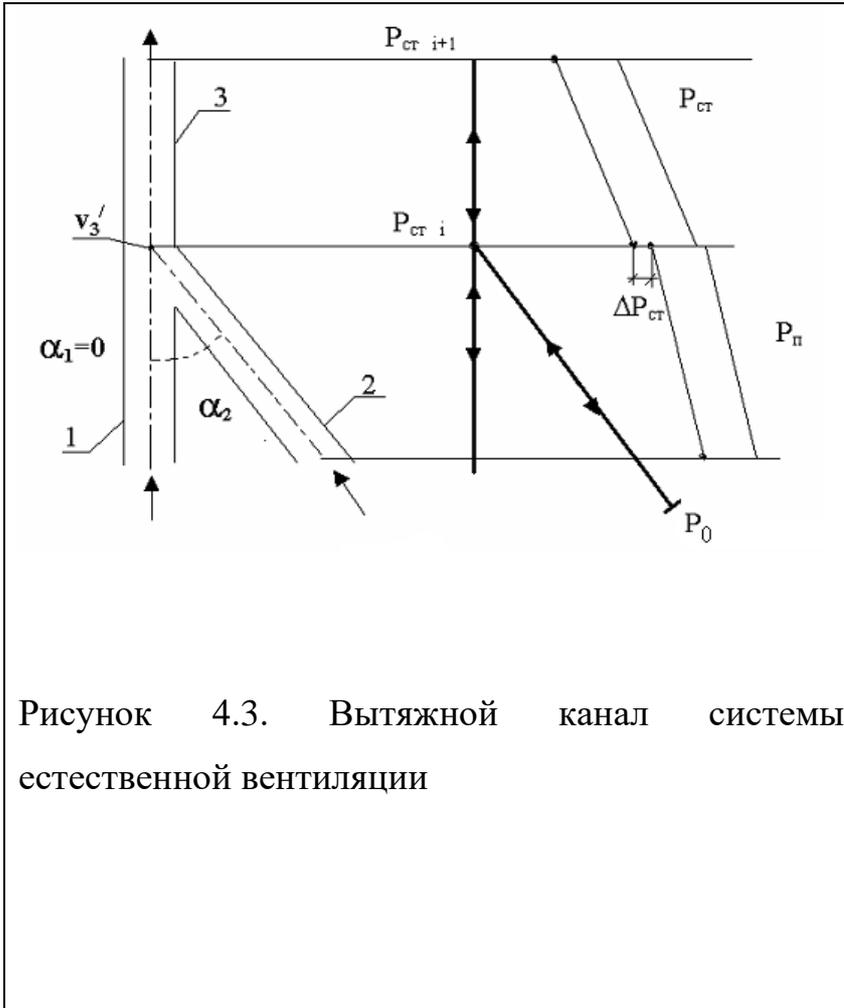


Рисунок 4.3. Вытяжной канал системы естественной вентиляции

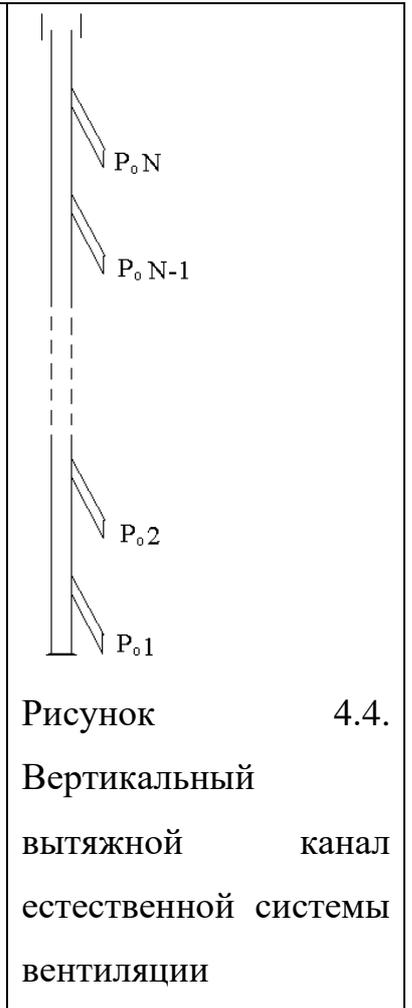


Рисунок 4.4. Вертикальный вытяжной канал естественной системы вентиляции

На рисунке 4.4 показан вертикальный сборный канал естественной системы вентиляции со спутниковыми каналами многоэтажного здания.

$$v_3 = \frac{L_1 + L_2}{f_3}, \quad (4.12)$$

$$v_3' = \frac{L_1}{L_1 + L_2} \times v_1 \times \cos \alpha_1 + \frac{L_2}{L_1 + L_2} \times v_2 \times \cos \alpha_2, \quad (4.13)$$

При соотношении скоростей $v_3' \geq v_3$ изменение статического давления при слиянии потоков можно вычислить по формуле:

$$\Delta P_{cm} = \frac{\rho \times (v_3' - v_3)^2}{2}, \quad (4.14)$$

При соотношении скоростей $v_3' < v_3$ изменение статического давления при слиянии потоков можно вычислить по формуле:

$$\Delta P_{cm} = \frac{\rho}{2} \times \left((1,5 - 0,5 \times \frac{v_3'}{v_3}) \times v_3^2 + v_3'^2 \right), \quad (4.15)$$

расход воздуха, проходящий по каналу 2:

$$L_i = \frac{\sqrt{|P_o - P_{cm,i}|}}{S_2} \times \frac{|P_o - P_{cm,i}|}{P_o - P_{cm,i}}, \quad (4.16)$$

сопротивление движению воздуха:

$$S_2 = (\lambda_2 \frac{l_2}{d_2} + \sum \xi - 1) \times \frac{\rho_2}{2f_2^2}, \quad (4.17)$$

где сумма коэффициентов местных сопротивлений в канале 2 без тройников.

Статическое давление в конце канала 3:

$$P_{cm,i+1} = P_{cm,i} - \Delta P_{cm} - L_3^2 S_3 (|L_3| / L_3), \quad (4.18)$$

$$S_3 = (\lambda_3 \frac{l_3}{d_3} + \sum \xi) \times \frac{\rho_3}{2f_3^2}, \quad (4.19)$$

В каждом помещении здания, оборудованного естественной системой вентиляции, имеет место давление воздуха, отличное от других помещений и которое постоянно изменяется, влияя на расходы воздуха в вентиляционных каналах и на расходы перетекающего по зданию воздуха.

4.4 Физико-математическое моделирование газового режима здания при совместной и комплексной работе инженерных систем

Информацию о движении потоков воздуха в здании совместно с вредными примесями позволяет получить физико-математическое моделирование газового режима здания.

Помещения в здании могут иметь всевозможные планировки и необходимые технологические источники вредных примесей могут быть размещены разнообразно, что определяет динамику распространения вредных примесей и определяет параметры расчета внутренней части газового режима здания. Все помещения должны быть обеспечены системой вентиляции, что необходимо для обеспечения требуемых санитарно-гигиенических параметров микроклимата и качества воздушной среды, и что является элементом безопасности человека. Размерами помещений определяется вид физико-математической модели помещения на основании которой будет рассчитываться газовый режим помещения (однозонная, двухзонная или многозонная) [178, 264, 265, 262, 341]. Вредные примеси в воздухе движутся в объеме помещения под действием ВРЗ и струйных течений, диффузии и гравитационных сил.

Предложены однозонные, двухзонные и многозонные физико-математические модели газового режима помещения, которые позволяют провести расчеты распределения концентрации примеси в воздухе помещения. В помещении может находиться источник примесей, а если источника примесей в помещении нет, то примесь поступает с потоками перетекающего, эксфильтрующегося, инфильтрующегося воздуха от источника или источников, расположенных в других помещениях здания или вне рассматриваемого здания [148, 172].

Однозонная физико-математическая модель газового режима помещения предполагает осреднение по объему помещения концентрации вредных примесей [148, 172], поступающих от внутреннего или внешнего источника,

помещение рассматривается во взаимосвязи с другими помещениями здания с учетом влияния ВРЗ и ТРЗ. Для моделирования распределения концентрации примеси в воздухе помещения, где работает источник примеси необходимы следующие исходные данные: геометрические размеры помещения; его расположение в здании, архитектурно-строительные данные: планы этажей и характерные разрезы здания, что позволяет установить наличие связей с другими помещениями здания; режим работы помещения и других помещений здания; теплотехнические характеристики материалов ограждающих конструкций; сопротивление по воздуху дверей и окон; режим работы систем формирующих микроклимат; значения параметров микроклимата в помещении в момент начала работы источника вредных примесей; время начала, продолжительность работы и мощность источника вредных примесей; мощность источников тепlopоступлений и стоков тепла и расходы подаваемого и удаляемого воздуха; значение параметров наружного климата за последние пять дней (температура, скорость ветра, концентрация примеси в воздухе), а если здание имеет массивные наружные ограждающие конструкции, то за последние 10 дней и более.

Двухзонная физико-математическая модель вентилируемого помещения предполагает осреднение информации по каждом из двух зон [148, 172]. При многозонной модели проводится разделение помещения на объемы, в которых принято равномерное распределение концентрации примеси в воздухе [148, 172]. Приточные и конвективные струи выделяются в самостоятельные объемы (зоны). Для каждого объема (зоны) составляем балансовое уравнение в дифференциальной форме по сохранению массы и энергии, а итоговую систему уравнений для каждого объема в помещении решаем одним из итерационных способов.

Схема рассмотрения помещения на основе разных моделей воздушного режима помещения показана на рисунке 4.5.

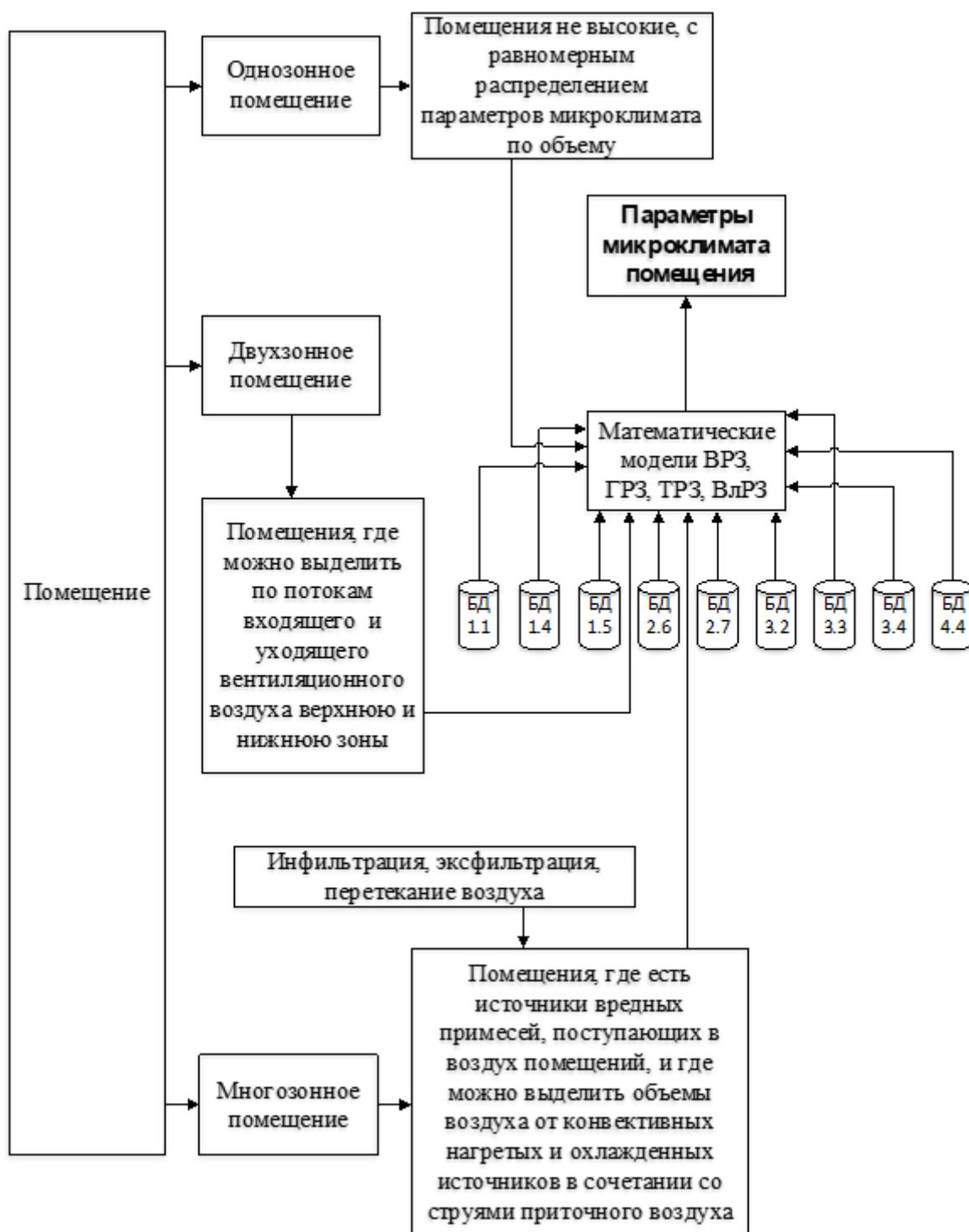


Рисунок 4.5 Схема помещения при формировании одно, двух и многозонной моделей воздушного режима

Каждый элементарный объем (ЭО), на которые условно разбивается объем помещения, имеет форму куба, через грани которого происходит тепломассообмен. В каждом блоке выделяется или поглощается вредная примесь.

Математические модели газового режима помещения зависят от результатов расчета параметров внутренней части воздушного режима здания.

Балансовое уравнение в дифференциальном виде для однозонного помещения запишем так [148, 172]:

$$\begin{aligned}
 M(\tau)d\tau + \sum_i G_{ni}(\tau)c_n d\tau / \rho_n + \sum_i G_{инф.i}(\tau)c_n d\tau / \rho_n - \\
 - \sum_i G_{yi}(\tau)c_i d\tau / \rho_y - \sum_i G_{эксф.i}(\tau)c_i d\tau / \rho_в + \sum_i G_{неп.j}(\tau)c_j d\tau / \rho_{вj} - \\
 - \sum_i G_{неп.i}(\tau)c_i d\tau / \rho_{вi} - V_{ni}\rho_{вi}dc = 0
 \end{aligned} \tag{4.20}$$

При установившемся режиме, когда потоки массы в помещении сбалансированы:

$$\sum_i G_i = 0; \sum_i M_i = 0, \tag{4.21}$$

В данном случае роста концентрации примеси в воздухе нет.

При неустановившемся режиме, когда входящие и уходящие потоки массы не равны:

$$\sum_i G_i \neq 0; \sum_i M_i \neq 0, \tag{4.22}$$

Тогда рост концентрации примеси в воздухе имеет место в помещении.

Физико-математическое моделирование влажностного режима здания.

Физико-математическое моделирование влажностного режима здания определяется переносом водяного пара потоками воздуха в здании с учетом влагосодержания наружного воздуха.

Режим влажности рассматривается как процесс распределения водяного пара вместе с воздухом для каждого помещения и здания, его рассмотрение аналогично газовому режиму с учетом изменения термодинамики влажности в воздухе помещений.

Во внутренней части режима влажности здания исследуются процессы распространения водяного пара в помещениях здания. Режим влажности помещения моделируется по однозонным или многозонным моделям вентилируемого помещения для определения локальных значений или по

помещению в целом, величине относительной влажности воздуха. Движение водяных паров в воздухе помещения происходит под действием воздушных потоков, диффузии, изменений температурного режима: температуры воздуха, поверхностей. Источники водяных паров могут работать постоянно или переменнно, с различной интенсивностью.

Значение концентрации водяных паров в воздухе помещения получается на основе расчета влажностного режима помещения, где известна мощность источников влаговыделений и влагопоступлений, а, зная концентрацию водяных паров в воздухе, нужно разделить ее на плотность водяных паров при текущей температуре внутреннего воздуха помещения и получить влагосодержание внутреннего воздуха [150].

Источники водяных паров - люди, растения, бытовые жизненные процессы, воздушные потоки. Известна мощность этих источников попадания водяного пара в воздух помещения, также известны значения воздушно-тепловых параметров в помещении, которые постоянно изменяются. Рассчитывают изменение во времени концентрации водяного пара в воздухе помещения, эта концентрация зависит от параметров воздушно-теплового режима помещения, которые находятся в динамике. Проводится расчет и анализ суточного изменения теплового, воздушного и влажностного режимов помещений здания, в которых работают источники водяного пара.

Определяем изменение концентрации паров воды в воздухе, это значение пересчитывается в значение влагосодержания, а затем в парциальное давление паров воды в воздухе при текущей температуре, получается текущее значение относительной влажности воздуха.

Последовательность расчета воздушно-теплового режима при изменении влажностного режима следующий [148, 172, 266].

1. Расчет воздушного режима здания.
2. Расчет теплового режима здания.
3. Расчет влажностных потоков в воздушной среде здания.
4. Расчеты перемещения водяного пара в воздухе помещения.

5. Переменное во времени поступление водяных паров.
6. Расчет концентрации водяных паров.
7. Расчет влагосодержания.
8. Расчет парциального давления водяных паров.
9. Повторный расчет ВРЗ и ТРЗ с учетом изменений влажностного режима в помещениях здания.

Расчет влажностного режима помещения с поступлением водяного пара с открытой поверхности воды в помещении бассейна [266, 267] проводится по данным исследований, проведенных ранее, дополненная методика представлена в работе, расход воздуха связан с ВРЗ, температура определяется ТРЗ.

Равенство расчетной и заданной величин относительной влажности воздуха в помещении означает равенство всех балансов в помещении: теплового, воздушного и влажностного. В итоге получаются результаты расчета в виде параметров влажностного режима помещения, что позволяет сделать вывод о получении результатов расчета влажностного режима помещения, которые изменятся в следующий момент времени и тогда расчет повторяется. Данная программа, соединенная с программами по расчету ВРЗ и ТРЗ, позволяют проводить расчет ВлРЗ.

Для каждого из помещений здания составляется система балансовых уравнений в дифференциальном виде, которая решается одним из итерационных способов.

Так как инфильтрация, эксфильтрация и перетекание воздуха из-за изменения ТРЗ постоянно изменяются, то происходит перерасчет распространения водяного пара.

В воздухе приземного слоя атмосферы происходят процессы изменения тепловлажностного состояния воздуха, которые для различных сезонов года зафиксированы в литературе по климатическим параметрам воздуха различных районов России, и которые можно использовать для моделирования влажностного режима помещений здания [169, 172].

4.5. Выводы по главе 4

1. Предложены комплексные физико-математические модели воздушного, теплового и газового режимов здания, комбинирование которыми дает возможность получать прогноз параметров микроклимата и качества воздушной среды каждого помещения, с учетом взаимного влияния.

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.

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.

2. Разработана физико-математическая модель тепловоздушного режима здания, в которой учитываются связи между помещениями здания, что позволяет проводить расчеты параметров микроклимата.

Для получения информации по величине температуры воздуха в помещении необходимо провести расчеты теплового режима, который позволит найти нестационарность температуры. Учет работы всех источников теплоты и полнота описания процессов теплопередачи в

помещении позволяет получить более точное прогнозирование температурного режима. Помещения рассматриваются как однозонные.

Воздушный режим здания рассматривается состоящим из трех частей: внутренней, краевой и внешней, для прогнозирования величины потоков воздуха, перемещающихся по помещениям, поступающих, уходящих и перетекающих в помещения здания, перенося теплоту и вредные примеси. Внутренняя часть воздушного режима здания рассматривает помещение с потоками воздуха в нем.

Краевая часть воздушного режима здания связана с движением воздуха через оболочку здания, через неплотности, окна, двери, проемы и т.д. При расчете ВРЗ давление воздуха в каждом помещении определяем зная, что суммарное давление на оболочку здания определяется как сумма гравитационного и ветрового давлений, также если известны сопротивления воздухопроницанию элементов ограждающих конструкций здания, их площади, расходы воздуха от системы вентиляции.

3. Сформирована физико-математическая модель газового режима здания с учетом влияния воздушного режима здания, что позволяет анализировать проектные решения, формирующие газовый состав воздушной среды.

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 размеров помещений и расположения источника или источников вредных примесей. Все помещения должны быть обеспечены системой вентиляции, что необходимо для обеспечения требуемых санитарно-гигиенических параметров микроклимата и качества воздушной среды, и что является элементом безопасности человека. Размерами помещений определяется вид физико-математической модели помещения на основании которой будет рассчитываться газовый режим помещения (однозонная, двухзонная или многозонная). 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, эксфильтрующимся, инфильтрующимся воздухом от источника (источников), которые размещены в других помещениях здания или не в данном здании.

Глава 5. Формирование и анализ проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания

5.1 Метод формирования 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 совместной и комплексной работе инженерных систем здания заключается в объединении расчетных технологий инженерных систем, формирующих микроклимат и качество воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания с учетом исходных баз данных и динамики действия тепломассообменных и газового режимов. Алгоритм укрупненной схемы формирования проектного решения по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания показан на рисунке 5.1.

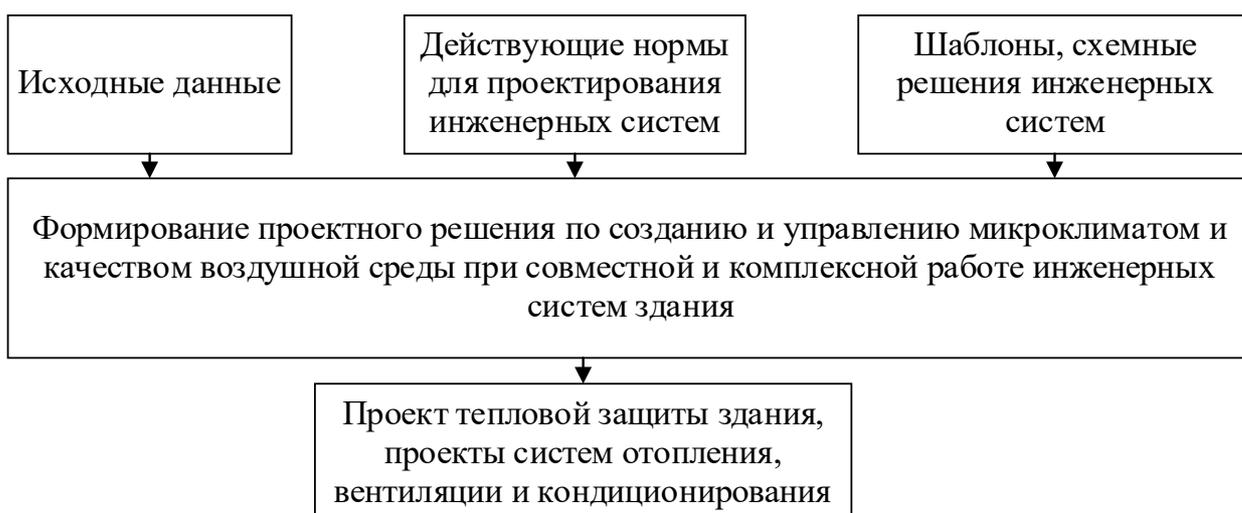


Рисунок 5.1. Укрупненная схема формирования проектного решения по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания

Метод формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания 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 при совместной и комплексной работе инженерных систем здания на период всего жизненного цикла здания.

Для формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания необходимы: исходные данные, действующие нормы для проектирования инженерных систем, формирующих микроклимат и величину концентраций примесей в воздухе помещений, также необходим опыт проектирования зданий и инженерных систем, сформированный инженерами и учеными за последние около 100 лет и более лет.

Для формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания необходимы следующие исходные данные [148, 172]:

- 1) технологическое задание;
- 2) параметры наружного и внутреннего климата;
- 3) стороны света;
- 4) состав наружных ограждающих конструкций;
- 5) теплотехнические показатели строительных материалов;
- 6) теплотехнические характеристики ограждающих конструкций;
- 7) планы этажей здания;
- 8) характерные разрезы по зданию со всеми строительными размерами;
- 9) назначение каждого помещения.

При формировании проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания решаются следующие задачи [148, 172]:

- 1) определяются коэффициенты теплопередачи наружных и внутренних ограждающих конструкций;
- 2) вычисляются теплотери каждого помещения здания;
- 3) конструируется система отопления здания;
- 4) подбираются отопительные приборы для каждого помещения;
- 5) выполняется гидравлический расчет системы отопления и определяются диаметры теплопроводов;
- 6) подбирается оборудование теплового пункта здания (насос, теплообменник и т.п.);
- 7) проводится расчет поступления избыточных значений явной теплоты, полной теплоты, водяных паров, примесей в воздух помещений, для которых отсутствуют нормы по воздухообмену;
- 8) определяются воздухообмены для каждого помещения здания;
- 9) конструируется система вентиляции;
- 10) рассчитываются воздухораспределители в помещениях;
- 11) проводится аэродинамический расчет воздуховодов и определяются диаметры воздуховодов;
- 12) проводится подбор оборудования вентиляционных камер;
- 13) определяется тип системы кондиционирования микроклимата и обслуживаемые помещения;
- 14) проводится расчет поступления избыточных значений явной теплоты, полной теплоты, водяных паров, примесей в воздух для каждого помещения;
- 15) проводятся расчеты и подбор оборудования системы кондиционирования;
- 16) проводится разработка проекта автоматизации для управления работой инженерных систем.

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

комплексной работе инженерных систем здания появляется проект тепловой защиты здания, проекты систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, как комплексное проектное решение. Сформированное первоначальное проектное решение в результате последующего анализа пересматривается и уточняется, с получением нового проектного решения.

5.2 Метод анализа проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания

Метод анализа проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания основан на прогнозировании динамики микроклимата и состава примесей в воздушной среде помещений с учетом, изменяющихся во времени тепломассообменных и газового режимов.

Метод анализа проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания содержит изучение переменных во времени значений параметров микроклимата и качества воздушной среды и их сравнение со значениями, приведенными в нормах с учетом прогнозирования изменений теплового, воздушного и газового режимов здания при совместной и комплексной работе инженерных систем.

При моделировании микроклимата и качественного состава воздушной среды, получаем прогноз их параметров в помещениях проектируемого здания на весь период его эксплуатации, которые анализируются на предмет соответствия требуемым значениям параметров микроклимата [176] и при их отклонении от норм проводится формирование нового проектного решения, после чего процедура повторяется, а при необходимости проводится новое формирование проектного решения, до тех пор, пока нужный вариант проектного решения не будет найден.

Укрупненный алгоритм анализа проектного решения показан на рисунке

5.2.

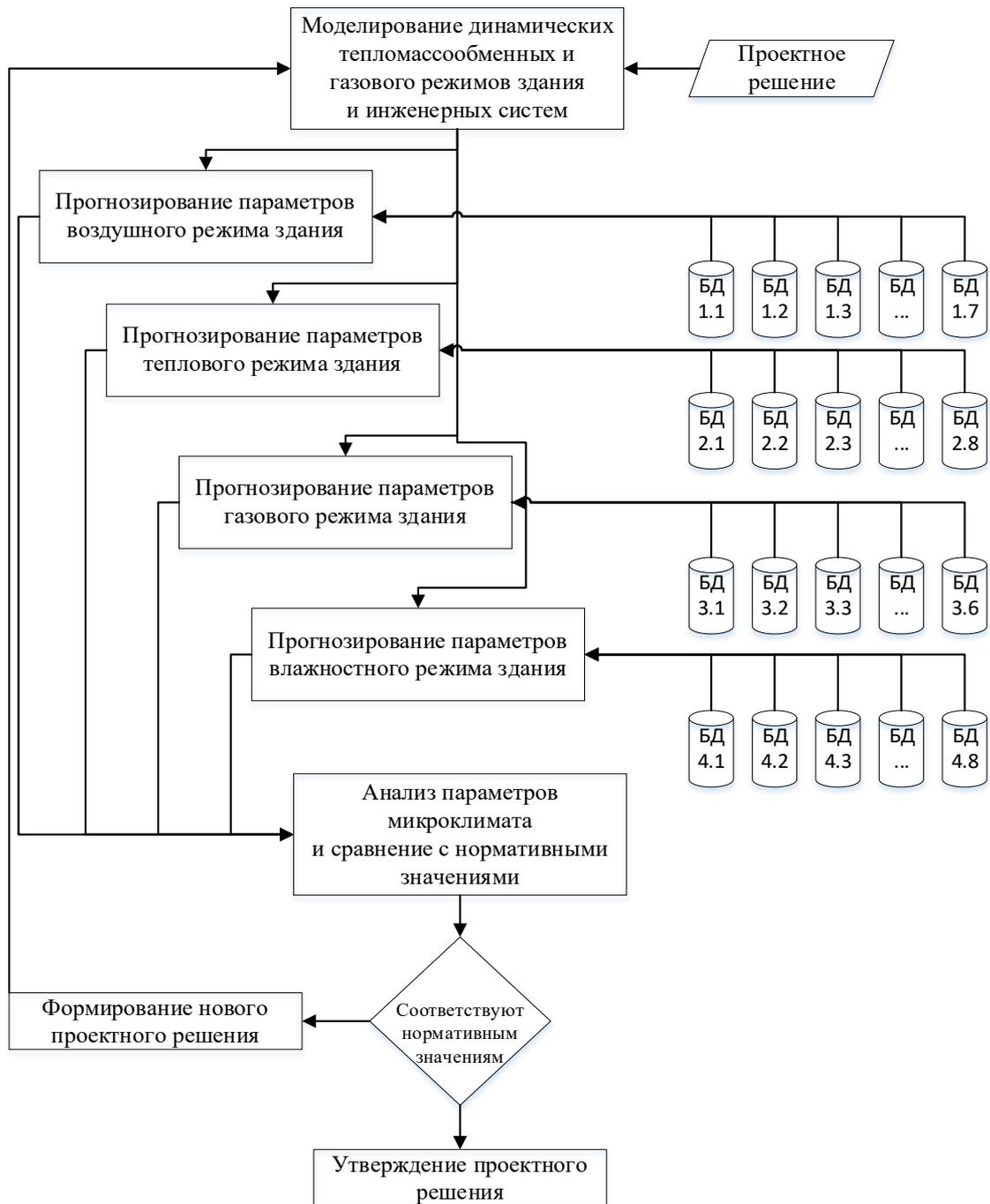


Рисунок 5.2. Укрупненный алгоритм анализа проектного решения

При несоответствии параметров микроклимата и концентрации примесей в помещениях здания требованиям нормативных документов работа инженерных систем является не удовлетворительной, так как нарушаются

санитарно-гигиенические требования, связанные с безопасностью человека, находящегося в помещении здания.

Существует несколько вариантов инженерных решений систем, формирующих микроклимат и концентрацию примесей в воздухе помещений здания, среди которых необходимо выбрать лучший вариант исходя из экономических, строительных, монтажных, эксплуатационных, эстетических требований, а санитарно-гигиенические требования относятся к качеству параметров микроклимата и концентрации примесей в воздухе. Строительные, монтажные, эксплуатационные и эстетические требования связаны с опытом проектирования и эксплуатации инженерных систем, накопленным за последние 100-150 лет, но эти требования трудно формализовать для получения расчетных зависимостей, поэтому в данной работе они не рассматриваются.

5.3 Технология вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем здания

Технология вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды здания при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий основывается на комплексной физико-математической модели параметров микроклимата и качества воздушной среды в части изменения 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 при совместном и комплексном действии инженерных систем здания.

Входными данными для рассматриваемой технологии являются:

- параметры проектных решений;
- требуемые значения параметров микроклимата;
- возмущающие воздействия;
- условия вариативного моделирования.

Получаемые из внешних источников, которыми могут служить САД-приложения, данные обрабатываются по признакам формата и структурирования данных в интерфейсе ввода данных, после чего распределяются по блокам исходных модельных данных, а также передаются в блоки моделирования.

К блокам исходных модельных данных относятся блоки:

- температура климата;
- температурный баланс в помещениях;
- температурный баланс слоёв и поверхностей стен и других ограждений;
- расхода приточного воздуха;
- расхода вытяжного воздуха;
- расхода инфильтрующегося воздуха;
- расхода эксфильтрующегося воздуха;
- расхода перетекающего воздуха;
- влагопоступлений;
- поступлений вредных веществ.

Блоки моделирования разделяются на 2 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 вариантов, согласно вариативной комплексной

физико-математической модели микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем здания (микроклимат здания как совокупность микроклиматов помещений, 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 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.

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 управления микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий.

5.4 Выводы по главе 5

1. Предложен метод формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий, с учетом физико-математических моделей и баз данных для проведения необходимых расчетов при анализе состояния параметров микроклимата качества воздушной среды в помещениях.

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.

2. Разработан метод анализа проектных решений по формированию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий 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.

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 качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем 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 качества воздушной среды и их сравнение со значениями, приведенными в нормах с учетом прогнозирования изменений теплового, воздушного и газового режимов здания [176].

3. Предложена технология вариативного комплексного моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий, позволяющая реализовывать формирование проектных решений.

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 воздушного, теплового и газового режимов здания в суточном, сезонном и годовом перспективном периоде, методе моделирования и анализа динамики тепломассообменных и газового режимов здания с учетом возмущающих воздействий и вариативной комплексной модели микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем здания.

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

вариативной 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. 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.

Глава 6. 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

6.1 Интеграция технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды в работу инженерных систем здания

Интеграция технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды в работу инженерных систем зданий предполагает проведение расчетов теплового, воздушного и газового режимов конкретных зданий для формирования проектных решений инженерных систем, создающих микроклимат и качество воздушной среды.

Воздушный режим административного здания.

Проведено физико-математическое моделирование воздушного режима 5 этажного административного здания, показанного в главе 3 настоящей работы на рисунке 3.2, с учетом теплового режима в холодный период года. Рассмотрено изменение расхода инфильтрующегося воздуха в помещениях 1, 2, 3, 4 и 5 этажей. Окна в помещениях приняты двойные в деревянных спаренных переплетах с уплотнением из полушерстяного шнура. Температура наружного воздуха задана изменяющейся в виде функции $t = \sin(\tau)$ [180], что приводило к изменению гравитационного давления и расходов инфильтрующегося воздуха. Количество инфильтрующегося воздуха уменьшается по высоте здания, так как растет количество эксфильтрующегося воздуха и удаляемого естественной системой вентиляции, сумма которых по каждому помещению с учетом перетекающего воздуха равна 0 [148, 172].

$$G_{инф} - G_{эксф} - G_{вент} \pm G_{перетек.} = 0, \quad (6.2)$$

Температурный режим в помещениях поддерживается в соответствии с требованиями норм для административного здания.

Результаты расчета количества инфильтрующегося воздуха, изменяющегося в суточном режиме для помещений, расположенных одно над другим одинаковой планировки наветренного фасада административного здания показано на рисунках 6.1 - 6.5.

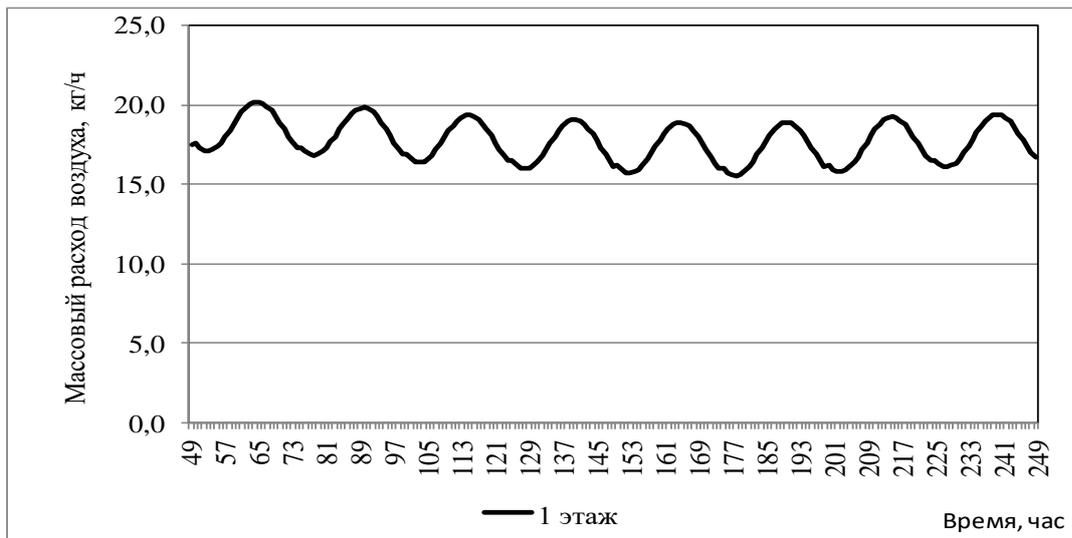


Рисунок 6.1. Изменение расхода инфильтрующегося воздуха в помещении 1 этажа наветренной зоны в суточном режиме в холодный период года

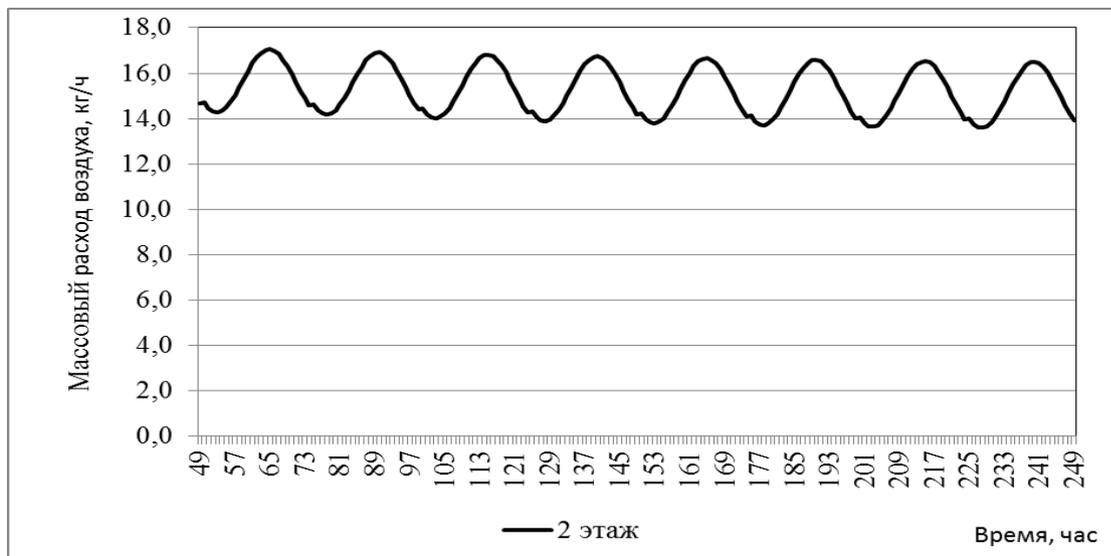


Рисунок 6.2. Изменение расхода инфильтрующегося воздуха в помещении 2 этажа наветренной зоны в суточном режиме при холодном периоде года

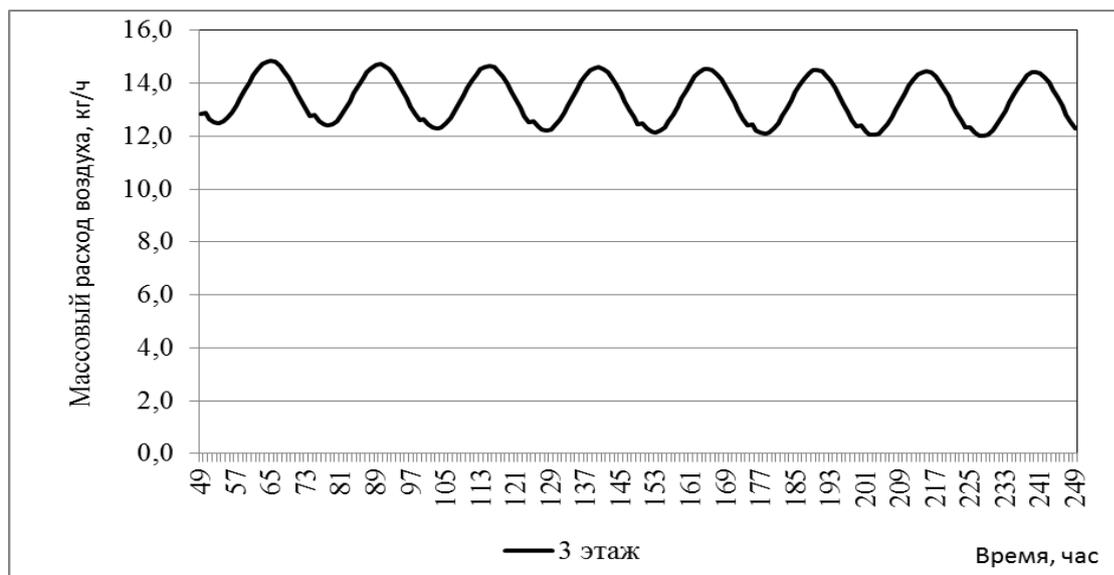


Рисунок 6.3. Изменение расхода инфильтрующегося воздуха в помещении 3 этажа наветренной зоны в суточном режиме в холодный период года

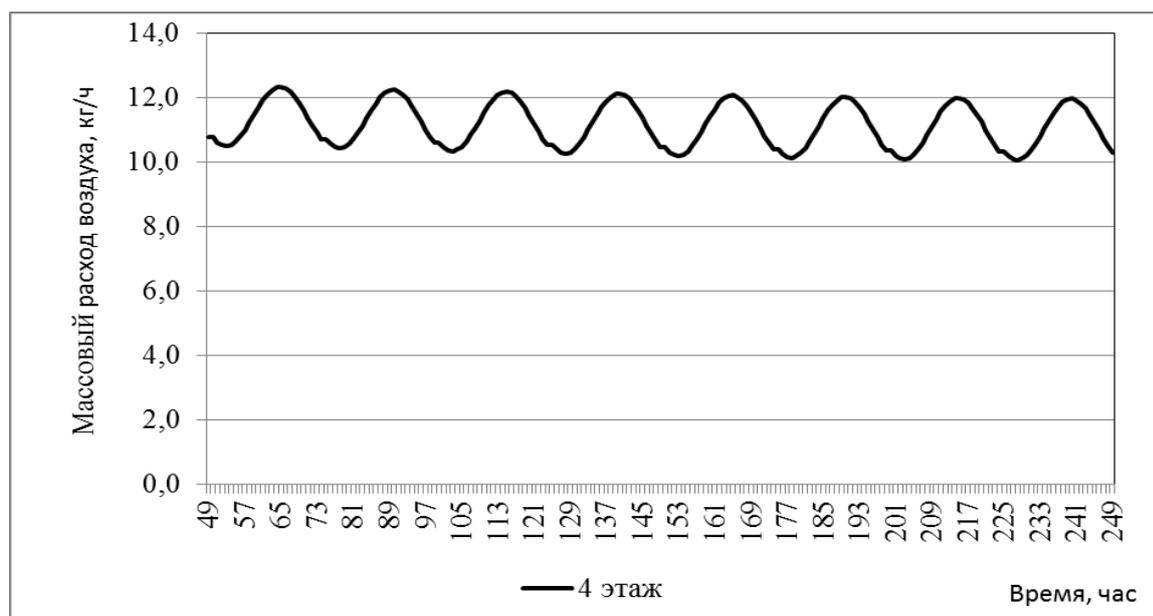


Рисунок 6.4. Изменение расхода инфильтрующегося воздуха в помещении 4 этажа наветренной зоны в суточном режиме в холодный период года

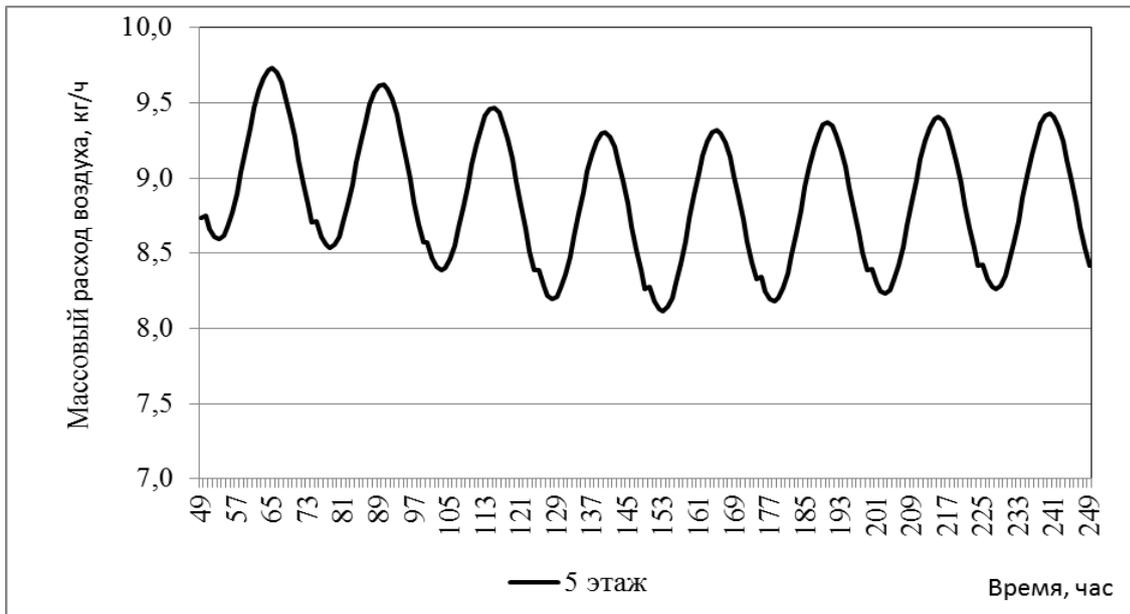


Рисунок 6.5. Изменение расхода инфильтрующегося воздуха в помещении 5 этажа наветренной зоны в суточном режиме в холодный период года

На рисунке 6.6 показана динамика температуры в наружном воздухе принятого в период расчета.

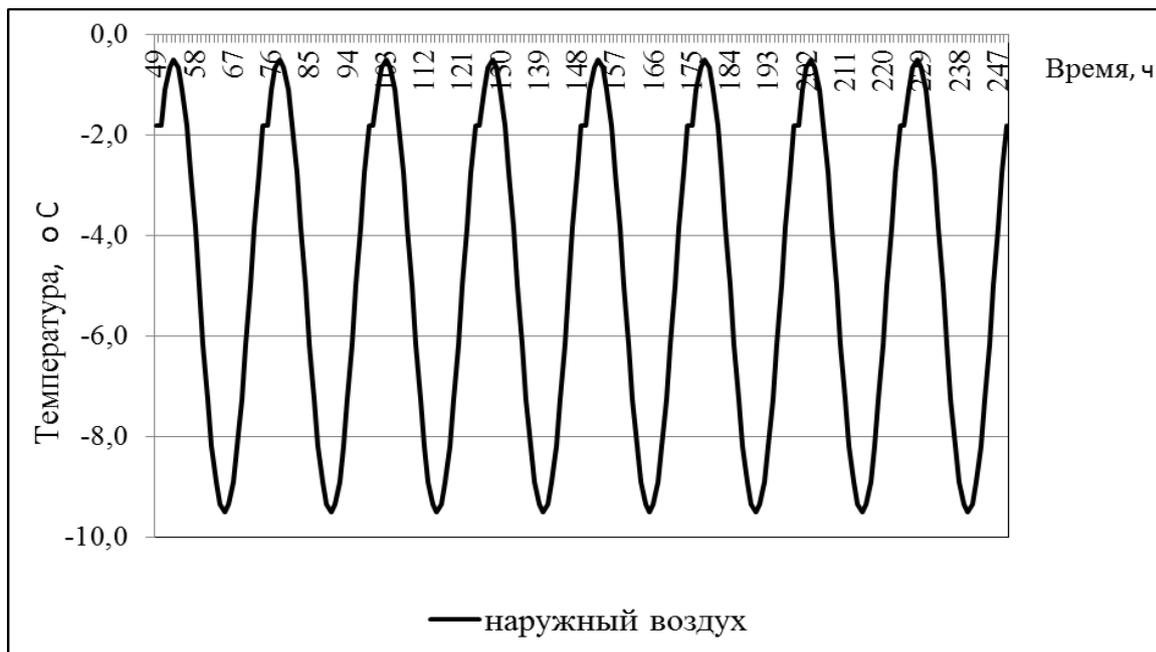


Рисунок 6.6. Суточный режим изменения температуры наружного воздуха в холодный период года

На основании данных по проведенным расчетам можно сделать вывод об адекватности предложенной математической модели для расчета воздушного режима здания с учетом теплового режима.

Тепловой и газовый режимы помещения.

Мониторинг температуры внутреннего воздуха в помещении показывает совокупное влияние входящих и уходящих потоков теплоты на температуру, и позволяет определить эффективность энергосберегающих мероприятий. При проведении мониторинга температурного режима помещения спортивного зала расположенного в здании спортивного комплекса в г. Москве получены данные по изменению температуры внутреннего воздуха в январе 2011 года, представленные на рисунке 6.7.

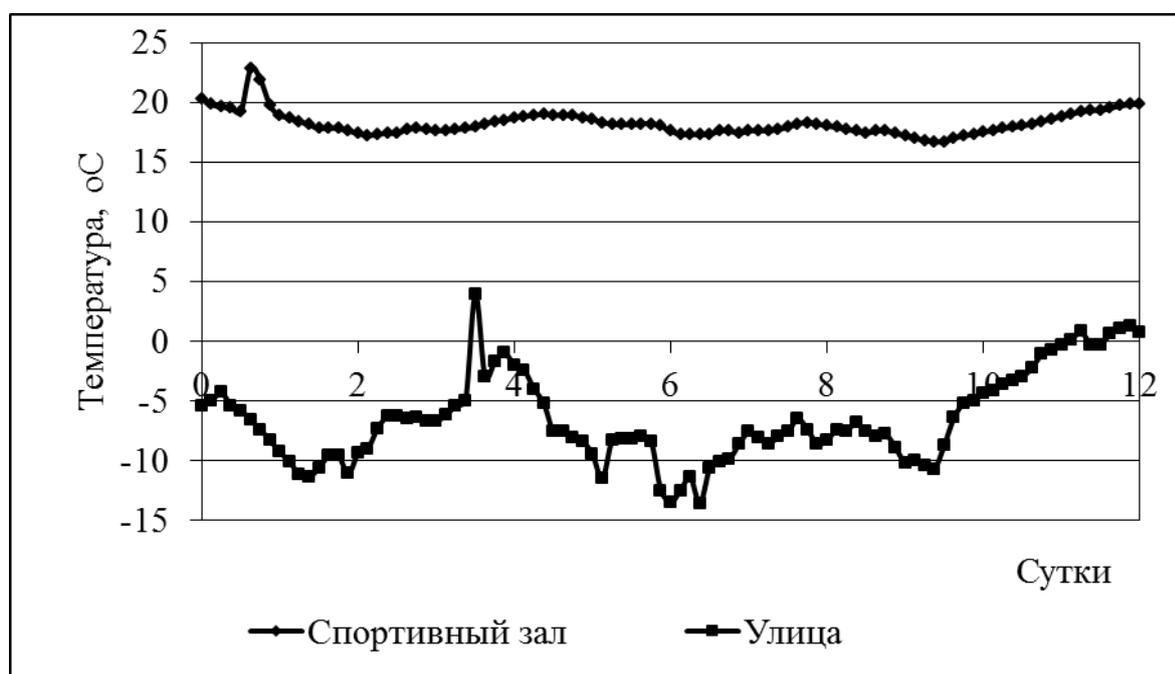


Рисунок 6.7. Динамика температуры в помещении спортивного зала и наружного воздуха.

На рисунке 6.8 показано наличие перерасхода тепловой энергии в помещении при теплопередаче через наружные стены, из условия требуемой температуры воздуха в помещении спортивного зала $+18^{\circ}\text{C}$, значения со знаком «+» — это перерасход тепловой энергии, значение со знаком «-» — это не достаточный прогрев помещения. Суммарный перерасход тепловой энергии за 12 суток измерений с учетом перерасхода и недорасхода тепловой энергии составляет 1286 Вт.

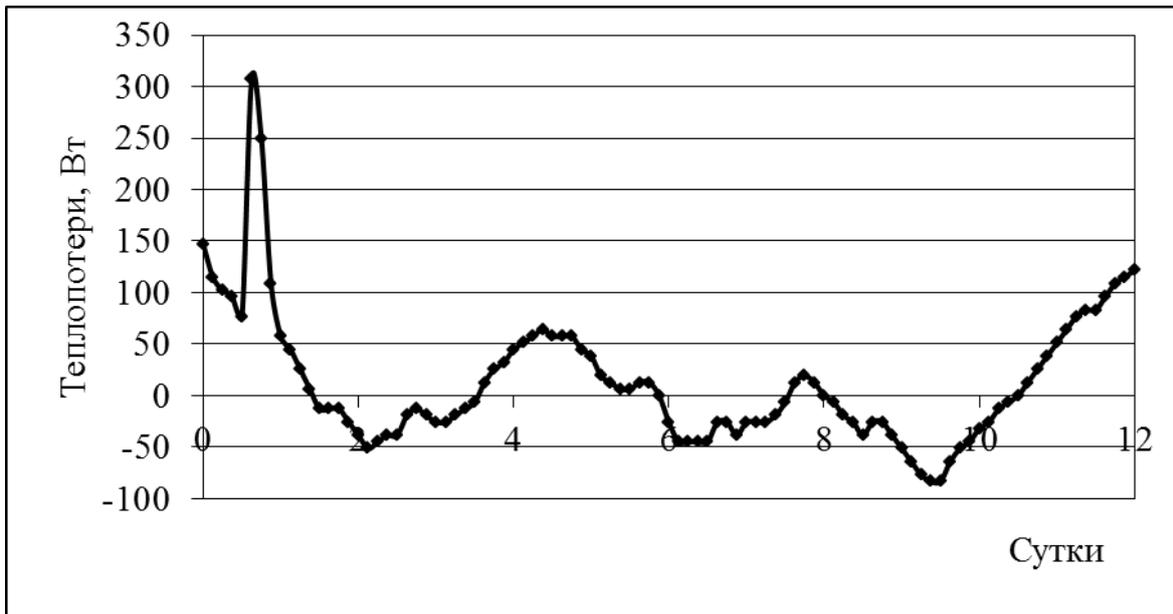


Рисунок 6.8. Расчетное значение потерь тепловой энергии при теплопередаче через наружные стены

Проведены измерения температуры воздуха в помещениях двух офисов и коридора административного здания в г. Москве за период 12,4 суток в январе 2011 года, результаты расчетов и измерений показаны на рисунках 6.9– 6.15.

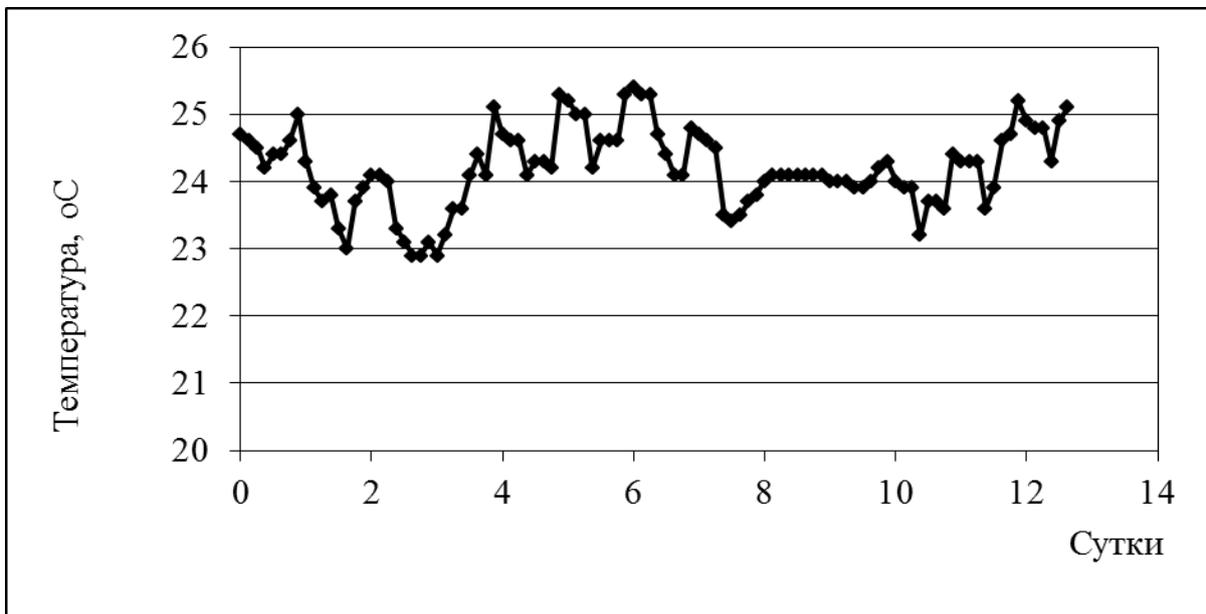


Рисунок 6.9. Изменение температуры внутреннего воздуха в помещении коридора административного здания офисов в январе 2011 года

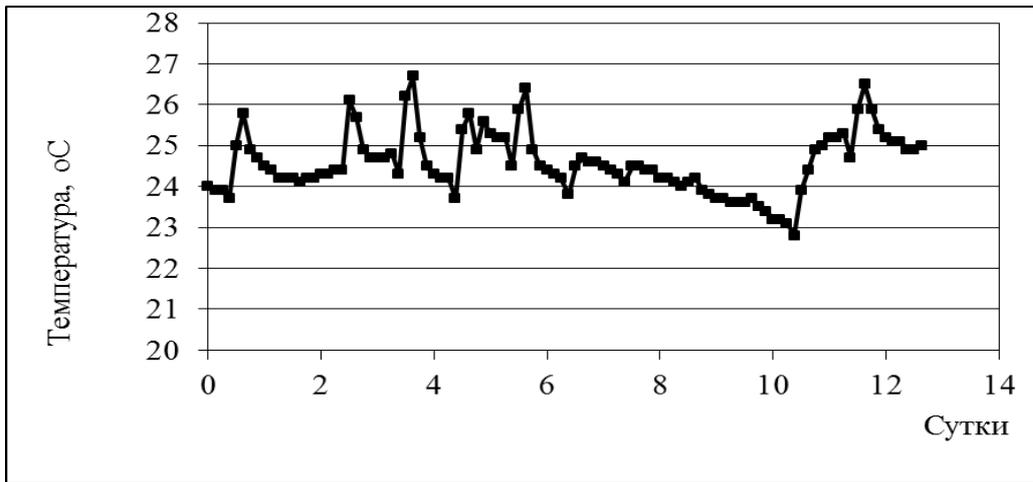


Рисунок 6.10. Изменение температуры воздуха в помещении офиса 1 в январе 2011 года

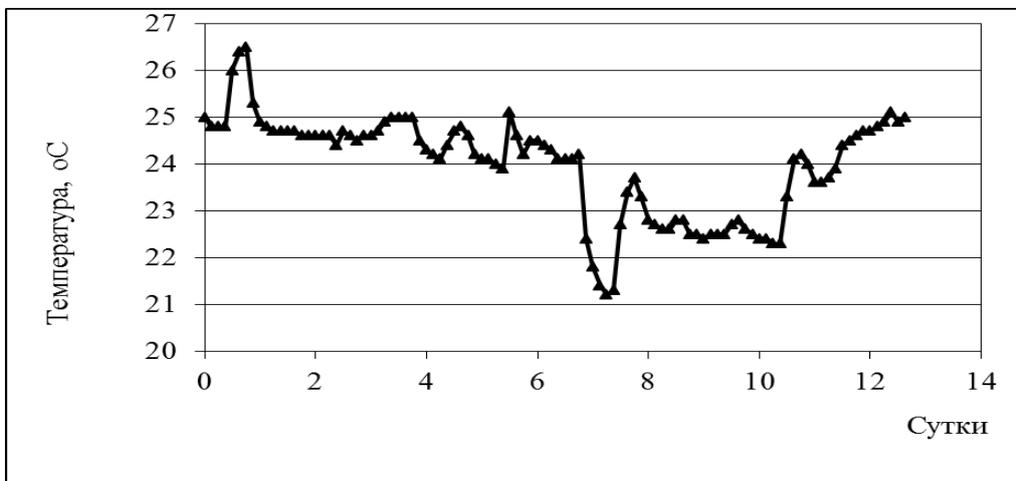


Рисунок 6.11. Изменение температуры воздуха в офисе 2 за январь 2011 года

Температура в помещении изменяется из-за переменного поступления теплоты.

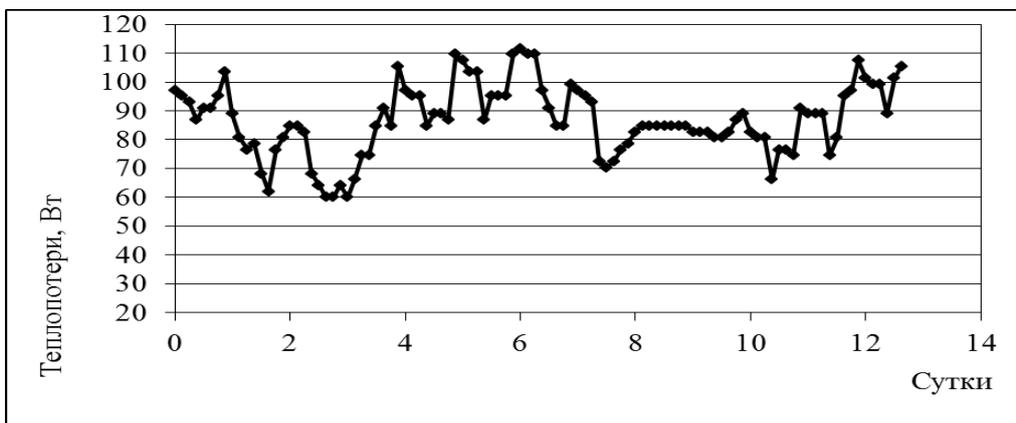


Рисунок 6.12. Перерасход тепловой энергии в помещении коридора административного здания в период января 2011 года

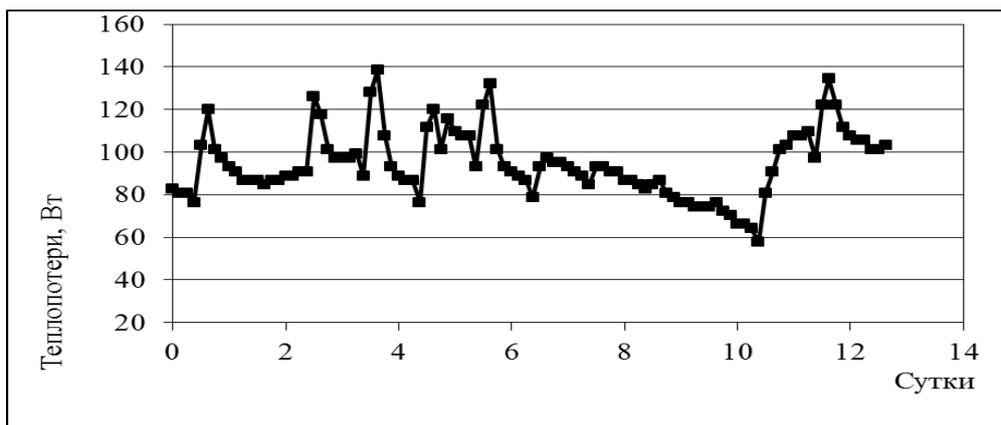


Рисунок 6.13. Перерасход тепловой энергии в помещении офиса 1 в административном здании в период января 2011 года

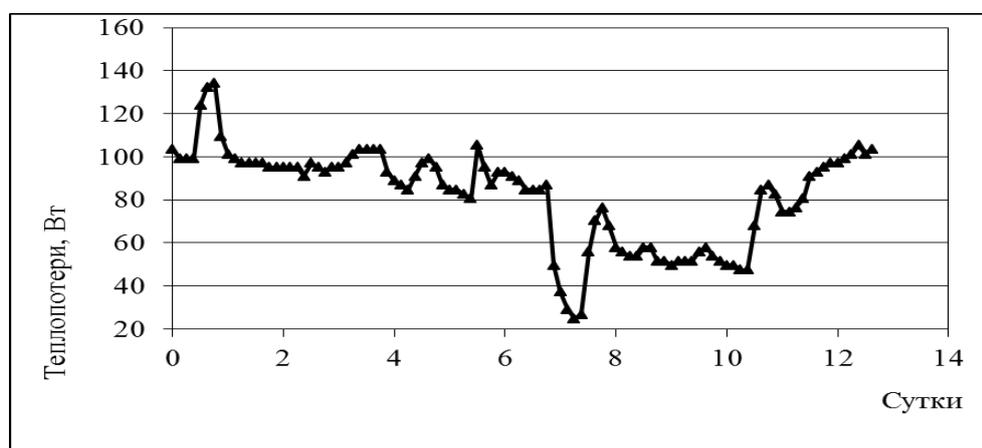


Рисунок 6.14. Перерасход тепловой энергии в помещении офиса 2 в административном здании в период января 2011 года

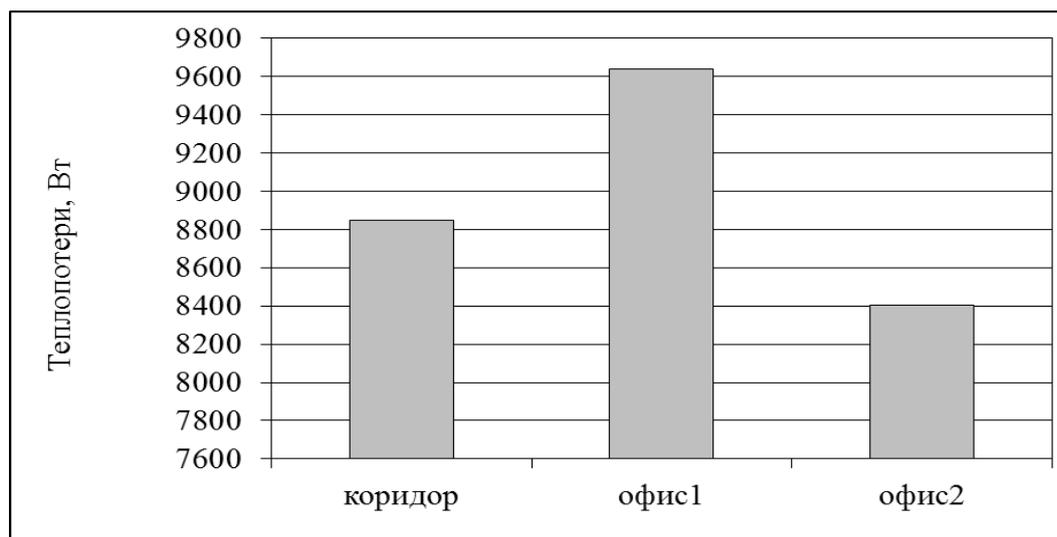


Рисунок 6.15. Превышение потребления тепловой энергии в помещениях за период 12 суток

Из рисунков 6.7 – 6.15 видно, что помещения перегреты и при этом расходуется избыточное количество тепловой энергии, суммарное превышение потребления тепловой энергии в помещениях двух офисов составило 26896 Вт.

При мониторинге температуры внутреннего воздуха в двух квартирах в разных зданиях равной планировки в г. Москве в январе 2011 года также получены значения температуры наружного воздуха во время измерений, а результаты представлены на рисунках 6.16 - 6.17.



Рисунок 6.16. Температурный режим воздуха в двух квартирах

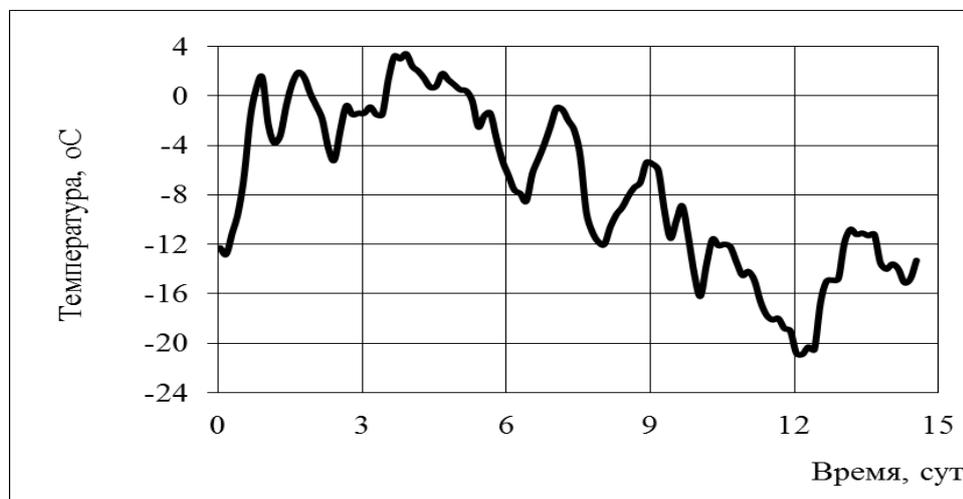


Рисунок 6.17. Температурный режим наружного воздуха во время измерений в квартирах

Значительное отличие температуры воздуха в двух однотипных квартирах объясняется воздухопроницаемостью окон, в первом случае (квартира 1) после капитального ремонта установлены новые герметичные окна и заменена система

отопления, но здание не утеплено, во втором случае (квартира 2) - окна с воздухопроницаемостью по нормам до 1995 года. По результатам измерений видно (рисунок 6.18 и рисунок 6.19), что в квартире 1 имеет место перегрев помещения и, следовательно, перерасход тепловой энергии, а в квартире 2 перегрев помещения имеет меньшую интенсивность и перерасход тепловой энергии ниже, за период 14,5 суток суммарный перерасход тепловой энергии в кв. 1 и кв. 2 равны соответственно 22537 Вт и 3980 Вт.

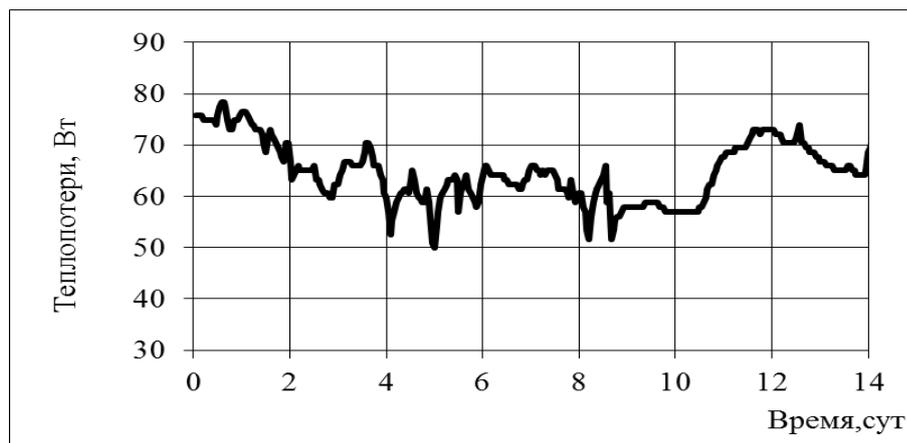


Рисунок 6.18. Превышение расхода теплоты в квартире 1

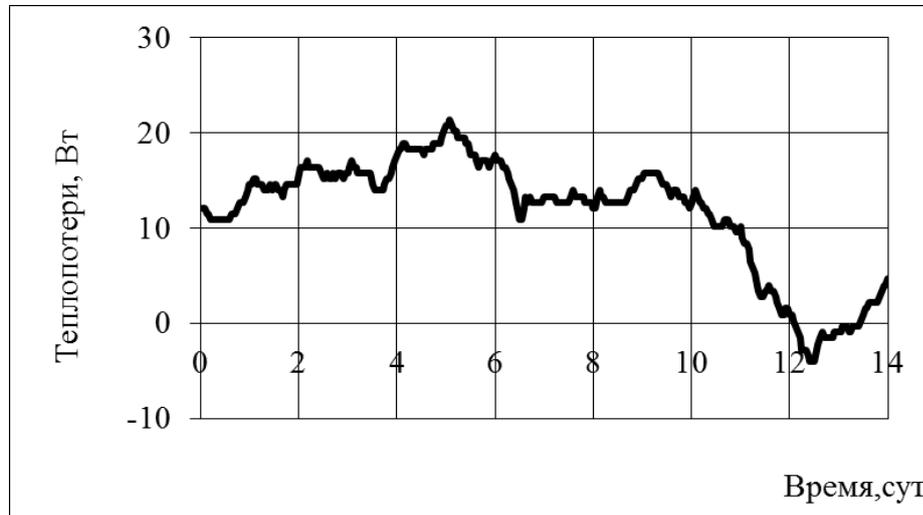


Рисунок 6.19. Превышение расхода теплоты в квартире 2

В помещении бассейна [266, 267] проводился мониторинг температуры внутреннего воздуха осенью (октябрь, ноябрь, декабрь) и зимой (январь, февраль и март) 2007 и 2008 годов. План помещения бассейна [266, 267] с размерами представлен на рисунке 6.20. Помещение бассейна размером $6,5 \times 20 \times 3,5$ h м,

площадь 130 м², объем 455 м³ [266, 267]. результаты измерений показаны на рисунках 6.21-6.26.

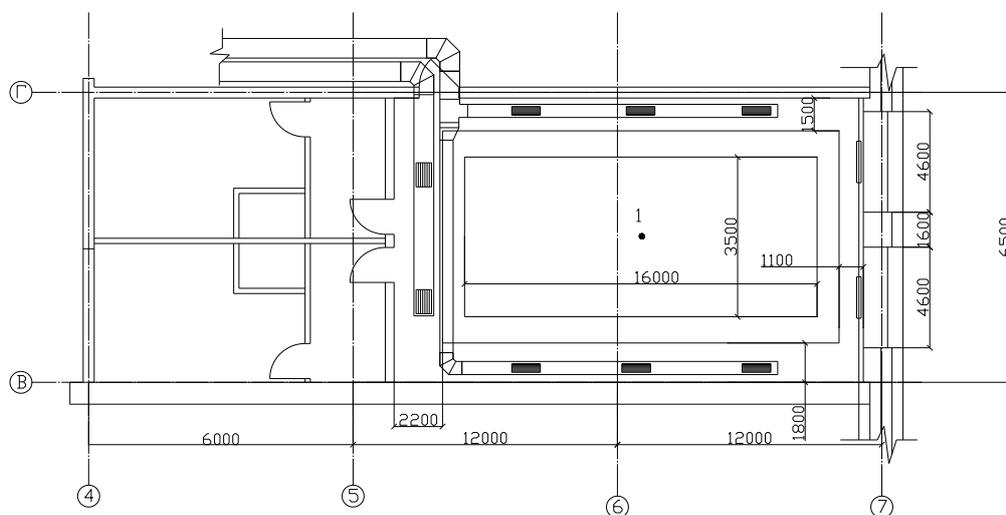


Рисунок 6.20. План помещения бассейна [266, 267]

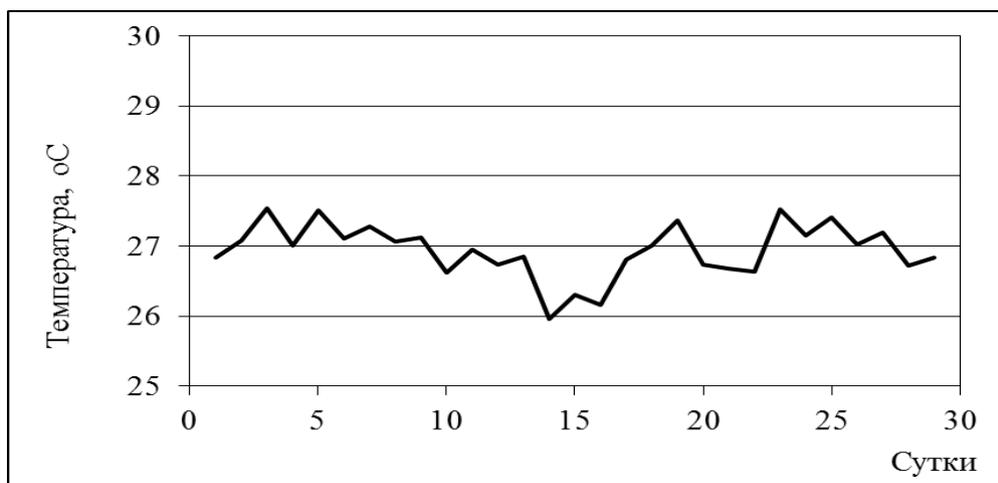


Рисунок 6.21. Температурный режим по воздуху в помещении бассейна [266, 267] в октябре 2007 года

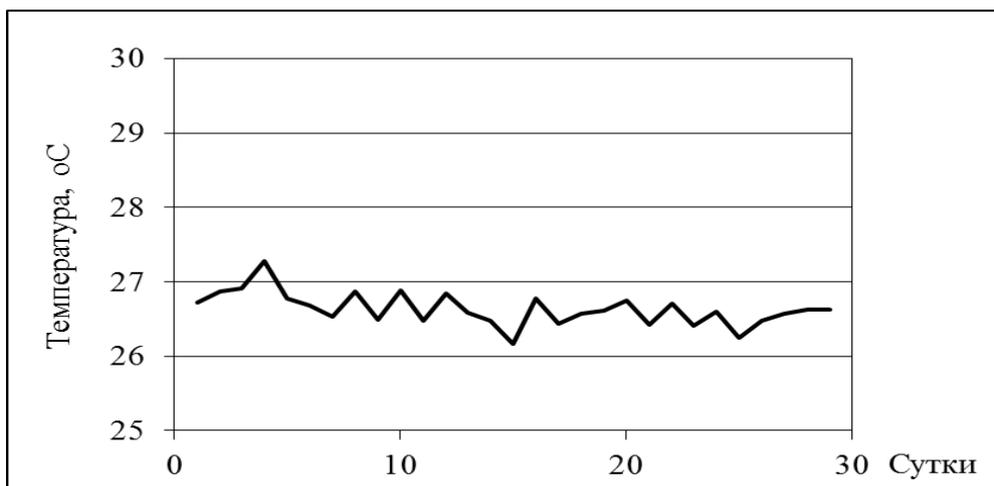


Рисунок 6.22. Температурный режим по воздуху в помещении бассейна [266, 267] в ноябре 2007 года

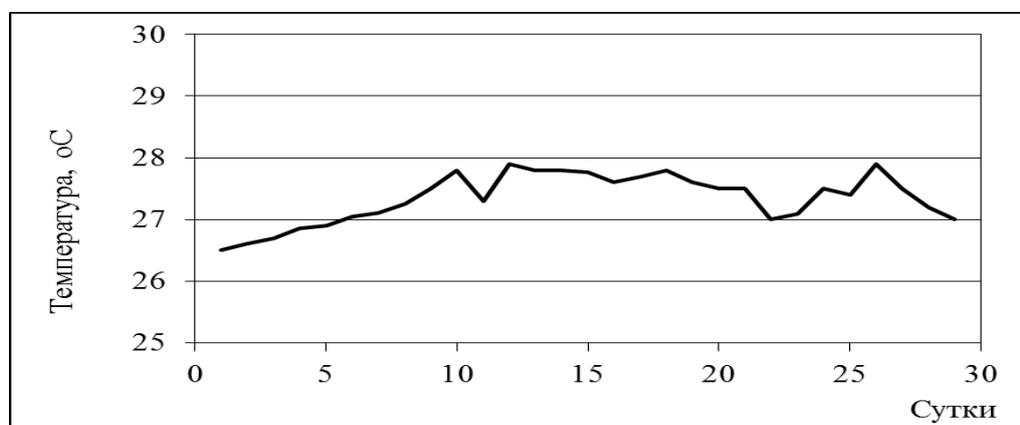


Рисунок 6.23. Температурный режим по воздуху в помещении бассейна [266, 267] в декабре 2007 года

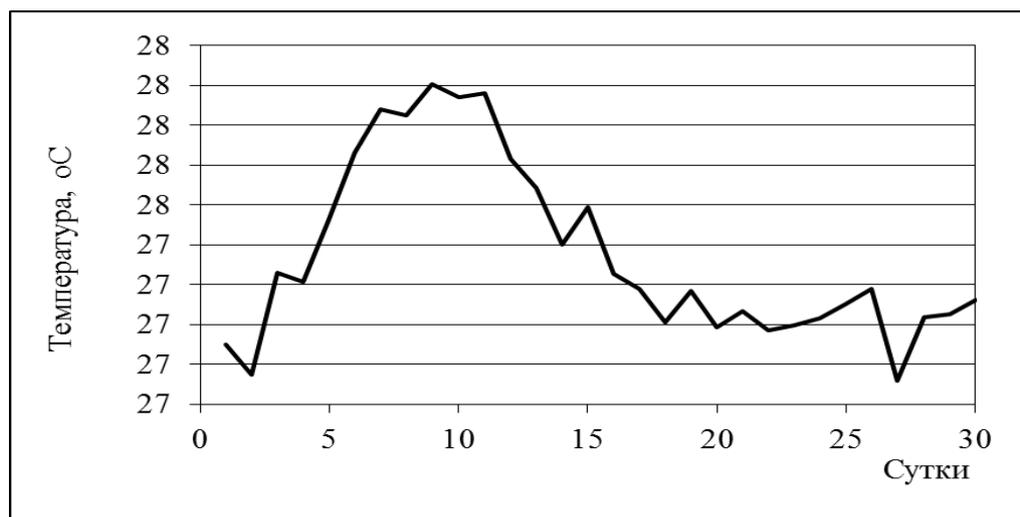


Рисунок 6.24. Температурный режим по воздуху в помещении бассейна [266, 267] в январе 2008 года

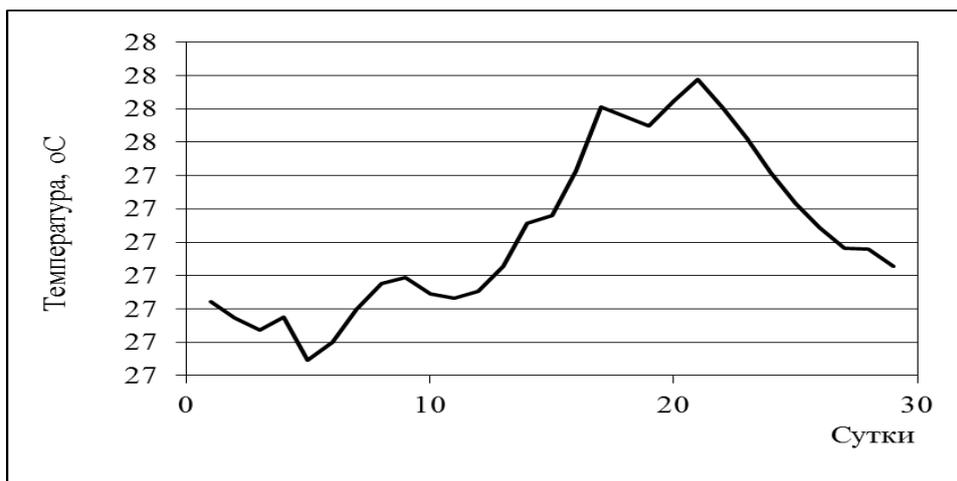


Рисунок 6.25. Температурный режим по воздуху в помещении бассейна [266, 267] в феврале 2008 года

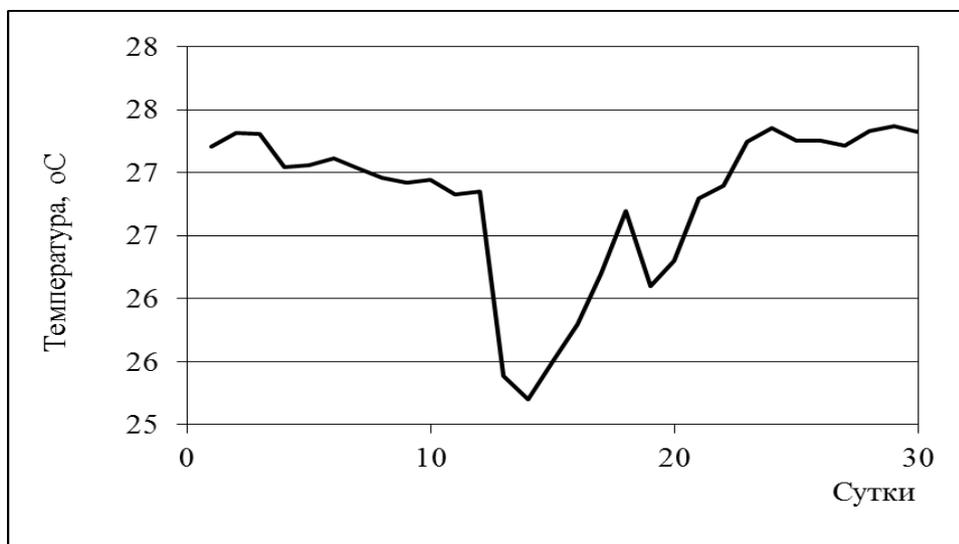


Рисунок 6.26. Температурный режим по воздуху в помещении бассейна [266, 267] в марте 2008 года

Температура внутреннего воздуха в бассейне нормируются [266, 267] и часто имеет место перегревание или не достаточный нагрев воздуха. На рисунках 6.27-6.33 показаны перерасходы тепловой энергии в период измерений с октября 2007 года по март 2008 года в помещении бассейна [266, 267]. Суммарное количество перерасхода тепловой энергии в помещении бассейна показано на рисунке 6.33. В результате проведенных измерений видно, что помещение бассейна перегрето в холодный период года и расход тепловой энергии за счет теплопередачи превышено на 25268 Вт за 6 месяцев холодного периода года.

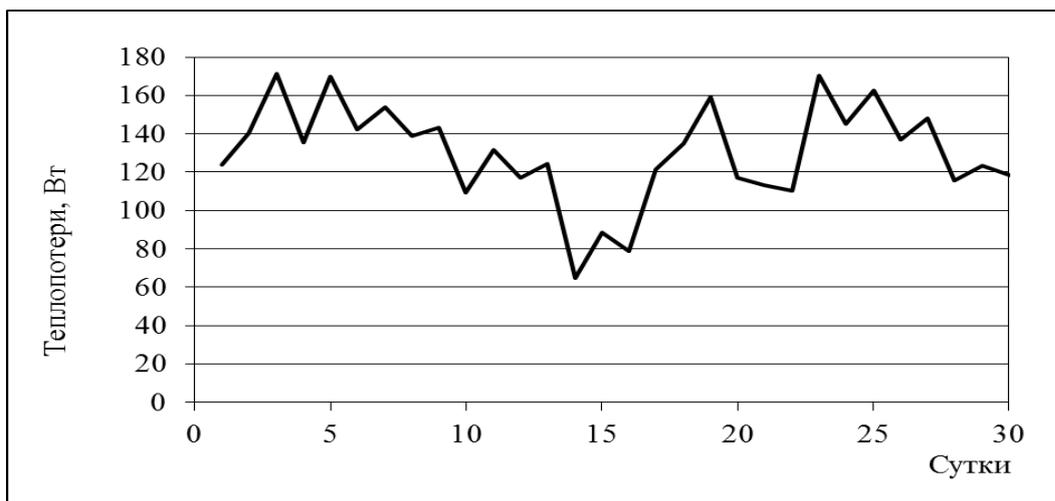


Рисунок 6.27. Перерасход тепловой энергии в октябре 2007 года

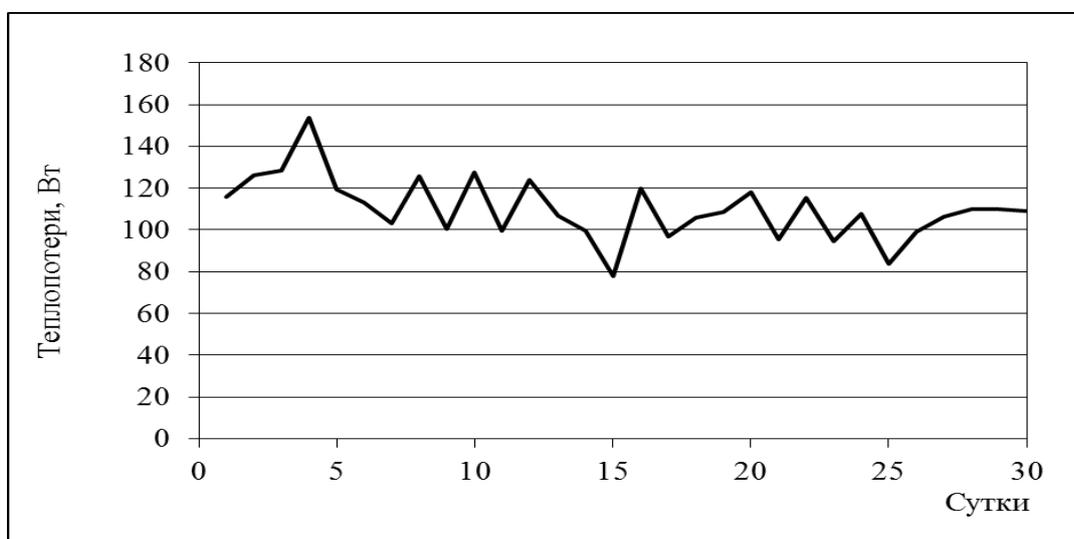


Рисунок 6.28. Перерасход тепловой энергии в ноябре 2007 года

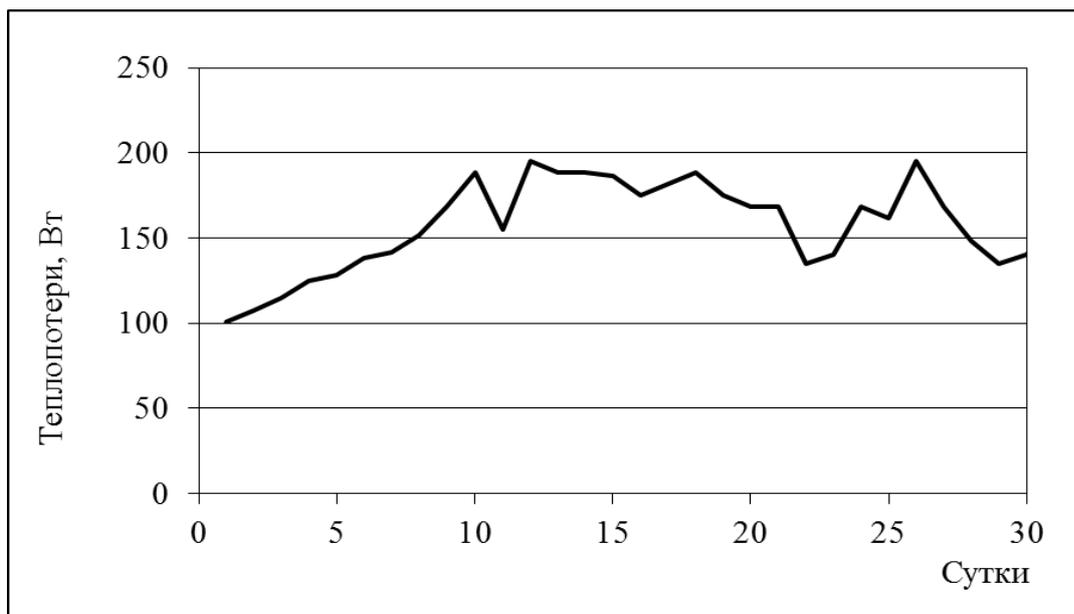


Рисунок 6.29. Перерасход тепловой энергии в декабре 2007 года

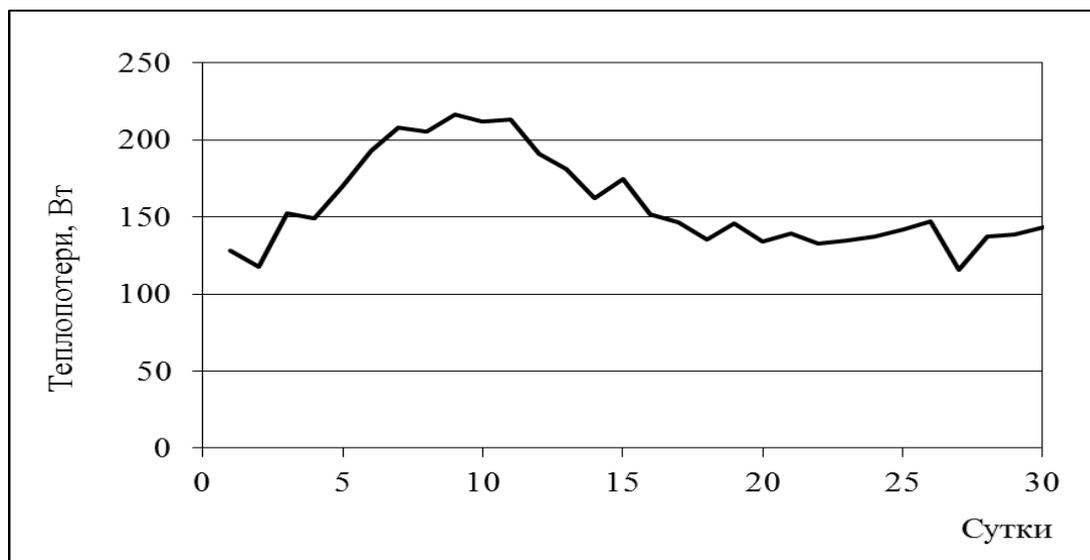


Рисунок 6.30. Перерасход тепловой энергии в январе 2008 года

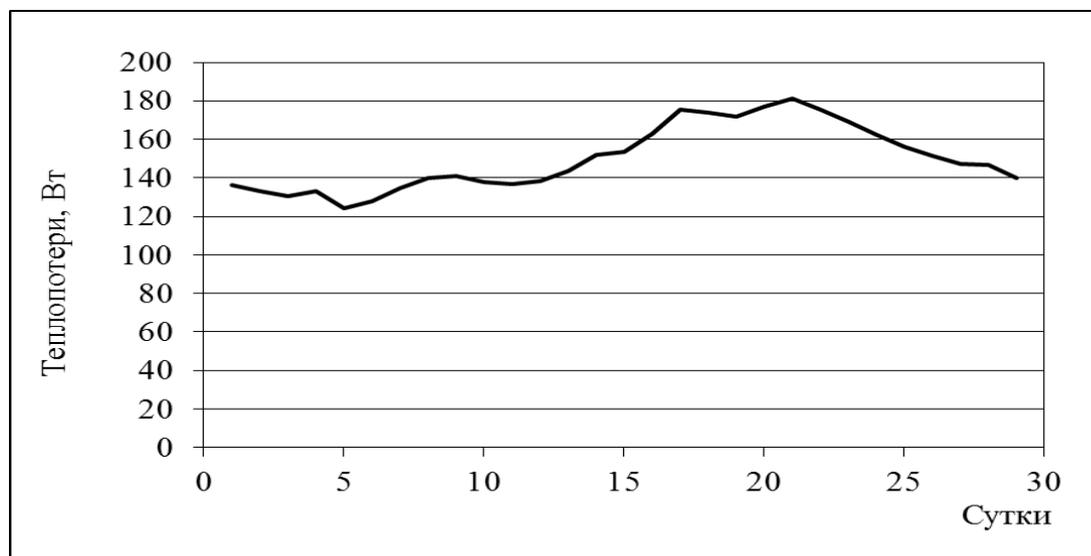


Рисунок 6.31. Перерасход тепловой энергии в феврале 2008 года

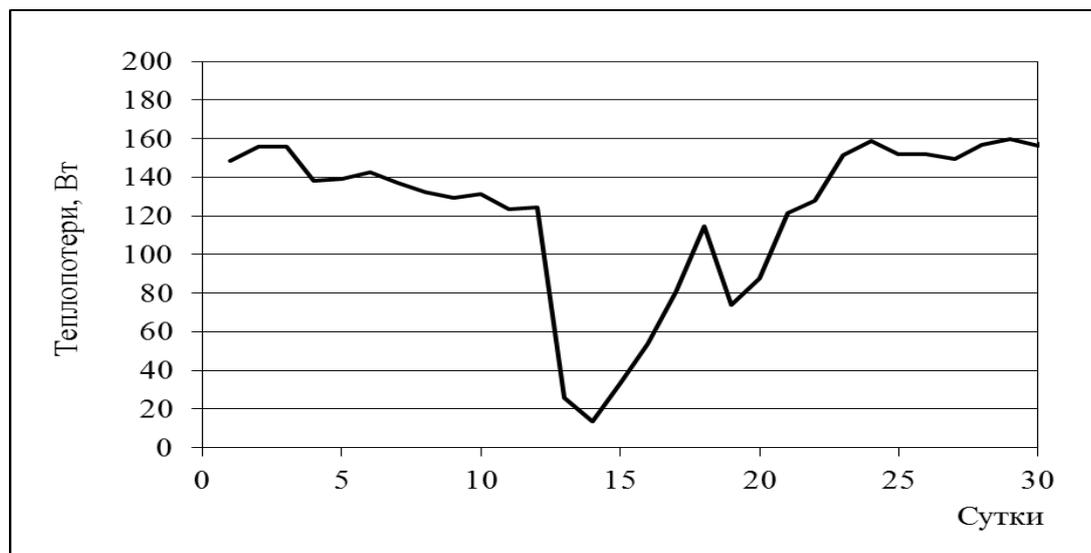


Рисунок 6.32. Перерасход тепловой энергии в марте 2008 года

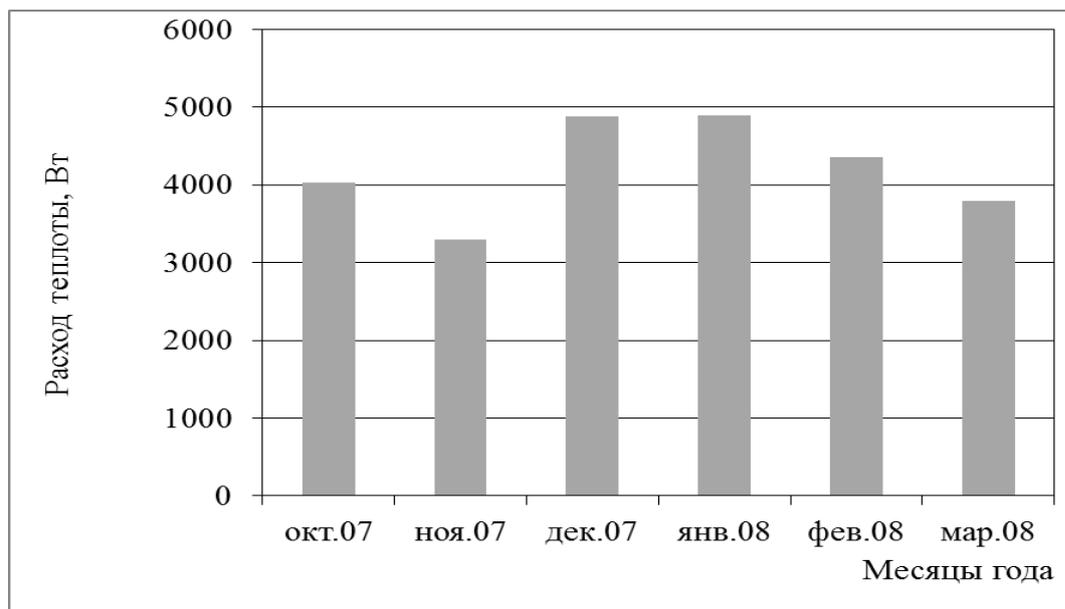


Рисунок 6.33. Суммарный перерасход тепловой энергии по месяцам в период измерений

Для помещения бассейна также проводились измерения концентраций примесей в воздухе в 2007-2008 годах [266, 267]. Результаты измерений концентрации диоксида углерода и результаты расчетов изменений концентрации диоксида углерода по программе, разработанной на основе предложенных в настоящей работе физико-математических моделей воздушного, теплового и газового режимов помещения (здания) [360-362] представлены на графиках на рисунках 6.34 – 6.42, где на каждом рисунке показаны три графика: 1. результаты экспериментальных измерений концентрации диоксида углерода, 2. результаты расчетов при фоновой концентрации диоксида углерода снаружи здания, равной средней величине, 3. результаты расчетов при фоновой концентрации диоксида углерода снаружи здания, равной 0 г/м^3 . Расчеты проведены для ситуации, когда средняя концентрация диоксида углерода снаружи здания принята равной $0,2 \text{ г/м}^3$ и 0 г/м^3 , что сильно влияет на величину концентрации в помещении, при расчетах с учетом средней концентрации равной $0,2 \text{ г/м}^3$ сходимость расчетных и измеренных значений очень близка и ошибка составляет 1-2%, не учет фоновой уличной концентрации приводит к ошибке до 40%. Величины измеренных и рассчитанных концентраций получились ниже величины ПДК из-за работы

системы механической вентиляции и при существующем количестве людей, пришедших в бассейн.

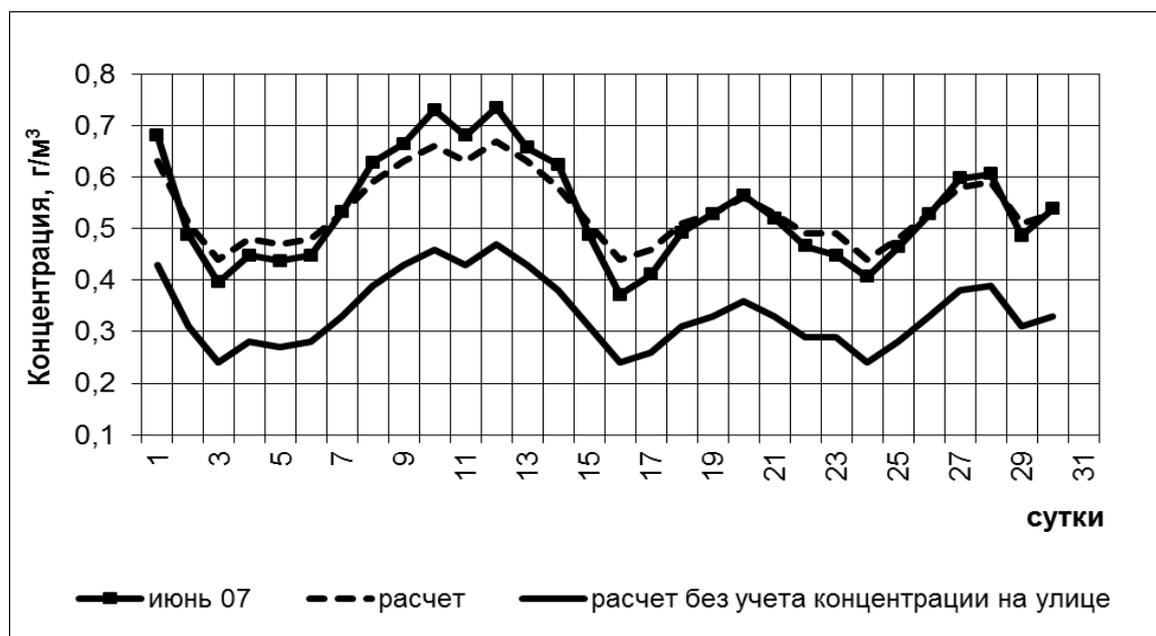


Рисунок 6.34. Изменение концентрации диоксида углерода в помещении бассейна в июне 2007 года, расчетные значения концентрации диоксида углерода

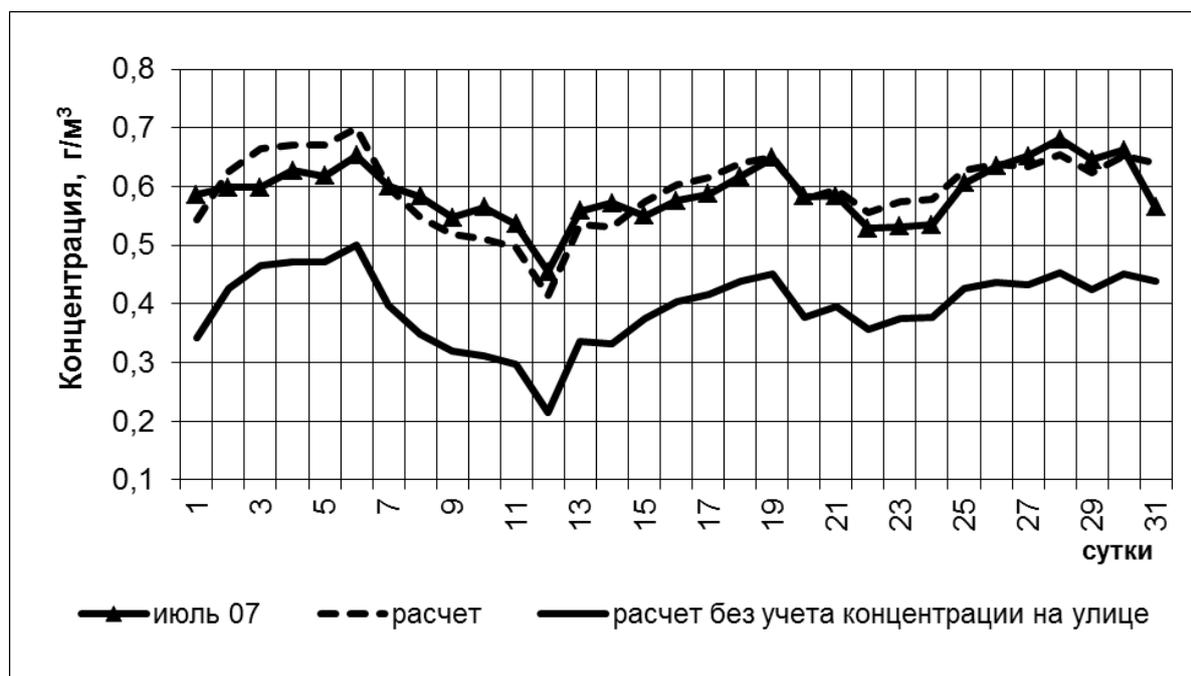


Рисунок 6.35. Изменение концентрации диоксида углерода в помещении бассейна в июле 2007 года, расчетные значения концентрации диоксида углерода

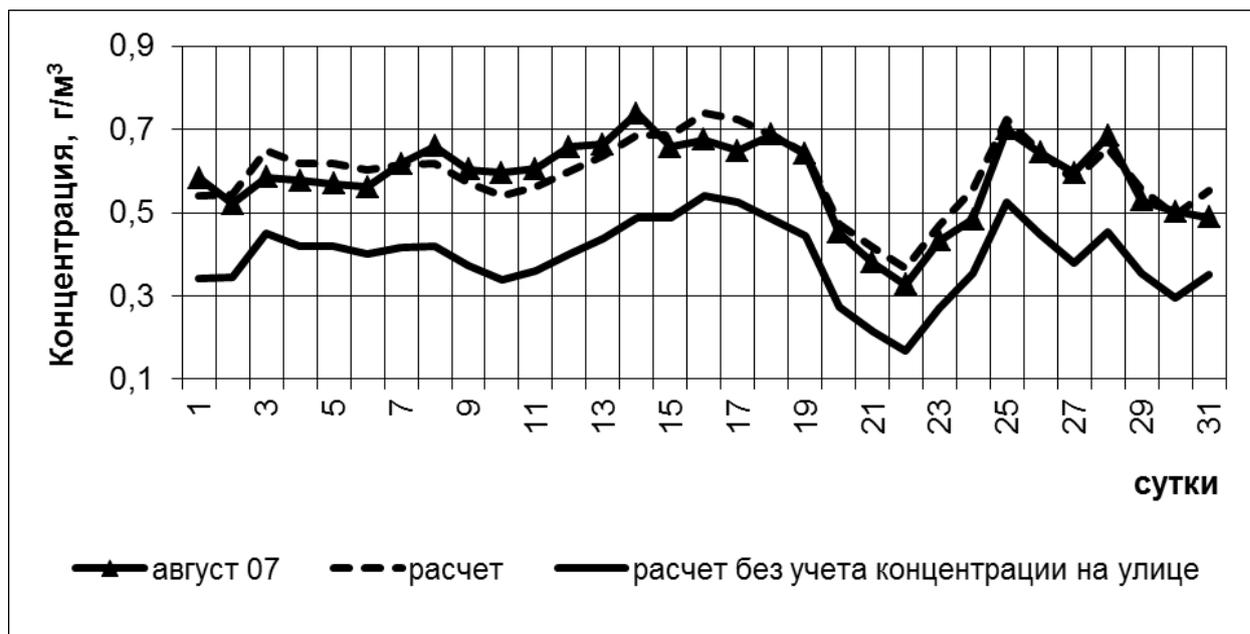


Рисунок 6.36. Изменение концентрации диоксида углерода в помещении бассейна в августе 2007 года, расчетные значения концентрации диоксида углерода

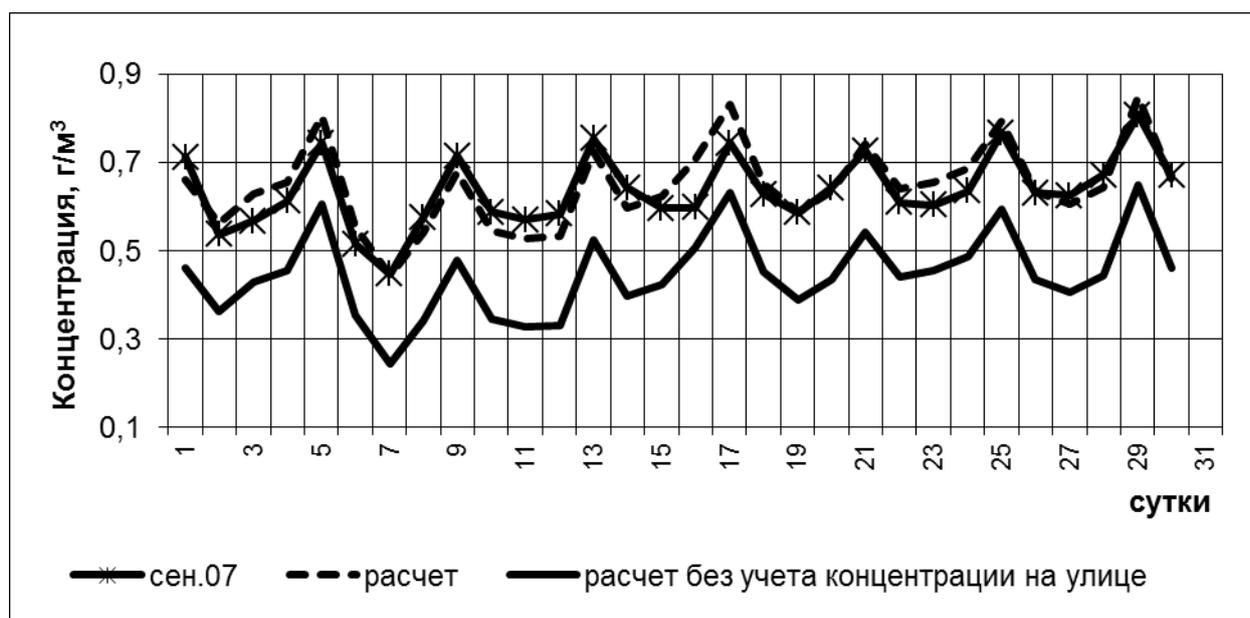


Рисунок 6.37. Изменение концентрации диоксида углерода в помещении бассейна в сентябре 2007 года, расчетные значения концентрации диоксида углерода



Рисунок 6.38. Изменение концентрации диоксида углерода в помещении бассейна в октябре 2007 года, расчетные значения концентрации диоксида углерода

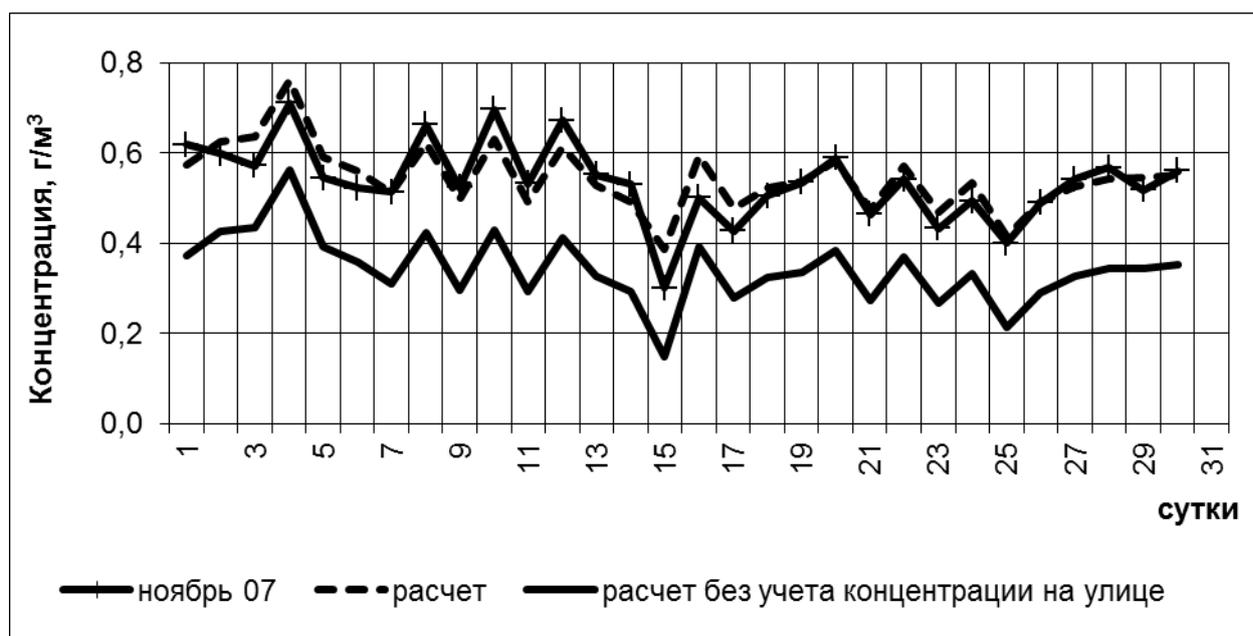


Рисунок 6.39. Изменение концентрации диоксида углерода в помещении бассейна в ноябре 2007 года, расчетные значения концентрации диоксида углерода

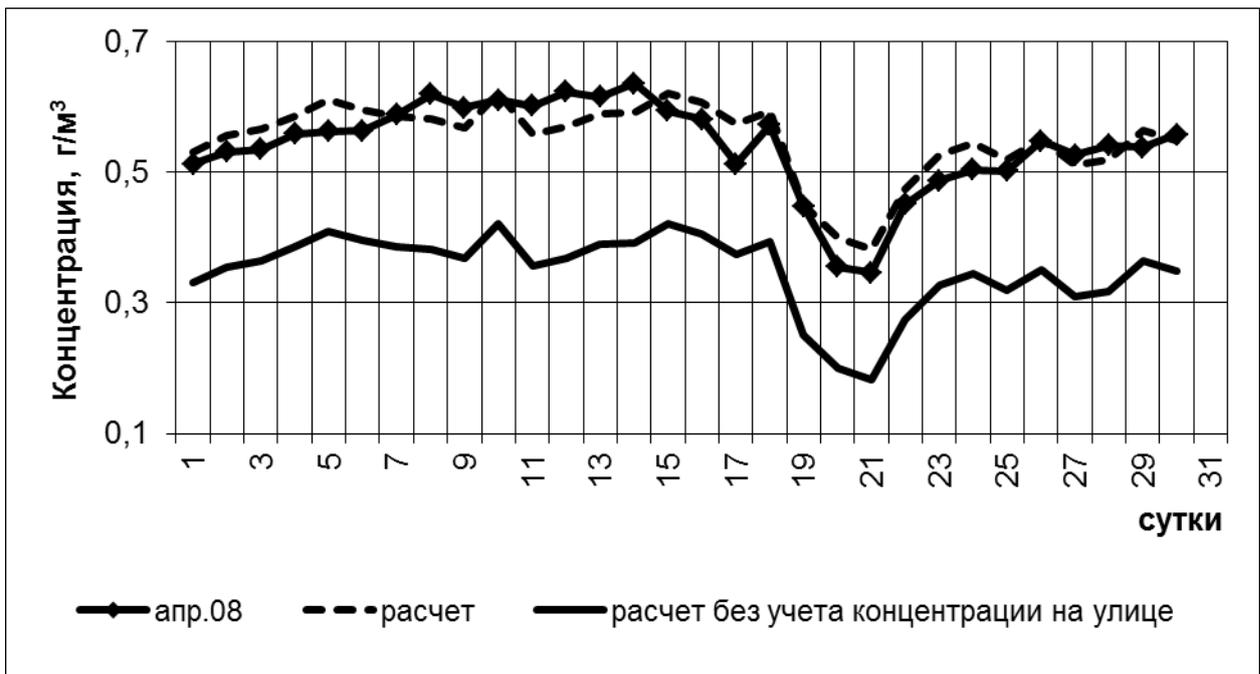


Рисунок 6.40. Изменение концентрации диоксида углерода в помещении бассейна в апреле 2008 года, расчетные значения концентрации диоксида углерода



Рисунок 6.41. Изменение концентрации диоксида углерода в помещении бассейна в июне 2008 года, расчетные значения концентрации диоксида углерода

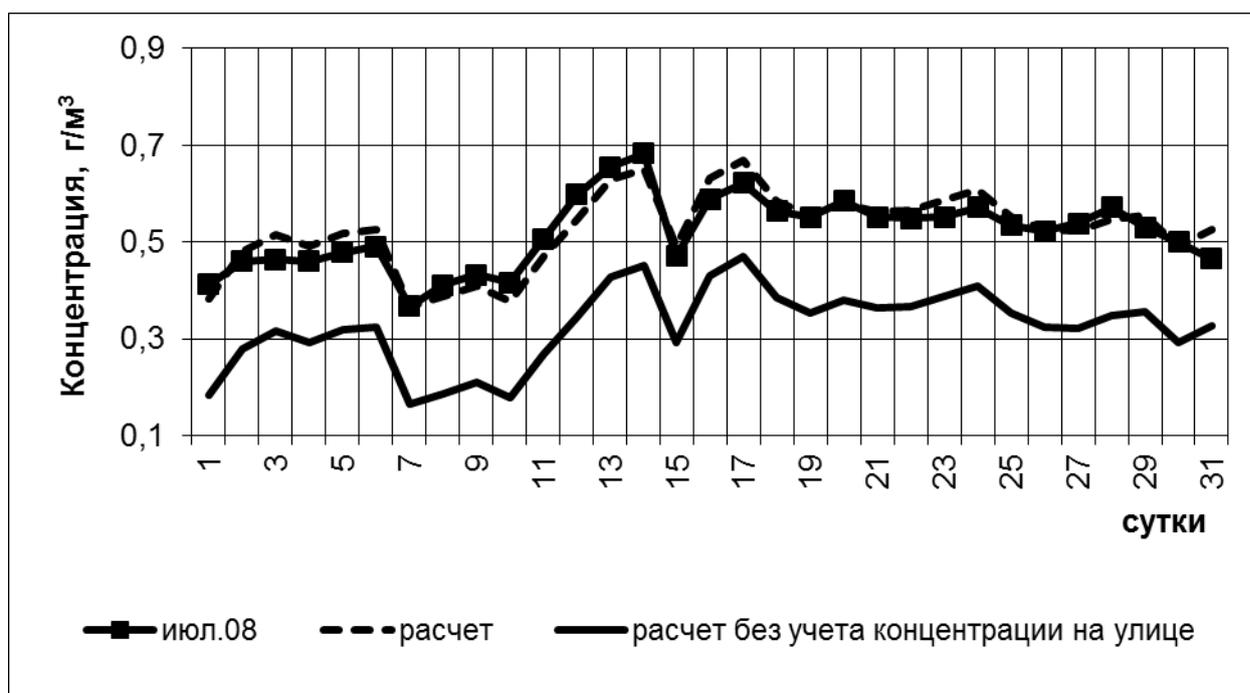


Рисунок 6.42. Изменение концентрации диоксида углерода в помещении бассейна в июле 2008 года, расчетные значения концентрации диоксида углерода

Качественное сопоставление результатов расчетов и экспериментальных исследований показывает хорошую сходимость и соответствие разработанной математической модели газового режима с учетом влияния воздушного и теплового режима здания физическим процессам изменения параметров микроклимата, в частности, по концентрации диоксида углерода. Некоторые превышения или снижения концентрации связаны с действием воздушно-теплового режима здания.

Измерения газового режима проводилось в двух квартирах жилых 9-ти этажных зданий, в одной из трех комнат. Одна квартира располагалась на 4 этаже и в ней применены новые герметичные ПВХ окна со стеклопакетом, в другой квартире, расположенной на 5 этаже, установлены деревянные двойные окна в спаренных переплетах с заданной воздухопроницаемостью. Вид окон влияет на воздухообмен в комнате и в квартире, так как связан с работой естественной вентиляции, работа которой определяет величину концентрации примеси в

воздухе, в частности, диоксида углерода. План квартир представлен на рисунке 6.43.

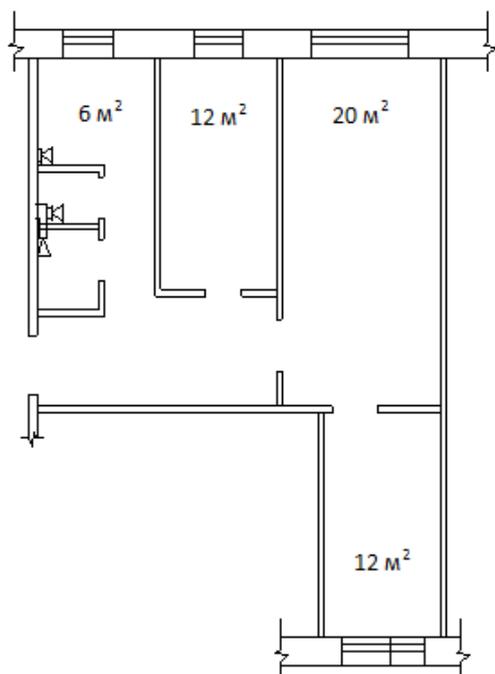


Рисунок 6.43. План квартиры

В квартирах в данной комнате проживает один человек, который в первом случае (кв.1) находится в комнате постоянно в течение суток с незначительным по времени отсутствием в течение не более 2-х часов в сутки. Во второй квартире (кв.2) человек находится в комнате только в не рабочее время в течение суток, а в рабочее отсутствует. Переменность мощности источника диоксида углерода (в данном случае человека) и разный воздухообмен определяет величину концентрации диоксида углерода в помещении. Результаты измерений и расчетов представлены на рисунках 6.44 и 6.45, где показаны измеренные и расчетные значения концентрации диоксида углерода. Из рисунков видно, что концентрация диоксида углерода изменяется не стационарно, видно влияние неорганизованного естественного воздухообмена, который имеет место как в одном, так и в другом вариантах, при этом, в первом варианте концентрация изменяется незначительно, во втором варианте изменение концентрации имеет более выраженный характер, из-за большей переменности работы источника вредных выделений и из-за работы естественной системы вентиляции.

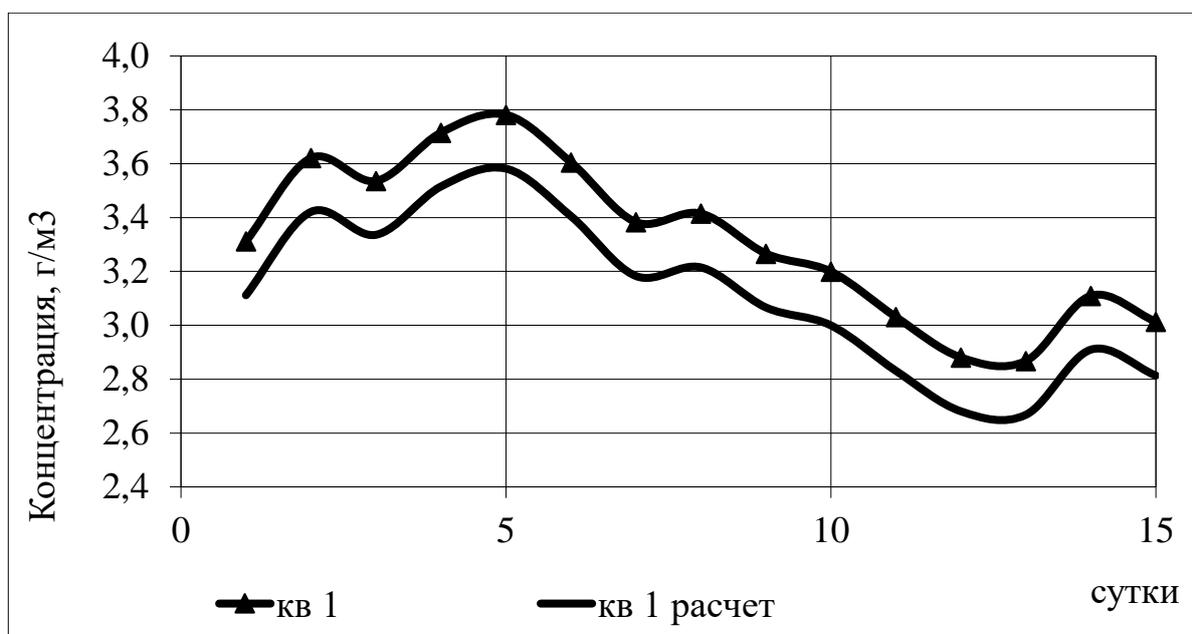


Рисунок 6.44. Изменение концентрации диоксида углерода в комнате квартиры в феврале 2010 года, расчетные значения концентрации диоксида углерода

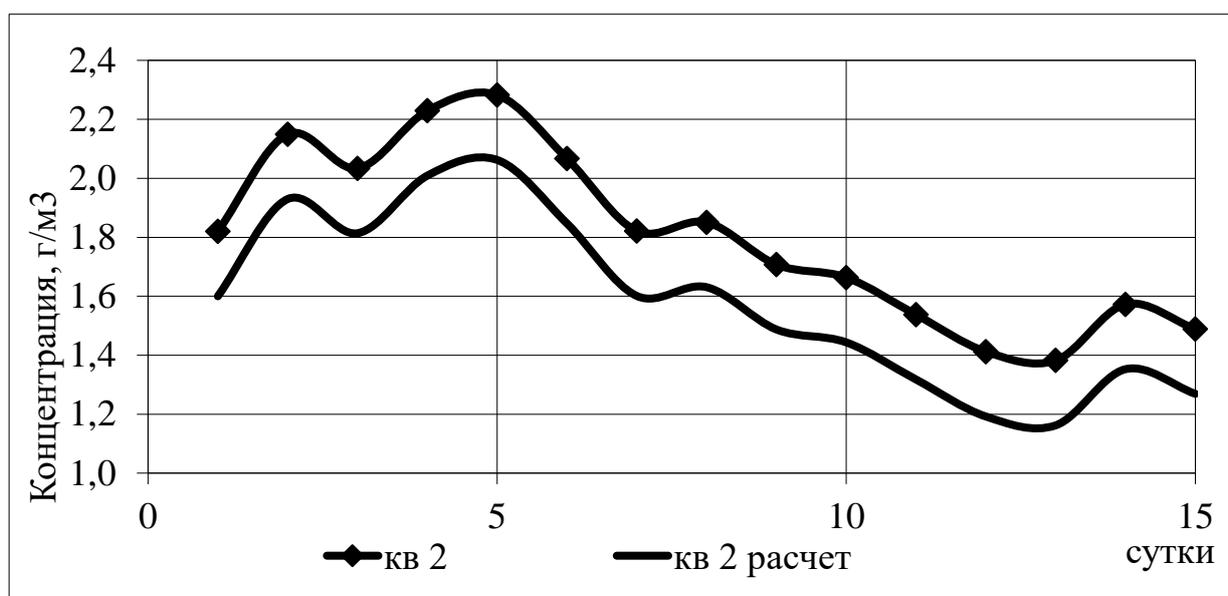


Рисунок 6.45. Изменение концентрации диоксида углерода в комнате квартиры в феврале 2010 года, расчетные значения концентрации диоксида углерода

Расчет проводился на основании условно средних значений мощности источника диоксида углерода в помещении (присутствие – отсутствие человека) в течение часа в период измерений концентрации диоксида углерода, воздухообмен получен при расчете тепловоздушного режима здания с учетом нормативной воздухопроницаемости окон.

Разница между измеренной и расчётной концентрацией определяется значением концентрации углекислого газа в приточном воздухе - это значение имеет переменное значение в зависимости от наличия у здания источников углекислого газа и в зависимости от состояния поверхностного слоя атмосферы, при котором происходит очистка приземного слоя атмосферы. Поэтому на графиках измеренная концентрация включает в себя величину концентрации диоксида углерода в наружном воздухе, что можно исключить при одновременном измерении данной концентрации. Не учет фоновой уличной концентрации при расчете приведет к ее снижению по сравнению с расчетной, что наблюдается на графиках 6.44 и 6.45, на графиках 6.34 - 6.42 фоновая концентрация была учтена при расчете, поэтому изменение концентрации отличается то в большую, то в меньшую сторону, так как нет учета постоянного изменения фоновой концентрации в наружном воздухе.

На рисунках 6.46 - 6.48 показано изменение температуры воздуха в квартирах 1 и 2, изменение температуры наружного воздуха в период измерений, расходы вентиляционного воздуха в квартирах 1 и 2 в период измерений и расчетов динамики величины концентрации углекислоты.

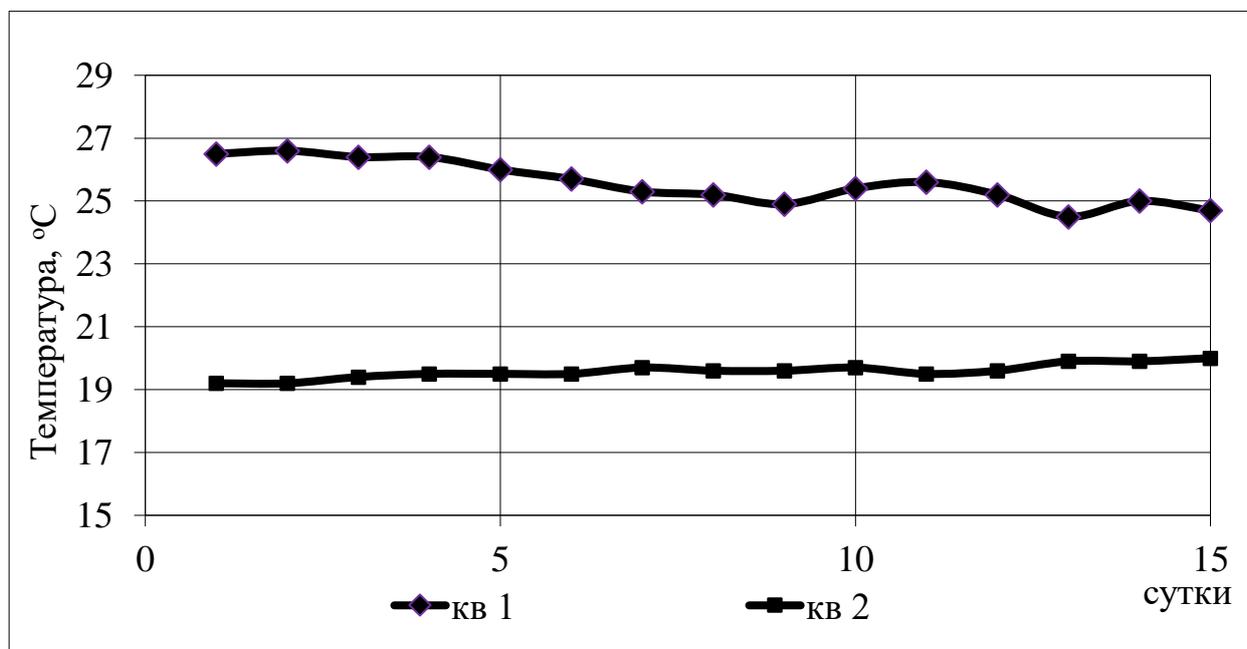


Рисунок 6.46. Изменение температуры внутреннего воздуха, осредненная в течение суток в комнате двух квартир в феврале 2010 года



Рисунок 6.47. результаты мониторинга температуры наружного воздуха во время измерений, осредненная в течение суток в феврале 2010 года

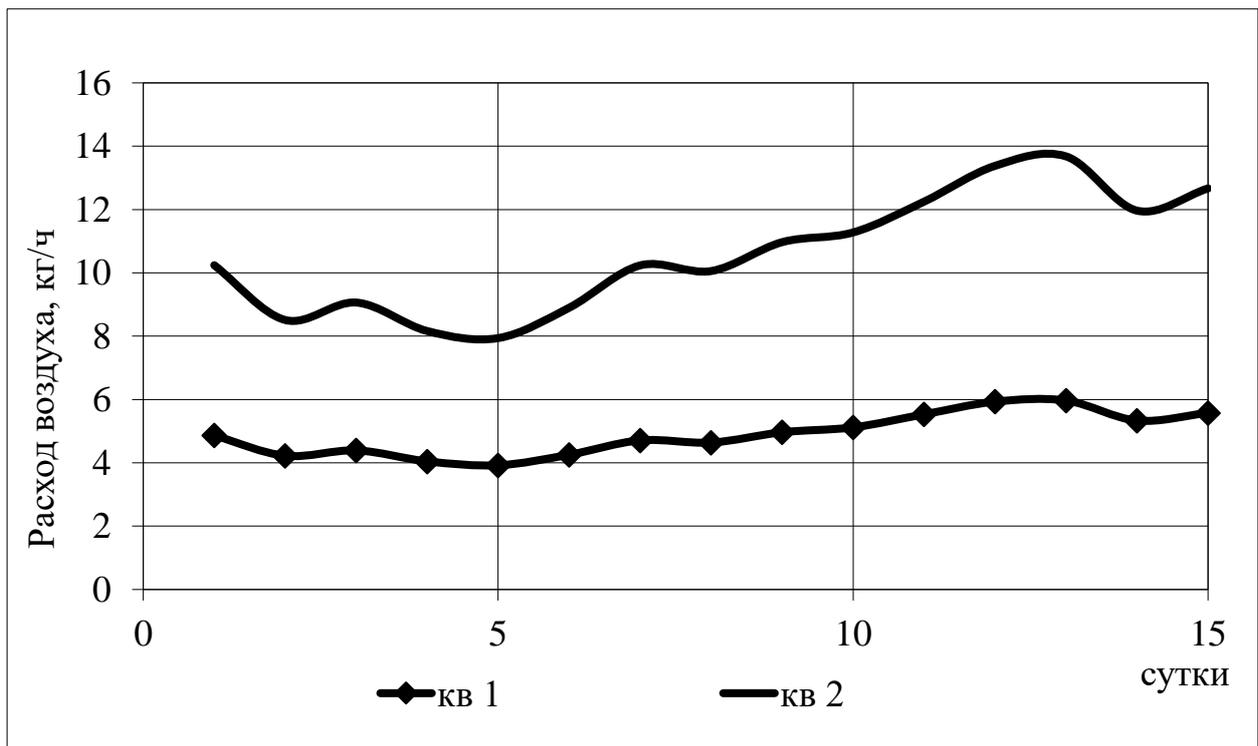


Рисунок 6.48. Изменение расхода воздуха в комнатах кв. 1 и 2 в феврале 2010 года, формирующие расчетные значения концентрации диоксида углерода

Расчет тепловоздушного режима здания определяет расходы воздуха между помещениями и через наружные ограждения, что является основой для составления

уравнений газового баланса помещений и расчета газового (влажностного) режима здания.

Газовый режим административного здания.

Проведен расчет газового режима 5 этажного административного здания для холодного периода года с учетом действия воздушного и теплового режима. Окна в здании закрыты их воздухопроницаемость определяется конструкцией окон – двойные, деревянные в спаренных переплетах с уплотнением из полшерстяного шнура. Источник примеси расположен на улице в наветренном воздушном объеме аэродинамического следа, скорость ветра принята 4,9 м/с. Мощность источника 10000 мг/ч, источник периодического действия с равномерными в течение суток мощностью и периодичностью. Расчеты проводились для 184 часов периодического изменения ГРЗ, с учетом переменчивости ВРЗ и ТРЗ. Помещения расположены одно над другим, планировка здания показана на рисунке 3.2, результаты для 1, 3 и 5 этажей показаны на рисунках 6.49 - 6.51, работа источника показана на рисунок 6.52.

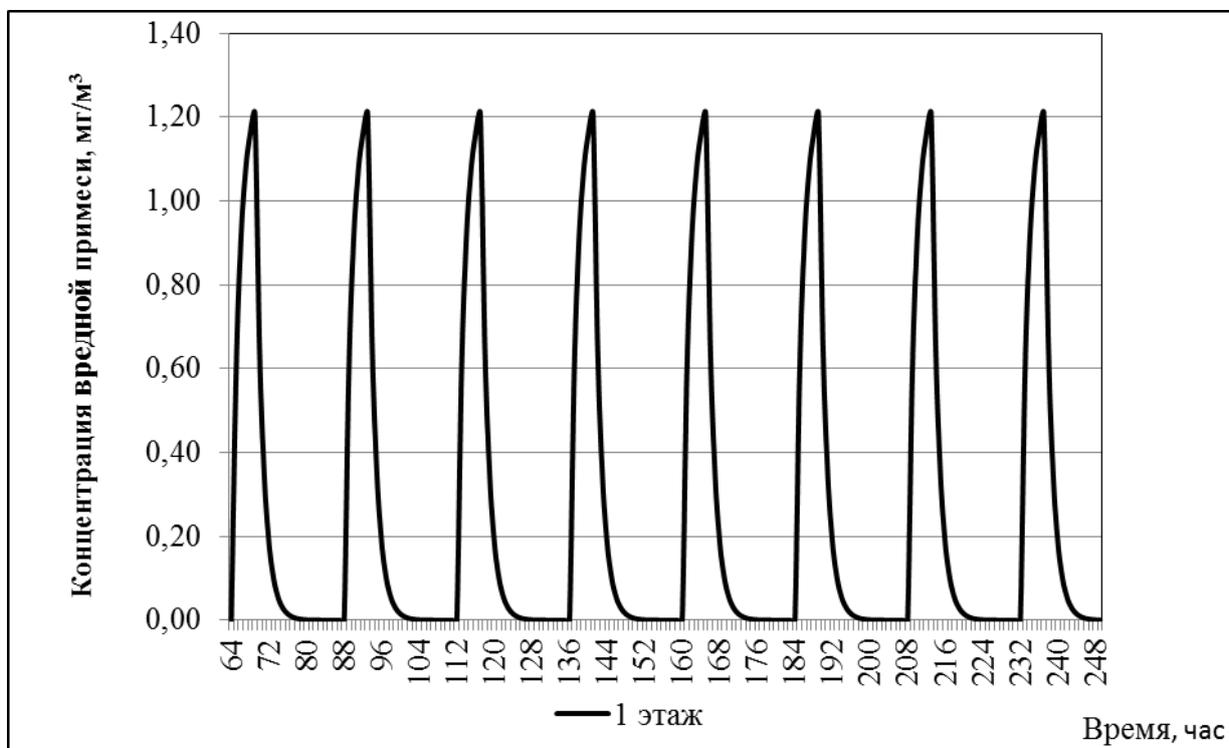


Рисунок 6.49. Результаты расчета изменения концентрации примеси в воздухе помещения 1 этажа

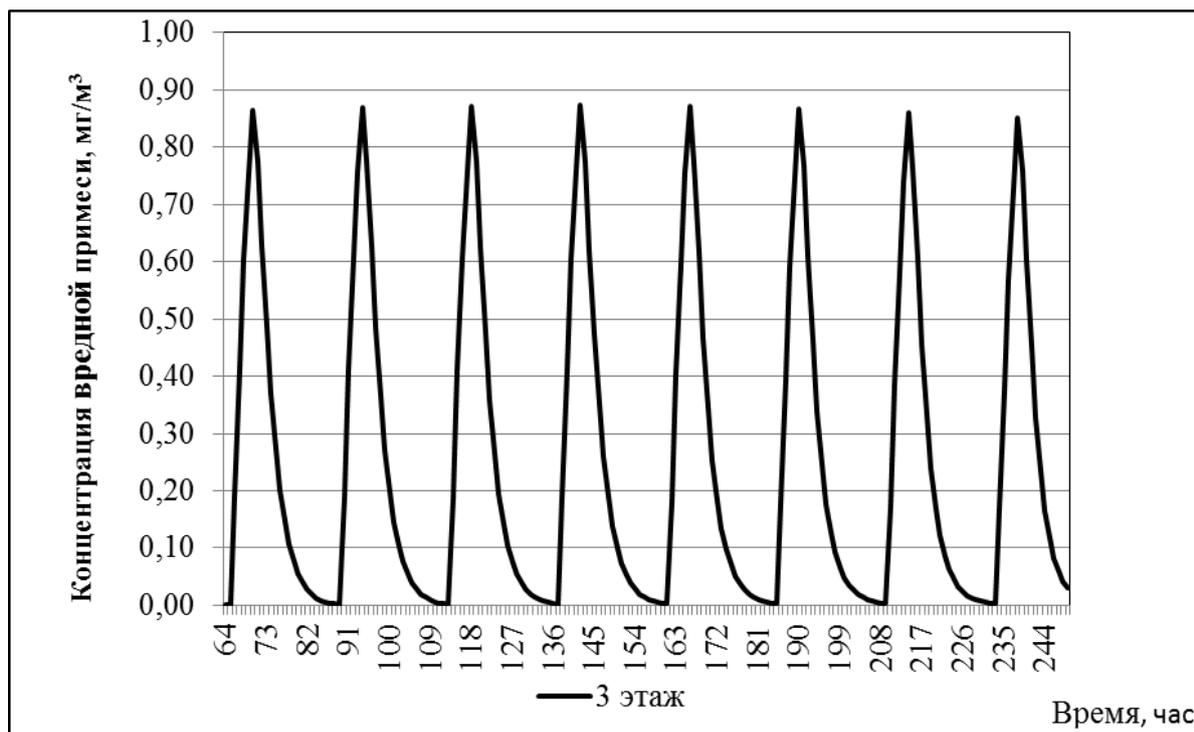


Рисунок 6.50. Результаты расчета изменения концентрации примеси в воздухе помещения 3 этажа

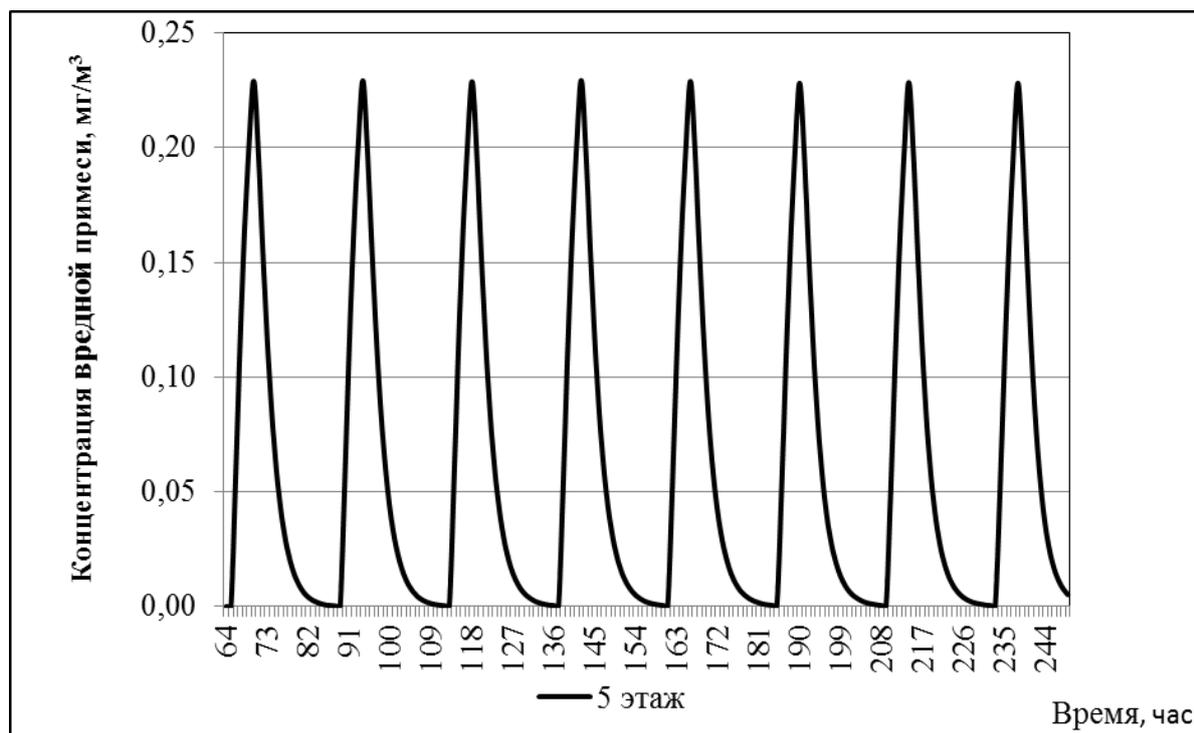


Рисунок 6.51. Результаты расчета изменения концентрации примеси в воздухе помещения 5 этажа

Периодичность работы источника вредных примесей показана на рисунке 6.52.

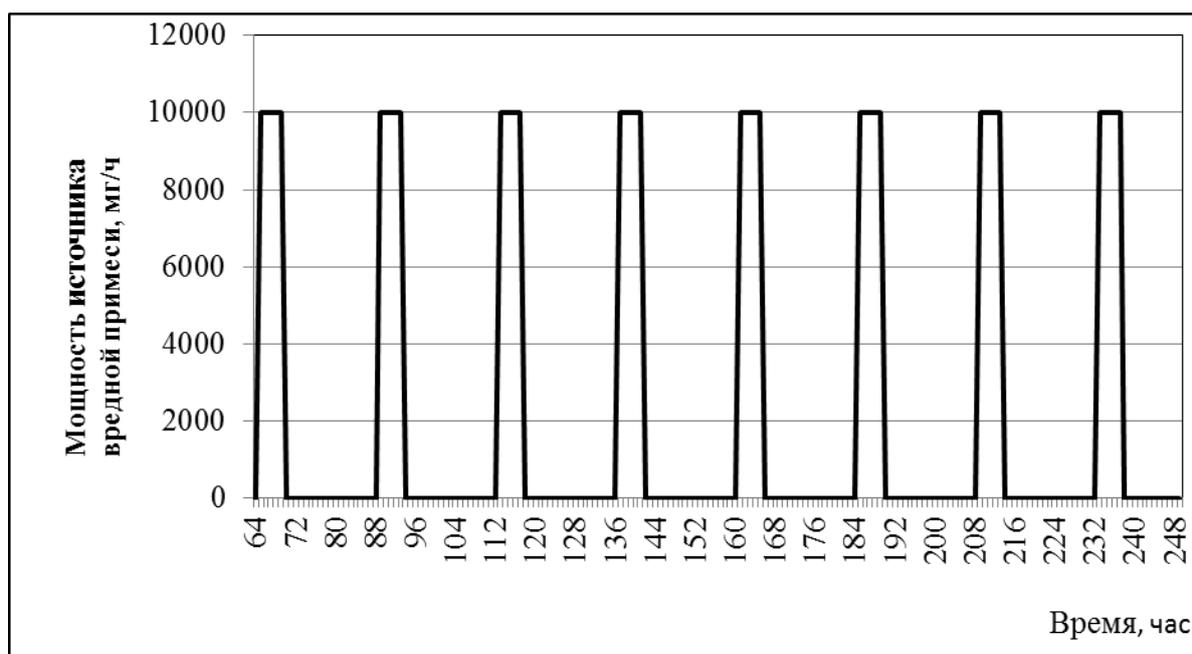


Рисунок 6.52. Периодичность работы источника примеси

На рисунках 6.49 - 6.51 видна периодичность роста и снижения концентрации примеси в воздухе помещений здания, снижение величины концентрации примеси от 1 к 5 этажу связано с изменением воздушного режима здания и изменением количества инфильтрационного воздуха уменьшающегося с высотой здания. Фазы и цикличность изменения работы источника примеси влияют на фазы и цикличность изменения концентрации примеси в воздухе рассматриваемых помещений. Поступающая вредная примесь в помещения больше определяется инфильтрационным чем перетекающим по зданию воздухом.

6.2 Апробация технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания

Практическая апробация технологии вариативного комплексного моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем

зданий определяется результатами экспериментальных и расчетных исследований динамики тепломассообменных и газового режимов в помещениях.

Для проверки на сколько правильной является физико-математическое моделирование для прогнозирования динамики параметров микроклимата и концентрации примеси в воздухе помещений зданий проводились измерения данных параметров и расчет по программам, созданных на основе разработанных алгоритмов динамических режимов, рассмотренных в 2 – 5 главах настоящей диссертации.

Критерием правильности выбора физико-математической модели является сопоставление данных математического исследования с результатами экспериментальных исследований. Критерием адекватности математического моделирования это величина невязки между расчетными и экспериментальными значениями параметров микроклимата и концентрации примеси в %. Результаты эксперимента сопоставляются с результатами расчётов на основе математической модели, после чего можно сделать вывод об соответствии математической модели по прогнозированию параметров микроклимата и концентраций вредных примесей для расчетов с помощью разработанных программ конкретных практических задач.

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 отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха с учетом формирования потенциала энергосбережения в указанных системах.

Измерения проводились в помещениях зданий: бассейн, жилое здание, офис. Измерения были связаны с изучением колебания температуры воздуха и концентрации примеси в воздухе во времени.

Планирование эксперимента

Эксперимент необходим для оценки правильности разработанной математической модели. Эксперимент проводится с учетом известных условий эксплуатации помещений здания по формированию параметров микроклимата и концентраций вредных примесей. Для эксперимента по исследованию изменения во времени температурного и газового режимов помещения важна совокупность множества получаемых результатов измерений в течение 10 - 30 суток в холодный, переходный и теплый периоды года, что позволяет анализировать не стационарность тепломассообменных процессов.

Время проведения эксперимента связано с необходимостью выявить возможности по энергосбережению в системах обеспечения микроклимата в зданиях. Эксперимент проводился в течение холодного, переходного и теплого периодов года, в течение от 10 суток до 1 года постоянных измерений через равные промежутки времени (1 час, 3 часа), что связано с необходимостью выявления перегрева или недостаточного нагрева воздуха в помещениях, а также для анализа изменения концентрации примеси в воздухе, что позволяет формировать потенциал энергосбережения в здании.

Рассматриваемые помещения не имели локализованных источников вредных поступлений, а также сильных струйных потоков, что дало возможность изучать данные помещения на основе однозонной схемы изменения каждого параметра микроклимата. Измерения проводились в одной точке помещения, которая была расположена в рабочей зоне помещения вне активных конвективных и струйных потоков.

Динамическая работа источников и стоков теплоты и примеси определяется случайным и заданным характером возмущающих воздействий на каждый измеряемый параметр микроклимата и концентрацию примеси в воздухе. Инерционность динамики концентрации примеси в воздухе помещения связана с инерционностью мощности источника (теплота, поступление диоксида углерода), значением величины воздухообмена и с особенно с величиной объема помещения, и характеризуется интервалом от 1 до 3 часов. Основные изменения в работе

помещений формируются в системе – рабочее время – не рабочее время, в рабочее время число источников известно, в не рабочее время источники отсутствуют.

Для натуральных измерений применены следующие измерительные приборы:

1) регистратор данных для testo 175-H1, для измерения температуры и влажности воздуха (рисунок 6.53). Погрешность измерений определена точностью прибора $\pm 0,5$ °C и $\pm 3\%$; 2) KCD-DA CO₂ монитор на основе двухчастотной ИК-спектроскопии. Мониторы обеспечивают одновременный контроль концентрации CO₂, влажности и температуры окружающей среды. Точность измерений не превышает $\pm 3\%$. Вид прибора показан на рисунке 6.54.

	
Рисунок 6.53. Измерительный прибор testo 175-H1	Рисунок 6.54. KCD-DA CO ₂ монитор на основе двухчастотной ИК-спектроскопии

Обработка результатов и анализ эксперимента.

Проведено сравнение результатов численного эксперимента и натуральных измерений значений концентраций диоксида углерода в помещении бассейна (рисунки 6.34 - 6.42). В результате сравнения результатов измерений и расчетов

концентрации диоксида углерода по месяцам в период 2007-2008 г.г. получены отклонения в %, результаты представлены в таблицах 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1

Результаты измерений и расчетов концентрации диоксида углерода по месяцам в период 2007-2008 гг. (июнь 2007-октябрь 2007)

Дата	Июнь 2007	Июль 2007	Август 2007	Сентябрь 2007	Октябрь 2007
1	7,35	7,28	7,34	7,31	7,36
2	-4,51	-4,52	-4,46	-4,53	-4,50
3	-11,11	-11,06	-11,11	-11,09	-11,15
4	-7,14	-7,07	-7,17	-7,22	-7,09
5	-7,55	-8,55	-8,44	-8,42	-8,47
6	-7,14	-7,21	-7,19	-7,23	-7,08
7	0,38	0,33	0,33	0,45	0,38
8	6,05	6,00	6,06	6,03	-3,10
9	5,12	5,12	5,11	5,07	5,14
10	9,59	9,56	9,60	7,05	9,59
11	7,35	7,28	7,34	7,34	7,38
12	8,72	8,79	8,75	8,70	-7,29
13	4,11	4,12	4,05	4,06	4,07
14	7,05	6,99	7,04	7,12	20,00
15	-4,51	-4,55	-4,46	-4,55	-4,53
16	-18,60	-4,69	-9,64	-18,56	-18,59
17	-11,92	-4,94	-11,88	-11,88	-11,97
18	-3,66	-3,65	0,19	-3,70	-3,71
19	-0,38	-0,38	-0,43	-0,38	-0,36
20	0,88	0,94	-4,88	0,93	11,35
21	-1,92	-1,88	-9,21	-1,98	14,65
22	-5,15	-5,17	-12,54	-5,11	13,42
23	-9,38	-8,25	-8,31	-8,33	-8,21
24	-8,11	-8,07	-14,67	-8,03	-8,04
25	-3,53	-3,60	-3,54	-3,51	-3,52
26	-0,43	-0,38	-0,48	-0,49	-0,40
27	2,90	2,95	2,82	2,88	2,92
28	2,69	3,89	4,21	4,18	4,11
29	-4,99	3,38	-5,01	-5,03	-5,05
30	1,55	1,53	1,57	1,49	1,53
31		-13,10	-13,11		-13,06
Среднее значение	-1,49	-0,93	-2,33	-1,53	-0,78

Результаты измерений и расчетов концентрации диоксида углерода по месяцам в период 2007-2008 гг. (ноябрь 2007-июль 2008)

Дата	Ноябрь 2007	Апрель 2008	Июнь 2008	Июль 2008
1	7,35	-3,45	7,42	7,24
2	-4,47	-4,52	-4,42	-4,43
3	-11,12	-5,60	-11,22	-11,18
4	-7,18	-5,00	-7,07	-7,10
5	-8,46	-8,50	-8,41	-8,51
6	-7,06	-5,59	-7,14	-7,11
7	0,33	0,33	0,46	0,24
8	6,06	5,98	6,09	5,96
9	5,05	5,12	5,20	5,01
10	9,54	-1,64	9,54	9,53
11	7,32	7,30	7,32	7,28
12	8,75	8,70	8,72	8,70
13	4,19	4,16	4,05	4,06
14	7,11	7,00	7,06	4,62
15	-28,24	-4,46	-4,57	-4,44
16	-18,60	-4,35	-3,90	-7,13
17	-11,94	-11,97	-8,20	-7,72
18	-3,56	-3,63	-3,71	-3,73
19	-0,37	-0,46	-0,38	-0,36
20	0,85	-12,57	0,89	0,85
21	-1,94	-10,34	-1,91	-1,99
22	-5,17	-5,16	6,44	-3,10
23	-8,33	-8,31	-8,24	-6,52
24	-8,11	-8,07	-8,17	-6,48
25	-3,50	-3,46	-3,47	-3,56
26	-0,41	-0,45	-0,37	-0,38
27	2,95	2,95	2,84	2,97
28	4,23	4,12	4,14	4,20
29	-5,02	-4,91	-4,91	-4,91
30	1,61	1,58	1,65	1,60
31				-13,12
Среднее значение	-2,20	-2,10	-0,46	-1,27

При анализе данных в таблицах 6.1 и 6.2 выявлено, что величина среднего отклонения измеряемых величин от расчетных значений на основе предложенной в настоящей работе математической модели не превышает 2,5%. Ряд значений отличаются от средней величины на 0,3 – 18 %, что связано с особенностями эксплуатации здания (случайные факторы).

Для анализа случайных погрешностей эксперимента возьмем данные, представленные на рисунке 6.48, где показано изменение концентрации диоксида углерода при измерениях в помещении бассейна в июле 2007 года, результаты расчета погрешности измерений представлен в таблицах 6.3 и 6.4. Таблица 6.3

Расчёт погрешности измерений

t_1	t_2	t_3	Δt_1	Δt_2	Δt_3
0,56856	0,58562	0,60319	0,00444	0,00438	0,00381
0,58146	0,59891	0,61687	-0,00846	-0,00891	-0,00987
0,58132	0,59876	0,61672	-0,00832	-0,00876	-0,00972
0,60845	0,62671	0,64551	-0,03545	-0,03671	-0,03851
0,60016	0,61817	0,63671	-0,02716	-0,02817	-0,02971
0,63390	0,65292	0,67251	-0,06090	-0,06292	-0,06551
0,58252	0,60000	0,61800	-0,00952	-0,01000	-0,01100
0,56602	0,58300	0,60049	0,00698	0,00700	0,00651
0,53107	0,54700	0,56341	0,04193	0,04300	0,04359
0,54854	0,56500	0,58195	0,02446	0,02500	0,02505
0,52039	0,53600	0,55208	0,05261	0,05400	0,05492
0,44175	0,45500	0,46865	0,13125	0,13500	0,13835
0,54175	0,55800	0,57474	0,03125	0,03200	0,03226
0,55534	0,57200	0,58916	0,01766	0,01800	0,01784
0,53398	0,55000	0,56650	0,03902	0,04000	0,04050
0,55922	0,57600	0,59328	0,01378	0,01400	0,01372
0,56991	0,58701	0,60462	0,00309	0,00299	0,00238
0,59853	0,61648	0,63498	-0,02553	-0,02648	-0,02798
0,62962	0,64850	0,66796	-0,05662	-0,05850	-0,06096
0,56649	0,58349	0,60099	0,00651	0,00651	0,00601
0,56702	0,58403	0,60155	0,00598	0,00597	0,00545
0,51328	0,52868	0,54454	0,05972	0,06132	0,06246
0,51569	0,53116	0,54709	0,05731	0,05884	0,05991
0,51927	0,53484	0,55089	0,05373	0,05516	0,05611
0,58760	0,60522	0,62338	-0,01460	-0,01522	-0,01638
0,61612	0,63460	0,65364	-0,04312	-0,04460	-0,04664
0,63326	0,65226	0,67183	-0,06026	-0,06226	-0,06483
0,66063	0,68045	0,70086	-0,08763	-0,09045	-0,09386
0,62703	0,64584	0,66522	-0,05403	-0,05584	-0,05822
0,64287	0,66216	0,68202	-0,06987	-0,07216	-0,07502
0,54854	0,56500	0,58195	0,02446	0,02500	0,02505
Среднее значение 0,573	Среднее значение 0,590	Среднее значение 0,607			

Окончание расчёта погрешности измерений

$(\Delta t_1)^2$	$(\Delta t_2)^2$	$(\Delta t_3)^2$	S	$t_{абс}=t_{ср} \times S$	$\Delta t_{абс}/t_{ср} \times 100\%$
0,00002	0,00002	0,00001	0,000004	0,000058	0,009750
0,00007	0,00008	0,00010	0,000021	0,000268	0,045363
0,00007	0,00008	0,00009	0,000020	0,000259	0,043859
0,00126	0,00135	0,00148	0,000341	0,004402	0,746133
0,00074	0,00079	0,00088	0,000201	0,002600	0,440702
0,00371	0,00396	0,00429	0,000997	0,012881	2,183447
0,00009	0,00010	0,00012	0,000026	0,000336	0,056906
0,00005	0,00005	0,00004	0,000012	0,000151	0,025578
0,00176	0,00185	0,00190	0,000459	0,005931	1,005433
0,00060	0,00063	0,00063	0,000154	0,001993	0,337850
0,00277	0,00292	0,00302	0,000725	0,009370	1,588315
0,01723	0,01823	0,01914	0,004549	0,058797	9,966535
0,00098	0,00102	0,00104	0,000253	0,003276	0,555245
0,00031	0,00032	0,00032	0,000080	0,001028	0,174190
0,00152	0,00160	0,00164	0,000397	0,005129	0,869495
0,00019	0,00020	0,00019	0,000048	0,000618	0,104797
0,00001	0,00001	0,00001	0,000002	0,000026	0,004409
0,00065	0,00070	0,00078	0,000178	0,002300	0,389932
0,00321	0,00342	0,00372	0,000862	0,011140	1,888392
0,00004	0,00004	0,00004	0,000010	0,000130	0,022058
0,00004	0,00004	0,00003	0,000008	0,000109	0,018450
0,00357	0,00376	0,00390	0,000936	0,012093	2,049947
0,00328	0,00346	0,00359	0,000861	0,011132	1,886986
0,00289	0,00304	0,00315	0,000756	0,009777	1,657261
0,00021	0,00023	0,00027	0,000059	0,000768	0,130197
0,00186	0,00199	0,00218	0,000502	0,006489	1,099862
0,00363	0,00388	0,00420	0,000976	0,012613	2,138049
0,00768	0,00818	0,00881	0,002056	0,026571	4,503992
0,00292	0,00312	0,00339	0,000786	0,010153	1,720993
0,00488	0,00521	0,00563	0,001310	0,016926	2,869155
0,00060	0,00063	0,00063	0,000154	0,001993	0,337850
				Среднее значение 0,007397	Среднее значение 1,253907

Где t_1, t_2, t_3 – концентрации диоксида углерода, полученные в результате измерений в июле 2007 года в помещении бассейна с учетом погрешности измерительного прибора. $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ – отклонение измеренного значения от среднего значения

концентрации диоксида углерода. S – средняя квадратичная погрешность, $t_{абс}$ – абсолютная погрешность результата измерений, $\Delta t_{абс}/t_{ср} \times 100\%$ – относительная погрешность результата измерений.

Результаты расчета погрешности измерений показаны на рисунке 6.55, где показаны измерения при учете интервала погрешности измерительного прибора с учетом средних значений. Погрешность измерений не превышает 3%.

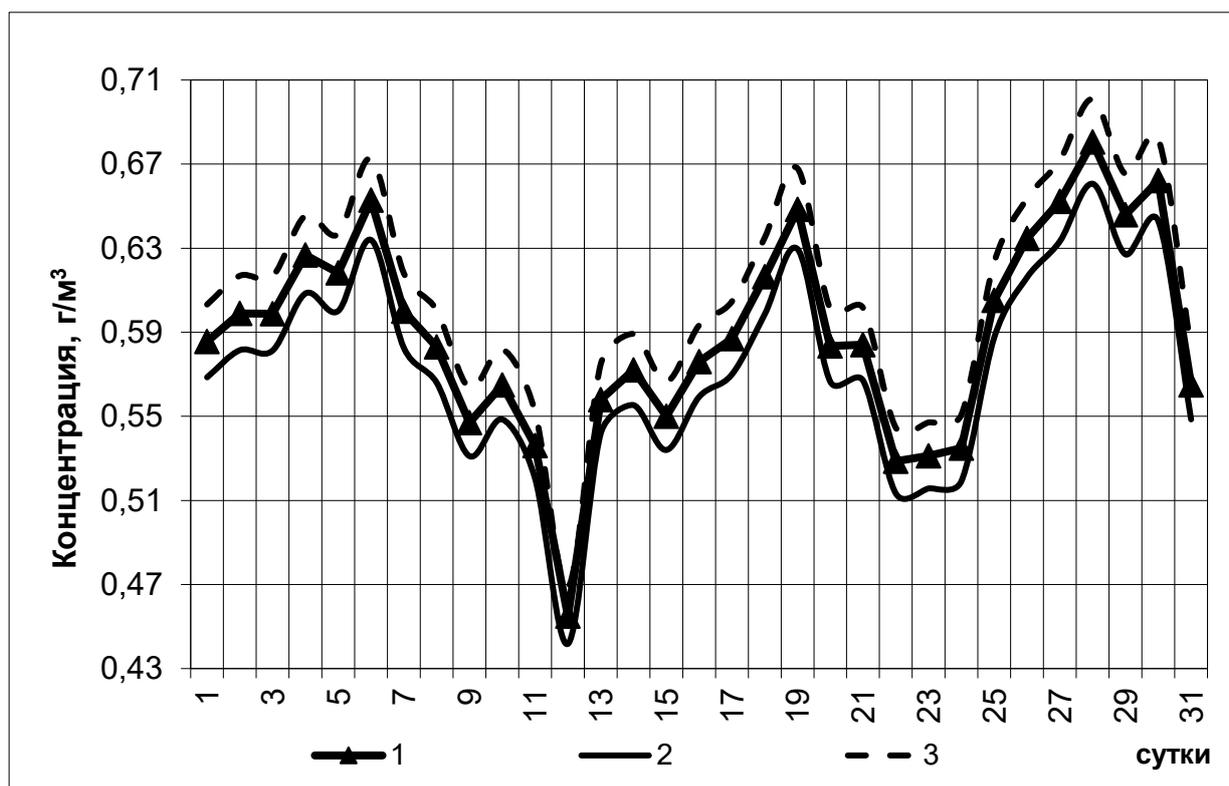


Рисунок 6.55. Измерения концентрации диоксида углерода с учетом интервала погрешности измерительного прибора, где 1 – результаты измерений концентрации диоксида углерода, 2 и 3 – границы значений концентрации диоксида углерода с учетом погрешности измерений

6.3 Перспективные направления исследований в области формирования и анализа проектных решений по управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем

здания

Перспективные направления исследований в области формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем здания предполагают развитие мониторинга параметров микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем существующих зданий и климата, непосредственно контактирующего с наружной поверхностью здания, для повышения точности прогнозирования динамики тепломассообменных и газового режимов.

Формирование проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем основан на следующих принципах:

- комплексности решений, учитывающих теплотехнические характеристики и динамику изменения тепловых режимов внутренних и внешних ограждающих конструкций здания и особенностях работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- универсальности физико-математических моделей, дающих возможность усложнения или упрощения постановки решаемой задачи.

Жизненный цикл здания связан с проектом, строительством и эксплуатацией. Микроклимат и качество воздушной среды здания связан с капитальными и эксплуатационными затратами. Эксплуатационные затраты связаны с энергетическими затратами, которые распространяются на весь жизненный цикл здания от начала эксплуатации до демонтажа (реконструкции). Приоритетом государства является энергосбережение [299, 328, 343]. Требования к зданиям с позиции энергосбережения постоянно растут, при неизменности требований к параметрам микроклимата и качеству воздушной среды в помещениях. Требуется строительство экономичных, энергоэффективных с заданной экологией зданий, что можно добиться при усилении усилий всех специалистов, проектирующих здание, понимающих общую цель и решающие конкретные задачи.

Создание энергоэкономичных зданий и обслуживающих их инженерных систем связано со следующими аспектами:

- эволюция архитектурных решений зданий при снижении энергозатрат на всем жизненном цикле здания,
- сохранение энергии и использование энергии окружающей среды для действия инженерных климатических и формирующих качество воздушной среды систем в здании.

Множество вариантов архитектуры и планировки любого здания на предпроектной стадии проекта дает возможность провести оценку и выбор будущей энергетической эффективности здания. Многовариантность проектных решений здания и выбор оптимального набора из них позволяет собрать оболочку и конструкции здания с инженерными системами в единое целое, отвечающее заданным требованиям по микроклимату и качеству воздушной среды в помещениях с учетом энергосбережения (рисунок 6.56).

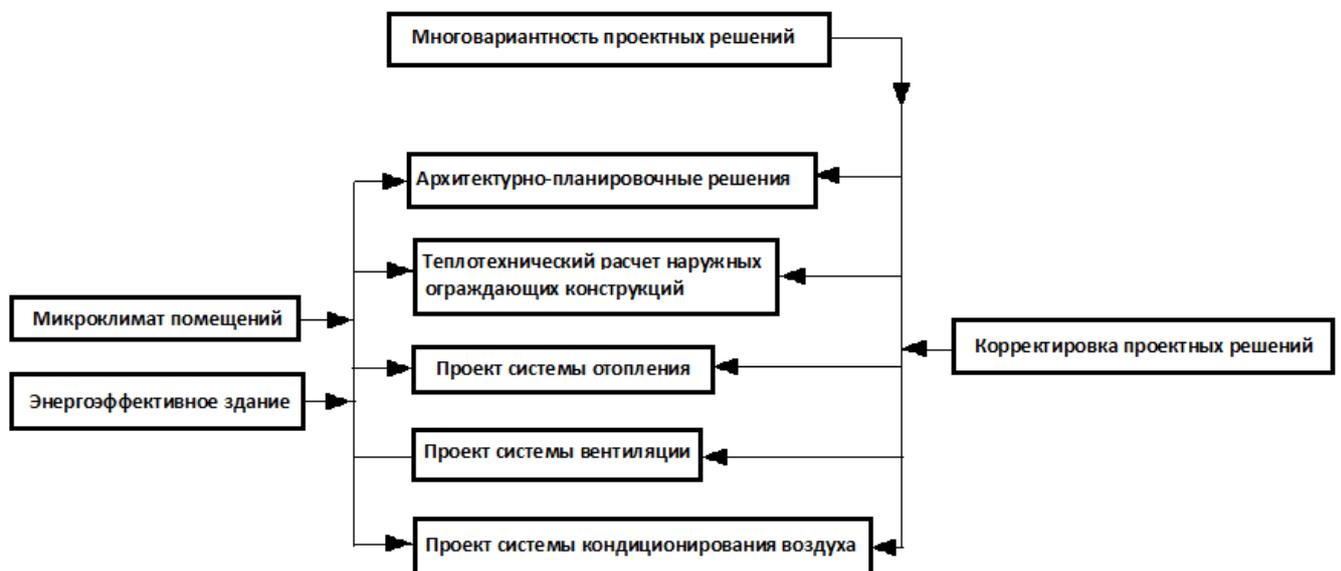


Рисунок 6.56. Схема многовариантности проектных решений при формировании энергоэффективного здания при контроле за качеством параметров микроклимата и качества воздушной среды в помещениях

Представление здания как Единой Технологической Системы основано на задаче по обеспечению заданного микроклимата и качества воздушной среды в помещениях и заданной долговечности ограждающих конструкций в соответствии

с технологическим предназначением здания. Единство воздушной среды с помещением и человеком, со зданием и его инженерными системами, с приземным слоем окружающего здание воздуха, позволяет получить более качественную картину изменения параметров микроклимата и качества воздушной среды во времени. Микроклимат как сочетание рассматриваемых динамических теплообменных режимов в каждом помещении необходимо рассматривать совместно с качеством воздуха, что связано с защитой помещений от вредных примесей различного происхождения. Архитектура и планировка здания, расположение его на территории по странам света, технические и схемные решения инженерных систем могут широко варьироваться, однако, все они должны обеспечивать заданные параметры микроклимата и качества воздушной среды в помещениях с учетом режимов их эксплуатации.

Трудности проектирования здания с позиции Единой технологической системы здания связаны с тем, что применяемые в настоящее время при проектировании методы расчета теплообменных и газообменных процессов, имеющих место в каждом помещении здания, в его оболочке и снаружи здания не имеют единого автоматизированного способа расчетов.

Существующие BIM технологии позволяют проектировать здание по всем направлениям проектов, объединяя проектировщиков разных специальностей в одном месте с едиными целями и задачами. Насыщение программы блоками, позволяющими рассчитывать инженерные системы, формирующие микроклимат и качество воздушной среды, с учетом инерционности оболочки и конструкций здания и совместной и комплексной работы инженерных систем, позволяет проводить физико-математическое моделирование динамики микроклимата и качества воздушной среды в помещениях. Проектировщик должен иметь возможность спрогнозировать работу инженерных систем и проанализировать, как меняются параметры микроклимата, качество воздуха в помещениях и энергопотребление зданием в течение сезона, года, в отдаленные периоды, а также при резких изменениях погоды, аварийных ситуациях, чтобы обеспечить безопасность человека в помещениях здания за весь его жизненный цикл.

Жизненный цикл построенного здания связан с контролем работы энергосберегающих мероприятий, с контролем соответствия энергопотребления здания заданному в проекте, с контролем соответствия параметров микроклимата и качества воздушной среды требуемым значениям. Сочетание фактического значения параметров микроклимата и качества воздушной среды в помещениях здания и фактического климата местности определяет фактическое энергопотребление системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в холодный период года, а в теплый период года системами вентиляции и кондиционирования воздуха. Каждое здание уникально по архитектуре, расположению, инженерным системам, особенностям жизни и работы людей, что приводит к различиям по влиянию разных факторов на микроклимат и качество воздушной среды в каждом помещении. Мониторинг микроклимата и качества воздушной среды в каждом помещении всех зданий района и города в совокупности с мониторингом параметров наружного климата вокруг каждого здания с дистанционным сбором информации позволяет получить фактическое теплотребление и электропотребление каждым зданием с позиции энергосбережения и определения соответствия параметров микроклимата и качества воздушной среды в помещениях требуемым значениям (рисунок 6.57).

Так как оболочка здания и его инженерные системы имеют определенную инерционность, то необходимо приведение параметров микроклимата и качества воздушной среды к требуемому значению через регулирование (управление) работой инженерных систем в здании. Развитие технологии формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий, позволяет осуществлять поддержку параметров микроклимата и качества воздушной среды в существующих помещениях в заданном интервале. При таком подходе требуется проводить по всем зданиям города формирование баз данных микроклимата и качества воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем зданий с обработкой информации в едином центре, где при реализации физико-математических моделей зданий по формированию и

управлению микроклиматом и качеством воздушной среды будет создан импульс регулирующего воздействия на работу инженерных систем каждого здания для корректировки параметров микроклимата и качества воздушной среды в помещениях.



Рисунок 6.57. Схема управления микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем в помещениях зданий на основе физико-математических моделей воздушного, теплового и газового режимов здания с дистанционным сбором и обработкой климатической информации

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.

6.4 Выводы по главе 6

1. Проведена интеграция технологии вариативного комплексного физико-математического моделирования и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздушной среды 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 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.

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

2. Реализована 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. Измерения проводились в помещениях зданий: бассейн, жилое здание, офис. 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).

3. Предложены перспективные направления исследований в области формирования проектных решений при создании и управлении микроклиматом и качеством воздушной среды при совместном и комплексном действии инженерных систем.

Оболочка здания и его инженерные системы имеют определенную инерционность, что вызывает необходимость приведения параметров микроклимата к требуемому значению через регулирование (управление) работой инженерных систем в здании. Развитие технологии формирования проектных решений по созданию и управлению микроклиматом и качеством воздушной среды зданий, позволяет осуществлять поддержку параметров микроклимата и качества воздушной среды в существующих помещениях в заданном интервале. При таком подходе требуется проводить по всем зданиям города формирование базы данных микроклимата и качества воздушной среды зданий с обработкой информации в едином центре, где при реализации физико-математических моделей зданий по формированию 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.

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 [176].

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) работ 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.

Список сокращений и условных обозначений

δ – толщина слоя м;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м×°С);

v – скорость, м/с;

t – температура, °С;

τ – время, с;

x, y, z – координаты, м;

c – концентрация вредных примесей, г/м³;

V – объем, м³;

l – длина, м;

c – удельная теплоемкость кДж/(кг×°С).

G – массовый расход воздуха, кг/с;

h – шаг итерации;

M – мощность источника вредных веществ, мг/с;

Q – тепловой поток, Вт;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²×°С);

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

F – площадь, м²;

L – объемный расход воздуха, м³/с;

K_p – кратность воздухообмена, ч⁻¹;

D – коэффициент диффузии, м²/с;

A – коэффициент турбулентной диффузии, м²/с;

Π – параметры воздуха.

L – объемный расход воздуха, м³/с;

Δ – разность величин;

Индексы

v – воздух, внутренний;

i – № рассматриваемого этажа, помещения и пр.;

vz – верхняя зона;

nz – нижняя зона;

m – материал;

u – уходящий воздух;

н – наружный,
п – приток;
к – конвективный;
0 – начальное значение;
с.р. – солнечная радиация;
л – лучистый;
з – зоны, на которые разбивается объем помещения;
R – результирующая, радиационная.

Сокращения

ГРЗ – газовый режим здания,
ТРЗ – тепловой режим здания,
ВРЗ – воздушный режим здания,
ВлРЗ – влажностный режим здания,
ДРЗ – динамические режимы здания,
ЭО – элементарный объем,
ЭБ – элементарный блок,
ЕТС – единая технологическая система,
у – удаляемый,
инф. – инфильтрация,
эксф. – эксфильтрация,
пер. – перетекание,
исп. – испарение,
ГИС – геоинформационная система.
погл. – поглощение,
мех. – механическая вентиляция,
стр. – струя,
ВЗ АС – вихревая зона аэродинамического следа,
АС – аэродинамический след,

Список литературы

1. Абрамович, Г.Н., Макаров, Н.Р., Худенко, Б.Г. Турбулентный след за плохообтекаемым телом в ограниченном потоке / Г.Н. Абрамович, Н.Р. Макаров, Б.Г. Худенко. // Известия вузов. Авиационная техника. – 1961. – № 1. – С.20 - 39.
2. Агафонова, В. В. Исследование струйных течений от микроперфорированного текстильного воздухораспределительного устройства в помещении гражданского здания: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.03 / Агафонова Вера Валерьевна. – М., 2017. – 136 с.
3. Агафонова, В. В. Исследование струйных течений от микроперфорированного текстильного воздухораспределительного устройства в помещении гражданского здания: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.03 / Агафонова Вера Валерьевна. – М., 2017. – 24 с.
4. Агафонова, В.В., Рымаров, А.Г. Особенности потерь тепла по длине стальных и текстильных воздухопроводов / 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.
5. Агафонова, В.В., Рымаров, А.Г. Особенности работы воздухораспределителей с микроперфорацией в помещениях административного здания / В.В. Агафонова, А.Г. Рымаров. – Материалы Международная научно-практическая конференция – академические чтения «Строительная физика. Системы обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях». – М.: МГСУ, 2014. – С. 149-151.
6. Альтшуль, А.Д., Живатовский, Л.С., Иванов, Л.П. Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, Л.С. Живатовский, Л.П. Иванов. – М: Стройиздат, 1987. – 414 с.
7. Андреев, Л.И. Рассеяние в воздухе газов, выбрасываемых промышленными предприятиями / Л.И. Андреев. – М.: Госстройиздат, 1952. – 88 с.
8. Андрианов, И.С. Экспериментальное исследование влияния препятствий на характер движения воздушной струи / И.С. Андрианов. – Инженерные методы

- решения практических задач в санитарной технике. Волгоград. 1976. – С.112 - 116.
9. Арраго, Л.Р., Швец, М.Е. К вопросу распределения тяжелой однородной примеси из высотного источника. / Л.Р. Арраго, М.Е. Швец. – Труды ЛГИ. вып.15 Вопросы турбулентной диффузии в приземном слое атмосферы. – 1963 – С. 47 - 51.
 10. Батурич, В.В. Основы промышленной вентиляции / В.В. Батурич. – Издательство ВЦСПС: Профиздат. – 1956. – 527 с.
 11. Бахарев, В.А., Трояновский, В.Н. Основы проектирования и расчета отопления и вентиляции со сосредоточенным выпуском воздуха / В.А. Бахарев, В.Н. Трояновский. – М.: Профиздат. – 1958. – 216 с.
 12. Бахинди, Л. Тепловой микроклимат помещений / Л. Бахинди. – М.: Стройиздат, 1971. – 269 с.
 13. Белова, Е.М., Кривоус, А.А. Потокораспределение в системе теплохолодоснабжения вентиляторных доводчиков / Е.М. Белова, А.А. Кривоус. – Современные системы теплогазоснабжения и вентиляции: сборник трудов. – М.: МГСУ, 2003. – 110 с.
 14. Берлянд, М.Е. К обобщению теории рассеивания промышленных выбросов в атмосферу. / М.Е. Берлянд. – Труды ГГО, вып. 254, Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха. – 1971. – С. 3 - 38.
 15. Берлянд, М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. / М.Е. Берлянд. – Гидрометеиздат, 1975. – 445 с.
 16. Бирюков, С.В. Разработка метода определения нормы потребления тепловой энергии системами отопления и вентиляции общественных зданий (на примере учебных корпусов вузов): дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Бирюков Сергей Владимирович. – М., 2001 – 198 с.
 17. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика. / В.Н. Богословский. – Издание 2-е переработанное и дополненное. – М.: Высшая школа, 1982. – 416 с.

18. Богословский, В.Н. и др. Отопление и вентиляция / В.Н. Богословский. – ч.2 Вентиляция. – М: Стройиздат, 1976. – 439 с.
19. Богословский, В.Н. О потенциале влажности. / В.Н. Богословский. // Инж.-физ. журн. – 1965. – Т. 8. № 2. – С. 216 - 222.
20. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания. / В.Н. Богословский. – М.: Стройиздат, 1979. – 248 с.
21. Богуславский, А.Д., Ливчак, В.И. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха (справочное пособие) / А.Д. Богуславский, В.И. Ливчак. – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.
22. Болотин, С.А., Гуринов, А.И., Иванов, К.В. Анализ прогноза продолжительности жизненного цикла здания в информационном моделировании / С.А. Болотин, А.И. Гуринов, К.В. Иванов. // Вестник гражданских инженеров. – 2013. № 4 (39). – С. 133 - 139.
23. Борисоглебская, А.П. Технологические основы организации вентиляции в зданиях родовспомогательных учреждений (РВУ): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Борисоглебская Анна Петровна. – М.,1983 – 16 с.
24. 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.
25. 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.
26. Бызова, Н.Л. Рассеяние примеси в пограничном слое атмосферы / Н.Л. Бызова. – М.: Гидрометеиздат, 1974. – 191 с.
27. Власов, О.Е. Основы строительной теплотехники / О.Е. Власов. – изд. ВИА, М.,1938 – 94 с.

28. Волков, А.А. Кибернетика строительных систем. Киберфизические строительные системы / А.А. Волков // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – №9. – С. 4 – 7.
29. Волков, А.А. Комплексная безопасность условно-абстрактных объектов (зданий и сооружений) в условиях чрезвычайных ситуаций / А.А. Волков // Вестник МГСУ. – 2007. – № 3. – С. 30 - 35.
30. Волков, А.А., Вагапов, Р.Ф. Информационное моделирование в задачах управления безопасностью зданий и сооружений / А.А. Волков, Р.Ф. Вагапов // Вестник МГСУ. – 2007. – № 4. – С. 72 - 75.
31. Волков, А.А., Седов, А.В. Математическое моделирование процессов автоматизации проектирования инженерных систем зданий и сооружений / А.А. Волков, А.В. Седов // Вестник МГСУ. – 2011. – № 5. – С. 335 - 338.
32. Волков, А.А., Чельшков, П.Д. Алгоритм сценарной верификации инженерных решений зданий и комплексов в системах автоматизации проектирования / А.А. Волков, П.Д. Чельшков, // Вестник МГСУ. – 2011. – № 5. – С. 344 - 347.
33. Волков, А.А., Шилова, Л.А. Обеспечение устойчивости объектов жизнеобеспечения в условиях возникновения чрезвычайной ситуации / А.А. Волков, Л.А. Шилова // Вестник МГСУ. – 2014. – № 4. – С. 107 -115.
34. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Под. общей редакцией Н.В. Лазарева и Э.Н. Левиной. Изд. 7-е. – М.: Химия, 1976. – 345 с.
35. Ву, Ван, Дай. Оптимизация теплофизических параметров и конструктивных решений подземного теплового аккумулятора для охлаждения приточного воздуха: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Ву Ван Дай. – М., 2002. – 19 с.
36. Ву, Ван, Дай. Оптимизация теплофизических параметров и конструктивных решений подземного теплового аккумулятора для охлаждения приточного воздуха: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Ву Ван Дай. – М., 2002. – 150 с.

37. Вулис, Л.А. О турбулентном следе за телом / Л.А. Вулис // Ученые записки. КАЗГУ. – 1956. т. 23. № 4. – С. 32 - 41.
38. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. – М: Наука, 1966. – 872 с.
39. Выгодский, М.Я. Справочник по элементарной математике / М.Я. Выгодский. – М: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 424 с.
40. Гагарин, В.Г. Теория состояния и переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий: дис. ... докт. техн. наук: 05.23.03 / Гагарин Владимир Геннадьевич. – М., 2000. – 389 с.
41. Ганес, И.Л. Оптимизация способов организации воздухообмена в производственных помещениях большого объема с тепловыделениями / И.Л. Ганес. – В кн. Организация воздухообмена в производственных помещениях. Л., 1978. – С. 17 - 20.
42. Генихович, Е.Л., Кулик А.С., Филатова, Е.Н., Царев, А.И. Экспериментальное обоснование методики расчета загрязнения воздуха на промышленной площадке / Е.Л. Генихович, А.С. Кулик, Е.Н. Филатова, А.И. Царев. – Труды ГГО, 1987, вып.511, Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха. – С. 24 - 38.
43. Гинзбург, А.В. Информационная модель жизненного цикла строительного объекта / А.В. Гинзбург // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 9. – С. 61 - 65.
44. Гинзбург, А.В., Нестерова, Е.И. Технология непрерывной информационной поддержки жизненного цикла строительного объекта / А.В. Гинзбург, Е.И. Нестерова // Вестник МГСУ. – 2011. – № 5. – С. 317 - 320.
45. Горлин, С.М., Зиборова, С.П. Распространение скоростей и турбулентности над неровной местностью / С.М. Горлин, С.П. Зиборова. – Научные труды института механики МГУ. – 1970. – № 4. – С. 4 - 23.

46. Горлин, С.М., Зиборова, С.П. Исследование обтекания городских построек и их элементов / С.М. Горлин, С.П. Зиборова. – Научные труды института механики МГУ. – 1971. – № 12. – С. 4 - 33.
47. Горлин, С.М., Зражевский, И.М., Зиборова, С.П. Исследование влияния неровностей земной поверхности на характеристики воздушного потока в аэродинамической трубе / С.М. Горлин, И.М. Зражевский, С.П. Зиборова. – В кн. Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы. Под ред. М.Е. Берлянда. – Л.: 1971. – С. 69 - 73.
48. ГОСТ 12.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: М., 2000 – 49 с.
49. ГОСТ 17.2.1.04-77 Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения. Москва: Изд-во стандартов, 1984 г. – 13 с.
50. Грахов, В.П., Мохначев, С.А., Манохин, П.Е., Иштряков, А.Х. Совершенствование организации проектных работ путем внедрения технологий информационного моделирования зданий / В.П. Грахов, С.А. Мохначев, П.Е. Манохин, А.Х. Иштряков // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 615.
51. Гримитлин, М.И. Выбор параметров систем воздухораспределения / М.И. Гримитлин. – В кн. исследование различных способов воздухообмена в производственных помещениях. – М., 1975. – С. 26 - 43.
52. Гримитлин, М.И. Проблемы организации воздухообмена в производственном помещении / М.И. Гримитлин. – В кн. Исследование различных способов организации воздухообмена в производственном помещении. – М., 1975. – С. 6 - 12.
53. Гримитлин, М.И. Распределение воздуха в помещениях / М.И. Гримитлин. – М.: Стройиздат, 1982. – с. 164.
54. Гримитлин, М.И., Позин, Г.М. Основы распределения приточного воздуха в вентилируемых и кондиционируемых помещениях / М.И. Гримитлин, Г.М.

- Позин. – В кн. Научные проблемы охраны труда на современном этапе технического прогресса. – М.: Профиздат. – 1977. – С. 13 - 20.
55. Грудзинский, М.М., Галант, Ю.Г., Требуков, С.С. Инженерная методика расчета воздушного режима зданий многокомнатного типа, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией / М.М. Грудзинский, Ю.Г. Галант, С.С. Требуков. – В сб. Воздухораспределение в вентилируемых помещениях зданий. ГлавАПУ г. Москвы, 1984. – С. 116 - 134.
56. Грудзинский, М.М., Ливчак, В.И., Поз М.Я. Отопительно-вентиляционные системы зданий повышенной этажности / М.М. Грудзинский, В.И. Ливчак, М.Я. Поз. – М.: Стройиздат, 1982. – с. 256.
57. Гуринов, А.И. Управление жизненным циклом здания на основе информационного моделирования и задачи подготовки кадров / А.И. Гуринов // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 5 (52). – С. 264 - 272.
58. Дацюк, Т.А. О рациональной организации выбросов на территории промышленных площадок / Т.А. Дацюк. – В кн. Инженерные задачи вентиляции и теплоснабжения на севере: сб. научн. тр., Якутск, 1986. – С. 63 - 71.
59. Дацюк, Т.А., Гримитлин, А.М. Моделирование тепловлажностного режима при проектировании зданий / Т.А. Дацюк, А.М. Гримитлин // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 3 (38). – С. 117 - 121.
60. Дацюк, Т.А., Яблонский, К.В. Моделирование процесса рассеяния в атмосфере технологических и вентиляционных выбросов / Т.А. Дацюк, К.В. Яблонский. – В кн. Вентиляция и теплоснабжение зданий на севере. МВ и ССО РСФСР, ЛГУ: межведомственный сборник. – Якутск, 1983. – С. 10 - 21.
61. Дерюгин, В.В., Шувалова, Л.Е. Распределение концентрации газов в рабочей зоне при сосредоточенной подаче приточного воздуха / В.В. Дерюгин, Л.Е. Шувалова. – В сб. Исследование в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. – Л., ЛИСИ, 1971. – № 66. – С. 76 - 79.
62. Детри, Ж. Атмосфера должна быть чистой / Ж. М. Детри. – Прогресс, 1973. – 380 с.

63. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. – Справ. изд.: в 2-ух ч. Пер. с англ. Под ред. С. Калверта, Г.М. Инглунда. – М.: Металлургия. – 1988. – 710 с.
64. Зашихин, М.М., Кулик, П.С., Чичерин, С.С. Учет влияния застройки при расчетах загрязнения воздуха / М.М. Зашихин, П.С. Кулик, С.С. Чичерин. – Труды ГГО, 1987, вып. 511. Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха. – С. 24 - 38.
65. Зеленина, В.Г., Морарь, Е.С. Концепция информационного моделирования зданий / В.Г. Зеленина, Е.С. Морарь // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2015. – № 1 (17). – С. 118 - 126.
66. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М: Машиностроение. – 1975. – 559 с.
67. Китайцева, Е.Х. Алгоритм решения задачи о воздушном режиме многоэтажных зданий / Е.Х. Китайцева. – В сб.: Проблемы математики и прикладной геометрии в строительстве. – М., МИСИ, 1982, № 172. – С. 5 - 9.
68. Китайцева, Е.Х. Обобщённые методы расчёта воздушного режима здания и факторов, влияющих на качество внутреннего воздуха: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Китайцева Елена Халиловна. – МГСУ, 1995. – 277 с.
69. Клюгин, С.П. Определение ширины защитных зон, высоты выбросных труб и степени очистки газов, поступающих в атмосферу / С.П. Клюгин. – В книге «Очистка промышленных выбросов в атмосферу». Под. ред. Т.Е. Болдырева, М., 1953, вып. 1. – С. 84 - 96.
70. Колмогоров, А.Н. К вырождению изотропной турбулентности в несжимаемой вязкой жидкости / А.Н. Колмогоров. – Докл. АН СССР, 1941. – С. 31 - 41.
71. Колмогоров, А.Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой жидкости при очень больших числах Рейнольдса / А.Н. Колмогоров. – Доклад. АН. СССР, 1941,30, № 4. – С. 299 - 303.

72. Константинова, В.Е. Воздушно-тепловой режим в жилых зданиях повышенной этажности / В.Е. Константинова. – М., изд. лит. по строительству, 1969. – С. 137.
73. Константинова, В.Е., Светлов, К.С. Исследование систем естественной вытяжной вентиляции в многоэтажных зданиях / В.Е. Константинова, К.С. Светлов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1965. – № 6. – С. 23 - 26.
74. Криницкий, Е.В. Информационная модель здания / Е.В. Криницкий // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – №2. – С. 16 - 18.
75. Круглова, А.И. Климат и ограждающие конструкции / А.И. Круглова. – М., Стройиздат, 1970. – 168 с.
76. Кувшинов, Ю.Я. Энергосбережение при кондиционировании микроклимата гражданских зданий: дисс. ... докт. техн. наук: 05.23.03 / Кувшинов Юрий Яковлевич. – М. – 1989. – 456 с.
77. Кувшинов, Ю.Я., Малявина, Е.Г., Рымаров, А.Г. Особенности обеспечения микроклимата в высотных зданиях / Ю.Я. Кувшинов, Е.Г. Малявина, А.Г. Рымаров. – Сборник докладов II международного симпозиума по строительным материалам КНАУФ для СНГ «Современное высотное строительство. Эффективные технологии и материалы. Октябрь 2005, Москва. – С. 62 - 69.
78. Кувшинов, Ю.Я., Рымаров, А.Г. Влажностный режим зоны бассейнов аквапарка: материалы Международного конгресса «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии» посвященного 150-летию со дня рождения академика В.Г. Шухова / Ю.Я. Кувшинов, А.Г. Рымаров // Вестник БГТУ. №6 часть 3. 2003. – С. 53 - 54.
79. Кувшинов, Ю.Я., Рымаров, А.Г. Исследование теплового режима тоннеля / Ю.Я. Кувшинов, А.Г. Рымаров. – Сборник трудов «Современные системы теплогазоснабжения и вентиляции». – МГСУ. – 2003. – С. 22 - 25.
80. Кувшинов, Ю.Я., Рымаров, А.Г., Ву, Ван, Дай Исследование теплового режима подземных тепловых аккумуляторов. Сборник докладов седьмой научно-практической конференции 18-20 апреля 2002 г. Академические чтения

- "Актуальные проблемы строительной теплофизики", НИИСФ РААСН. – Москва. – 2002. – С. 46 - 49.
81. Кушнырев, В.И., Лебедев, В.И., Павленко, В.А. Техническая термодинамика и теплопередача / В.И. Кушнырев, В.И. Лебедев, В.А. Павленко. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
82. Кылатчанов, А.П. Вентиляционные процессы в зданиях / А.П. Кылатчанов. – Новосибирск, Наука, Сиб. отделение, 1990. – 224 с.
83. Лайхтман, Д.Л. Физика пограничного слоя атмосферы / Д.Л. Лайхтман. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 180 с.
84. Лайхтман, Д.Л. Диффузия примесей от точечных источников в приземном слое атмосферы / Д.Л. Лайхтман. – Вопросы турбулентной диффузии в приземном слое атмосферы. – Труды ЛГИ, 1963, вып. 15. – С. 3 - 9.
85. Латышенков, М.А. Рекуррентный метод решения систем нелинейных уравнений при расчетах воздушного режима гражданских зданий на ЭЦВМ / М.А. Латышенков. – М.: МИСИ, № 68, 1970. – С. 35 - 38.
86. Латышенков, М.А. Разработка методов расчета и исследования воздушных режимов жилых и общественных зданий повышенной этажности: автореф. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Латышенков Михаил Арсеньевич. – М., 1970. – 23 с.
87. Лейкин, И.Н. Рассеивание вентиляционных выбросов химических предприятий (проектирование и расчет) / И.Н. Лейкин. – М.: Химия. – 1982. – 224 с.
88. Лукьянов, В.И., Хлевчук, В.Р., Гагарин, В.Г., Могутов, В.А. Руководство по расчету влажностного режима ограждающих конструкций зданий. / В.И. Лукьянов, В.Р. Хлевчук, В.Г. Гагарин, В.А. Могутов. – М.: НИИСФ, 1984. – 168 с.
89. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1986. – 157 с.
90. Максимкина, Н.Г. К обтеканию зданий ветром / Н.Г. Максимкина. – В кн. Промышленная вентиляция. – М., 1972. – С. 102 - 109.

91. Максимкина, Н.Г. Определение зависимости аэродинамической тени от размеров зданий / Н.Г. Максимкина. – Научн. работы ин-та охр. Труда: ВЦСПС. – 1971, вып.69. – С. 37 - 41.
92. Малявина, Е.Г. Тепловой режим помещения в теплый период года / Е.Г. Малявина. – Проектирование отопительно-вентиляционных систем. –Реф. сб.№1, М.: ЦИНИС, 1979. – С. 1 - 10.
93. Малявина, Е.Г. Нестационарный тепловой режим вентилируемого и кондиционируемого помещения в летний период года: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Малявина Елена Георгиевна. – М., 1977. – 207 с.
94. Матросов, Ю.А., Бутовский, И.Н. Совершенствование нормативной базы по проектированию и строительству зданий с эффективным использованием энергии / Ю.А. Матросов, И.Н. Бутовский. // АВОК. – № 6. – 1999. – С. 34.
95. Матросов, Ю.А., Бутовский, И.Н., Тищенко, В.В. Новые изменения СНиП по строительной теплотехнике приведут к существенному снижению теплопотребления в зданиях / Ю.А. Матросов, И.Н. Бутовский, В.В. Тищенко. – Сб. докладов научно-практической конференции 22-24 мая 1997 г. "Проблемы строительной теплофизики и энергосбережения в зданиях". – М.: НИИСФ. – 1997 – 370 с.
96. Мелехин, А. А. Оптимизация параметров теплообменных аппаратов систем воздушного отопления: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Мелехин Андрей Александрович. – Пермь, 2012. – 151 с.
97. Мелехин, А. А. Оптимизация параметров теплообменных аппаратов систем воздушного отопления: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Мелехин Андрей Александрович. – Тюмень, 2012. – 20 с.
98. 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.
99. Мелехин, А.А., Рымаров, А.Г. Оптимизация параметров элементов систем охлаждения технологических установок / А.А. Мелехин, А.Г. Рымаров // Естественные и технические науки. – 2010. – № 5. – С. 577-580.

100. Меримсон, С.Р. Организация воздушного режима производственных зданий с разно высокими пролетами (на примере главного корпуса ТЭС): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Меримсон Савелий Рувимович. – М., 1986. – 14 с.
101. Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л.: Гидрометеоздат, 1986, 1987. – 93 с.
102. Милош, Э. Управление воздушным режимом производственных зданий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Милош Эльжбета. – М, 1986. – 302с.
103. Монин, А.С. О диффузии с конечной скоростью / А.С. Монин // Изв. АН СССР, серия геофизики. – 1955. – № 3. – С. 154 - 168.
104. Монин, А.С. Полуэмпирическая теория турбулентной диффузии / А.С. Монин. – Труды геофизического института. АН СССР. Статистические методы в метеорологии. – 1956. № 38 (160). – С. 3 - 38.
105. Монин, А.С., Яглом, А.С. Статистическая гидромеханика / А.С. Монин, А.С. Яглом. – В 2-х частях. – М., Наука. – 1965 – 1434 с.
106. Мудров, А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль / А.Е. Мудров. – Томск: МП «РАСКО». – 1991. – 272 с.
107. Муминова, С.Р. Информационная модель здания как новый инструмент в строительном производстве / С.Р. Муминова // Вестник МГСУ. 2011. № 6. – С. 298 - 301.
108. Муромов, С.И. Расчет температуры наружного воздуха и теплоустойчивость здания / С.И. Муромов. – М.: Стройиздат Наркомстроя, 1939. – 72 с.
109. Наседкин, В.В. К теории температурных волн в ограждающих конструкциях здания / В.В. Наседкин // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1981. № 4. – С. 109 - 113.
110. Нефелов, С.В., Давыдов, Ю.С. Техника автоматического регулирования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха / С.В. Нефелов, Ю.С. Давыдов. – М.: Стройиздат, 1984. – 328 с.

111. Новикова, А.Н. Три точки зрения на понятие "интегрированное проектирование" / А.Н. Новикова // Технические науки - от теории к практике. – 2014. – № 36. – С. 121 - 126.
112. Обухов, А.М. Турбулентность в температурно-неоднородной атмосфере / А.М. Обухов. – Труды института геофизики АН СССР, 1946, вып.1. – С. 95 - 115.
113. Оленьков, В.Д., Попов, Д.С. Автоматизация диагностики технического состояния зданий и сооружений в процессе их эксплуатации / В.Д. Оленьков, Д.С. Попов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2012. – № 17 (276). – С. 82 - 85.
114. Оникул, Р.И., Кончан, Я.С., Панфилова, Г.А. Об экспериментальной проверке методики расчета рассеивания промышленных выбросов / Р.И. Оникул, Я.С. Кончан, Г.А. Панфилова. – Труды ГГО, вып.511. Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха. – 1987. – С. 38 - 43.
115. Оникул, Р.И., Хуршудян, Л.Г. К вопросу о распространении пыли от ее наземных площадных источников / Р.И. Оникул, Л.Г. Хуршудян. – Труды ГГО, вып. 467. Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха. – 1983. – С. 27 - 36.
116. Оценка воздухораспределения в системах кондиционирования воздуха по критериям комфорта. Реферативная информация. Сер.9. –ЦИНИС Госстроя СССР, 1973, вып.1. – с. 5 - 9.
117. Парфентьева, Н.А., Рымаров, А.Г. Особенности применения теории источников и стоков и теории комплексного потенциала течения в методе расчета поля скоростей воздуха в помещении / Н.А. Парфентьева, А.Г. Рымаров. – Сборник докладов шестой научно-практической и учебно-методической конференции «Фундаментальные науки в современном строительстве». – М.: МГСУ, 2008. – С. 280-285.
118. Парфентьева, Н.А., Рымаров, А.Г., Сырых, П.Ю. О сходстве и различии решения задач теплопроводности, диффузии и фильтрации / Н.А. Парфентьева, А.Г. Рымаров, П.Ю. Сырых. – Сборник докладов шестой

- научно-практической и учебно-методической конференции «Фундаментальные науки в современном строительстве». – М.: МГСУ, 2008. – С. 286-289.
119. Патанкар, С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар. – М.: Энергоатомиздат. – 1984. – 150 с.
120. Пененко, В.В., Алоян, А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды / В.В. Пененко, А.Е. Алоян. – Новосибирск: Наука, 1985. – 256 с.
121. Перехоженцев, А.Г. Исследование процессов влагопереноса в пористых строительных материалах при решении задач прогноза влажностного состояния неоднородных ограждающих конструкций зданий: дис. ... докт. техн. наук: 05.23.01 / Перехоженцев Анатолий Георгиевич. – М., 1998. – 322 с.
122. Поз, М.Я. Общий метод расчета нестационарного теплового режима помещений в зимний и летний периоды года / М.Я. Поз. – В кн. Проектирование и исследование жилых и общественных зданий в Москве. – М.: МНИИТЭП - ГОСИНТИ. – 1974 – С. 35 - 40.
123. Поз, М.Я., Владимирова М.К. Исследование нестационарного теплообмена помещения с массивными и лучепрозрачными ограждениями при возмущающих воздействиях разного вида / М.Я. Поз, М.К. Владимирова. – В кн. Инженерное оборудование зданий. – М.: МНИИТЭП. – 1972. – С. 43 - 52.
124. Позин, Г.М. Основы расчета тепловоздушного режима производственного помещения с механической вентиляцией: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.03 / Позин Гари Моисеевич. – Санкт - Петербург, 1990. – 508 с.
125. Позин, Г.М. Определение коэффициента воздухообмена для помещений с равномерными тепловыделениями в рабочей зоне / Г.М.Позин. – В кн. Организации воздухообмена в производственных помещениях. – Л.: ЛДНТП, 1978. – С. 37 - 41.
126. Позин, Г.М. Принципы разработки приближенной математической модели тепловоздушных процессов в вентилируемом помещении / Г.М. Позин // Изв. вузов Строительство и архитектура. – 1980. – № 11. – С. 102 - 105.

127. Позин, Г.М., Гримитлин, М.И. Эффективность организации воздухообмена при сосредоточенной подаче воздуха / Г.М. Позин, М.И. Гримитлин // Изв. вузов Строительство и архитектура. – 1977. – № 7. – С. 113 - 119.
128. Поляков, В.В. Исследование распространения газообразных веществ в зоне аэродинамического следа здания: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Поляков Вадим Владимирович. – М., 1971. – 230 с.
129. Поляков, В.В., Латышенков, М.А. Исследование аэродинамики здания в объемном гидравлическом лотке / В.В. Поляков, М.А. Латышенков. – Сб. тр. МИСИ им. В.В. Куйбышева, Вопросы тепловлажностного и тепловоздушного режимов кондиционирования микроклимата. – № 68, 1970. – С. 95 - 99.
130. Поляков, В.В., Титов, В.П. К вопросу о распространении вредностей в зоне аэродинамического следа здания / В.В. Поляков, В.П. Титов. – Сб. тр. МИСИ им. В.В.Куйбышева, Оптимизация систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха и теплоснабжения. – № 176, 1980. – С. 28 - 33.
131. Поляков, В.В., Титов, В.П. Расчет концентрации газовых вредностей в зоне аэродинамического следа / В.В. Поляков, В.П. Титов // Проектирование отопительно-вентиляционных систем. – 1970. – вып.3. – С. 3 - 28.
132. Пончек, М.И., Шилькрот, Е.О. Вентиляция помещений с организацией температурного расслоения воздуха / М.И. Пончек, Е.О. Шилькрот. – В сб. Доклады конференции: Новое в теории и практике воздухораспределения в промышленных и общественных зданиях. – Л.: ЛДНТП, 1988. – С. 42 - 46.
133. Постнов, К.В. Применение современных информационных технологий в проектных организациях и их влияние на повышение качества проектных решений / К.В. Постнов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 4 (30). – С. 375 - 383.
134. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и в воде. Справочное пособие для выбора и гигиенической оценки методов обезвреживания промышленных отходов. – М., Химия. – 1975. – 456 с.

135. Простаков, В.М. Закономерности распространения пылевых вентиляционных выбросов в приземном слое атмосферы: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.23.03 / Простаков, Владимир Михайлович. – М., 1990. – 23 с.
136. Разумов, Н.Н. Определение воздухообменов в зданиях графоаналитическим методом / Н.Н. Разумов. // Водоснабжение и санитарная техника. – 1964. - № 1. – С. 10 - 13.
137. Ребиндер, П.А. Физико-химическая механика: Новая область науки / Акад. П. А. Ребиндер. – Москва: Знание, 1958. – 64 с.
138. Рекомендации по расчету инфильтрации наружного воздуха в одноэтажные производственные здания. – М.: Промстройпроект: МИСИ. – 1981. – 79 с.
139. Реттер, Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика / Э.И. Реттер. – М.: Стройиздат. – 1984. – 294 с.
140. Реттер, Э.И., Стриженов С.И. Аэродинамика зданий / Э.И. Реттер, С.И. Стриженов. – М.: Стройиздат. – 1968. – 240 с.
141. Ртищева, А.С. Моделирование и численное исследование основных режимов функционирования системы автоматического управления теплопотреблением общественного здания / А.С. Ртищева // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – № 3-4. – С. 19 - 25.
142. 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.
143. 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.
144. 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.

145. 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.
146. Рымаров А.Г., Смирнов В.В., Шевченко А.А. Особенности учета воздушного режима в холодный период года при проектировании высотных зданий / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов, А.А. Шевченко. – Материалы III Международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – Волгоград: ВГАСУ, 2005. – С. 195-197.
147. Рымаров, А. Г. Газовый режим здания / А.Г. Рымаров // Естественные и технические науки». – 2012. – № 6. – С. 595-599.
148. Рымаров, А. Г. Математическая модель процессов распределения примесей в воздухе при неорганизованном поступлении вредных веществ: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.03 / Рымаров Андрей Георгиевич. – М., 1995. – 19 с.
149. Рымаров, А. Г. Мониторинг параметров микроклимата и концентраций вредных примесей в помещениях здания / А.Г. Рымаров // Приволжский научный журнал. – 2014. – №1. – С. 61-63.
150. Рымаров, А. Г. Особенности учета взаимного влияния тепломассообменных режимов здания / А.Г. Рымаров // Естественные и технические науки. – 2013. – № 1. – С. 380-382.
151. 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.
152. 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.
153. Рымаров, А. Г., Савичев, В.В. Организация работы системы вентиляции с регенерацией воздуха / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев. – Материалы XI международной научной конференции. Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. г. Ханой. – Волгоград, ВолГАСУ, 2013. – С. 334-337.

154. 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.
155. 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.
156. 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.
157. 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.
158. 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.
159. Рымаров, А. Г., Савичев, В.В. Температурно-влажностные режимы системы вентиляции с регенерацией воздуха / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев. – Материалы 5 Международной научно-практической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2013. – С. 218-221.
160. Рымаров, А. Г., Савичев, В.В. Температурно-влажностные режимы системы вентиляции с регенерацией воздуха / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Светопрозрачные конструкции. – 2014. - №4. – С. 20-22.
161. 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.
162. Рымаров, А. Г., Саркисян, С.В., Лушин, К.И., Маркевич, А.С., Латушкин, А.П., Смирнов, В.В. К вопросу об актуальности внедрения энергосберегающих мероприятий / А. Г. Рымаров, С.В. Саркисян, К.И. Лушин, А.С. Маркевич,

- А.П. Латушкин, В.В. Смирнов. – Сборник докладов тематической научно-практической конференции «Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан» часть 2, 9-10 ноября 2005 года. – М.: МГСУ. – С. 90-95.
163. 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.
164. 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.
165. Рымаров, А.Г. Влияние выбросов на изменение концентрации вредных примесей / А.Г. Рымаров // Водоснабжение и санитарная техника. – 1994. – № 3. – С. 20 - 21.
166. Рымаров, А.Г. Газовый режим бассейна / А.Г. Рымаров // Сантехника, отопление, кондиционирование. С.О.К. – 2011. – №7. – С. 70-71.
167. Рымаров, А.Г. Исследование переменной толщины тепловой изоляции / А.Г. Рымаров // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2002. – №5. – С. 11 - 13.
168. Рымаров, А.Г. Исследование теплового режима подполья здания холодильника / А.Г. Рымаров. – Межвузовский сб. трудов «Научно-технические проблемы систем теплогазоснабжения, вентиляции, водоснабжения и водоотведения». – Воронеж: ВГАСУ. – 2000. – С. 40 - 44.
169. Рымаров, А.Г. Исследование эффективности утеплителя при нестационарной теплопередаче / А.Г. Рымаров // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2001. – №6. – С. 14 - 15.
170. Рымаров, А.Г. К расчету воздушно-теплового режима атриума Старого гостиного двора в г. Москве / А.Г. Рымаров. – Сборник докладов международной научно-практической конференции «Проблемы экологии и

- энергосбережения в условиях западной Сибири”. – Москва, 1999. – С. 322 - 326.
171. Рымаров, А.Г. К расчету газового режима жилого здания / А.Г. Рымаров. – Сборник докладов научно-практической конференции "Проблемы строительной теплофизики и энергосбережения в зданиях". том 1. – М.: НИИСФ РААСН, 1997. – С. 62 - 66.
172. Рымаров, А.Г. Математическая модель процессов распределения примесей в воздухе при неорганизованном поступлении вредных веществ: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Рымаров Андрей Георгиевич. – М., 1995. – 217 с.
173. Рымаров, А.Г. Особенности влияния воздухопроницаемости строительных материалов стен на концентрацию диоксида углерода в помещении / А.Г. Рымаров. – Материалы международной научно-практической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2005. – С. 85 - 88.
174. Рымаров, А.Г. Особенности влияния воздухопроницаемости строительных материалов стен на концентрацию диоксида углерода в помещении / А.Г. Рымаров. – Материалы международной научно-практической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2005. – С. 85-88.
175. 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.
176. Рымаров, А.Г. Прогнозирование параметров воздушного, теплового, газового и влажностного режимов помещений здания. Материалы Академических чтений «Актуальные вопросы строительной физики» / А.Г. Рымаров // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – №5. – С. 362-364.
177. Рымаров, А.Г. Прогнозирование температурного режима теплоизолированного трубопровода / А.Г. Рымаров // Известия вузов. Строительство. – 2001. – № 12. – С. 72 - 75.

178. Рымаров, А.Г. Реконструкция холодильного центра здания Внешэкономбанка / А.Г. Рымаров // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха теплоснабжение и строительная теплофизика. Авок-пресс. – 2007. – №7. – С. 36-37.
179. Рымаров, А.Г. Современные инженерные системы кондиционирования воздуха в элитных зданиях / А.Г. Рымаров // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха теплоснабжение и строительная теплофизика. Авок-пресс. – 2007. – №4. – С. 30-31.
180. 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.
181. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В. Исследование теплофизики стальных и текстильных воздухопроводов / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова. – Материалы XIII международной научной конференции. Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. г. Сеань. – Волгоград, ВолгГАСУ, 2015. – С. 203-208.
182. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В. Исследование теплофизики стальных и текстильных воздухопроводов / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова // Естественные и технические науки. – 2015. - №2. – С. 141-143.
183. 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.
184. 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.
185. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В. Особенности истечения воздуха микроотверстиями / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова // Приволжский научный журнал. – 2015. – №1. – С. 60-64.

186. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В. Персонализированное воздухораспределительное устройство / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 3. – С. 60-63.
187. 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.
188. 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. – №5. – С. 553-555.
189. Рымаров, А.Г., Агафонова, В.В., Смирнов, В.В. Сравнение сопротивления текстильных воздуховодов с разной воздухопроницаемостью / А.Г. Рымаров, В.В. Агафонова, В.В. Смирнов // Естественные и технические науки. – 2015. – №6. – С. 561-562.
190. 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.
191. Рымаров, А.Г., Жила, В.А. Особенности проектирования систем вентиляции для газифицированных котельных / А.Г. Рымаров, В.А. Жила // Полимергаз. – №2. – 2003. – С. 35 - 37
192. Рымаров, А.Г., Кувшинов, Ю.Я. Исследование влажностного режима зоны бассейнов аквапарка / А.Г. Рымаров, Ю.Я. Кувшинов. – Сборник докладов восьмой научно-практической конференции “Стены и фасады. Актуальные проблемы строительной теплофизики” (Академические чтения). – М.: НИИСФ РААСН, 2003. – С. 225 - 227.
193. Рымаров, А.Г., Латушкин, А.П. особенности формирования полей концентраций в приземном слое атмосферы при расчете внешней части воздушного и газового режимов здания / А.Г. Рымаров, А.П. Латушкин. – Материалы международной научно-практической конференции

- «теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2005. – С. 169 - 171.
194. Рымаров, А.Г., Латушкин, А.П., Смирнов, В.В. Особенности формирования аэроионного, газового и воздушно-теплого режимов здания / А.Г. Рымаров, А.П. Латушкин, В.В. Смирнов // Строительная инженерия. – 2005. - №8. – С. 58-62.
195. Рымаров, А.Г., Лушин, К.И. Алгоритм модели динамических режимов систем отопления и вентиляции здания в холодный период года / А.Г. Рымаров, К.И. Лушин. – Материалы международной научно-практической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – Москва: МГСУ, 2005. – С. 115 - 118.
196. Рымаров, А.Г., Лушин, К.И. Алгоритм модели динамических режимов систем отопления и вентиляции здания в холодный период года. / А.Г. Рымаров, К.И. Лушин. – Материалы международной научно-практической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М: МГСУ, 2005. – С. 115-118.
197. Рымаров, А.Г., Лушин, К.И., Латушкин, А.П., Смирнов, В.В. Воздухопроницаемость окон и материалов наружных стен. Влияние на газовый режим помещения // А.Г. Рымаров, К.И. Лушин, С.В. Латушкин, В.В. Смирнов // Строительная инженерия. – 2006. – №2. – С.66-70.
198. Рымаров, А.Г., Лушин, К.И., Латушкин, А.П., Смирнов, В.В. Исследование теплотехнических особенностей расчетов наружных ограждающих конструкций зданий на высоте 100-600м / А.Г. Рымаров, К.И. Лушин, А.П. Латушкин, В.В. Смирнов. – Материалы IV Международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – Волгоград, ВолгГАСУ, 2006. – С. 170-172.
199. Рымаров, А.Г., Лушин, К.И., Латушкин, А.П., Смирнов, В.В. Особенности теплофизических расчетов наружных ограждающих конструкций высотных зданий на высоте 100-600м / А.Г. Рымаров, С.В. Саркисян, А.П. Латушкин, К.И. Лушин, А.С. Маркевич, В.В. Смирнов. – Сборник докладов

- международной конференции «Технологии. Машины, оборудование, материалы и нормативное обеспечение для подземного и высотного строительства», международной выставки «Высотное строительство», КДЦ «Гостиный двор» секция 2 «Высотное строительство». – Москва, 2006. – С. 50-52.
200. Рымаров, А.Г., Маркевич, А.С. Особенности формирования теплового режима в помещении с применением системы ночного проветривания / А.Г. Рымаров, А.С. Маркевич. – Материалы международной научно-практической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2005. – С. 128 - 132.
201. Рымаров, А.Г., Петров, Н.А. Исследование тепло-влажностного режима пластинчатых рекуператоров в холодный период / А.Г. Рымаров, Н.А. Петров // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2002. – №2. – С. 17 - 19.
202. Рымаров, А.Г., Плотников, А.А. К расчету годового энергопотребления атриумом старого гостинного двора в г. Москва / А.Г. Рымаров, А.А. Плотников. – Межвузовский сб. трудов «Научно-технические проблемы систем теплогазоснабжения, вентиляции, водоснабжения и водоотведения». – Воронеж, ВГАСУ, 2000. – С. 44 - 48.
203. Рымаров, А.Г., Савичев, В.В. Влияние воздухопроницаемости окон и стен жилых зданий на концентрацию углекислого газа в помещении кухни жилого здания при сжигании природного газа / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев. – Сборник докладов научно-технической конференции «Современные фасадные системы: эффективность и долговечность». - М.: МГСУ, 2008. – С. 110 - 112.
204. Рымаров, А.Г., Савичев, В.В. Особенности изменения концентрации углекислого газа в помещении кухни жилого здания при сжигании природного газа / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев. – Материалы третьей Международной научно-практической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2009. – С. 215-217.

205. Рымаров, А.Г., Савичев, В.В. Особенности формирования газового режима здания с зимним садом / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев. – Материалы IV Международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – Волгоград, ВолгГАСУ, 2008. – С. 84 - 88.
206. Рымаров, А.Г., Самарин, О.Д. Особенности проекта системы кондиционирования воздуха в гостинице «Холидэй Инн Лесная» / А.Г. Рымаров, О.Д. Самарин // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха теплоснабжение и строительная теплофизика. АВОК. – 2007. – №1. – С. 14-15.
207. Рымаров, А.Г., Самарин, О.Д., Плотников, А.А. К расчету параметров микроклимата Большой спортивной арены в Лужниках / А.Г. Рымаров, О.Д. Самарин, А.А. Плотников // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2000. – №1. – С. 14 - 17.
208. Рымаров, А.Г., Самарин, О.Д., Плотников, А.А. Моделирование тепломассобменных процессов во внутриворотовом пространстве атриума Старого гостинного двора в г. Москве / А.Г. Рымаров, О.Д. Самарин, А.А. Плотников // Энергосбережение и водоподготовка. – 1999. – №2. – С. 25 - 29.
209. Рымаров, А.Г., Самарин, О.Д., Плотников, А.А. Моделирование тепломассобменных процессов на уникальных объектах / А.Г. Рымаров, О.Д. Самарин, А.А. Плотников. – Сборник докладов пятой научно-практической конференции (академические чтения, НИИСФ РААСН) "Проблемы строительной теплофизики систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях". – М.: НИИСФ, 2000. – С. 163 - 167.
210. Рымаров, А.Г., Самарин, О.Д., Плотников, А.А. Разработка научных основ управления параметрами внутреннего микроклимата на Большой Спортивной Арене стадиона «Лужники» / А.Г. Рымаров, О.Д. Самарин, А.А. Плотников // Энергосбережение и водоподготовка. – 2000. – №2. – С. 32 - 36.
211. Рымаров, А.Г., Самарин, О.Д., Плотников, А.А. Создание комфортных условий в атриуме Старого Гостинного двора / А.Г. Рымаров, О.Д. Самарин, А.А.

- Плотников // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2000. – №4. – С. 2 - 6
212. Рымаров, А.Г., Самарин, О.Д., Плотников, А.А. Технология создания комфортных условий внутреннего микроклимата в атриуме Старого Гостиного Двора / А.Г. Рымаров, О.Д. Самарин, А.А. Плотников // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2000. – №11. – С. 26 - 27.
213. Рымаров, А.Г., Саркисян, С.В., Латушкин, А.П., Лушин, К.И., Маркевич А.С., Смирнов В.В. Экологические особенности реализации проекта энергоаудита зданий / А.Г. Рымаров, С.В. Саркисян, А.П. Латушкин, К.И. Лушин, А.С. Маркевич В.В. Смирнов // Сантехника, отопление, кондиционирование. С.О.К. – №12. – 2005. – С. 118 - 120.
214. Рымаров, А.Г., Саркисян, С.В., Латушкин, А.П., Лушин К.И., Маркевич А.С., Смирнов В.В. Экологические особенности реализации проекта энергоаудита зданий / А.Г. Рымаров, С.В. Саркисян, А.П. Латушкин, К.И. Лушин, А.С. Маркевич, В.В. Смирнов. // Сантехника, отопление, кондиционирование. С.О.К. – 2006. – №1, 2006. – С. 118-120.
215. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Естественная вентиляция жилых зданий / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов // Строительный инжиниринг. – 2007. – №7. – С. 13-17.
216. 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.
217. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Исследование процесса испарения воды с поверхности бассейна при различных воздухообменах и параметрах микроклимата / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов. – Сб. докладов научно-практической конференции «Строительная теплофизика. Вопросы энергосбережения и обеспечения микроклимата в зданиях». Информационно-издательский центр «Современные Строительные Конструкции». – М., 2004. – С. 61-62.

218. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Особенности кондиционирования воздуха в жилых, общественных и административных помещениях / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов // Строительный инжиниринг. – 2007. – №10. – С. 8–13.
219. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Особенности мониторинга параметров микроклимата в помещении крытого бассейна / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов. – Материалы VII международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – Волгоград, ВолгГАСУ, 2009. – С. 348-350.
220. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Особенности определения требуемого воздухообмена в помещении бассейна / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов. – Материалы международного форума по проблемам проектирования и строительства систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и охлаждения в рамках международной выставки HEAT&VENT 2004 MOSCOW 7-8 апреля. – М., 2004. – С. 44-47.
221. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Особенности прогнозирования состояния микроклимата в помещениях и зданиях / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов. – Материалы VII международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – Волгоград, ВолгГАСУ, 2009. – С. 322-326.
222. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Особенности работы системы естественной вентиляции в жилом здании / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов // Строительный инжиниринг. – 2007. – №9 (33). – С. 14-18.
223. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Особенности снижения долговечности несущих ограждающих конструкций под действием воздушно-теплового и влажностно-газового режимов в помещении бассейна / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов. – Материалы третьей Международной научно-практической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, Москва, 2009. – С. 105-107.
224. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Особенности формирования воздушно-теплового режима высотного здания / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов // Строительная инженерия. – 2007. – №2. – С. 61-67.

225. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Особенности формирования газового режима бассейна / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов // Строительная инженерия. – 2006. – №12. – С. 13-15.
226. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Особенности формирования конвективной струи около холодной поверхности / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов. – Материалы Второй Международной научно-практической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ Москва, 2007. – С. 82-83.
227. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Особенности формирования конвективных течений в помещении бассейна / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов. – Материалы VI международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». - Волгоград, ВолгГАСУ, 2008. – С. 280-282.
228. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Прогнозирование долговечности несущих ограждающих конструкций помещения бассейна под влиянием тепло-влажностно-газового режима. Материалы Академических чтений «Актуальные вопросы строительной физики» / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – №5. – С. 525-526.
229. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Сущность метода энергетического обследования объекта строительства (энергоаудит) / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов // Строительная инженерия. – 2007. – №1. – С. 56-62.
230. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В., Зинченко, Д.Н. Исследование работы воздушных клапанов в окнах в квартире жилого здания в холодный период года / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов, Д.Н. Зинченко. – Материалы IV Международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – Волгоград, ВолгГАСУ, 2008. – С. 267-270.
231. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В., Зинченко, Д.Н. Особенности работы воздушных клапанов в окнах в квартире жилого здания в холодный период года / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов, Д.Н. Зинченко // Сантехника, отопление, кондиционирование. С.О.К. – 2008. – №7 – С. 86-87.

232. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В., Савичев, В.В. Особенности прогнозирования микроклимата в помещениях и зданиях с применением мониторинга параметров микроклимата в помещении / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов, В.В. Савичев // Сантехника, отопление, кондиционирование. С.О.К. – 2009. – №5. – С. 78-81.
233. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В., Шевченко А.А. Особенности теплопередачи через наружные ограждающие конструкции высотного здания в холодный период года для климата г. Москвы / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов, А.А. Шевченко. – Материалы семинара «Высотные и большепролетные здания. Технологии инженерной безопасности и надежности», 10-я Юбилейная международная специализированная выставка «Инвестиции. Строительство. Недвижимость. REALTEX-2005». – МГСУ, 2005. – С. 45-47.
234. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В., Шевченко, А.А. К расчету теплотерь высотного здания (на высоте от 70 до 200 метров) / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов, А.А. Шевченко // Сантехника, отопление, кондиционирование. С.О.К. – 2005. – №5. – С. 134-135.
235. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В., Шевченко, А.А. О возможности применения осушителей воздуха в холодный период года в аквапарке / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов, А.А. Шевченко // Сантехника, отопление, кондиционирование. С.О.К. – 2004. – №12. – С. 68-69.
236. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В., Шевченко, А.А. Особенности влияния ветрового и гравитационного давлений на воздушный режим высотного здания в холодный период года / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов, А.А. Шевченко. – Материалы семинара «Актуальные проблемы строительства высотных зданий», девятая международная специализированная выставка «Инвестиции. Строительство. Недвижимость. REALTEX-2004». – М: МГСУ, 2004. – С. 26-29.
237. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В., Шевченко, А.А. Особенности учета увеличения скорости ветра на высоте 70-200м при расчете тепловой мощности системы отопления высотного здания / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов, А.А. Шевченко. –

- Материалы международной научно-практической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2005. – С. 98-100.
238. Рымаров, А.Г., Сырых, П.Ю. Исследование изменения концентрации углекислого газа в помещении / А.Г. Рымаров, П.Ю. Сырых. – Материалы Второй Международной научно-практической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2007. – С. 186-187.
239. Рымаров, А.Г., Сырых, П.Ю. Специфика проектирования инженерных систем в детских дошкольных учреждениях / А.Г. Рымаров, П.Ю. Сырых // Строительный инжиниринг. – 2007. – №5. – С. 29-32.
240. Рымаров, А.Г., Сырых, П.Ю. Формирование комфортного микроклимата в помещении средствами естественной вентиляции / А.Г. Рымаров, П.Ю. Сырых. – Материалы IV Международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – Волгоград, ВолгГАСУ, 2008. – С. 232-235.
241. 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 часть 2. – С. 44-47.
242. 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.
243. 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.
244. Рымаров, А.Г., Титков, Д.Г. Воздушный режим коллектора для подземных коммуникаций / А. Г. Рымаров, Д. Г. Титков. – Материалы XIII международной научной конференции. Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. г. Сеань. – Волгоград, ВолгГАСУ, 2015. – С. 223-228.

245. 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.
246. Рымаров, А.Г., Шевченко, А.А. Исследование изменения концентрации углекислого газа в здании с зимним садом / А.Г. Рымаров, А.А. Шевченко. – Сб. докладов научно-практической конференции «Строительная теплофизика. Вопросы энергосбережения и обеспечения микроклимата в зданиях». Информационно-издательский центр «Современные Строительные Конструкции». – М., 2004. – С. 82-83.
247. Рымаров, А.Г., Шевченко, А.А. Особенности кондиционирования микроклимата в помещениях с высокой концентрацией углекислоты (на примере помещения зимнего сада) / А.Г. Рымаров, А.А. Шевченко. – Материалы международного форума по проблемам проектирования и строительства систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и охлаждения в рамках международной выставки HEAT&VENT 2004 MOSCOW 7-8 апреля. – М., 2004. – С. 62-65.
248. Рымкевич, А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха / А.А. Рымкевич. – М.: Стройиздат, 1990. – 299 с.
249. Савичев, В. В. Разработка системы вентиляции с регенерацией газового состава воздушной среды административного здания: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Савичев Виталий Валерьевич. – М., 2012. – 194 с.
250. Савичев, В. В. Разработка системы вентиляции с регенерацией газового состава воздушной среды административного здания: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Савичев Виталий Валерьевич. – М., 2012. – 21 с.
251. Савичев, В.В., Рымаров, А.Г. Особенности формирования газового режима помещения при работе источника газового выделения в зависимости от воздухопроницаемости наружных ограждений / В.В. Савичев, А.Г. Рымаров // Вестник МГСУ. - спецвыпуск 1/2009. – С. 482-485.

252. Садовская, Н.Н. Циркуляция воздушных потоков при сосредоточенной подаче воздуха / Н.Н. Садовская. – В кн. Сосредоточенная подача воздуха в помещениях. – Л., 1955. – С. 23 - 43.
253. Самсонов, В.Т. Управление загрязнением атмосферы промышленных площадок путем изменения траекторий факельных выбросов / В.Т. Самсонов. – В кн. Оздоровление воздушной среды машиностроительных предприятий. Материалы семинара. – М.: МДНТП, 1987. – С. 124 - 129.
254. Самсонов, В.Т. Определение границ циркуляционных зон, возникающих при обтекании производственных зданий ветром / В.Т. Самсонов. – Научные работы института охраны труда ВЦСПС. – М., 1976, вып. 101. – С. 18 - 26.
255. Самсонов, В.Т. Определение концентрации примесей, выделяемых точечными низкими источниками при продольном обтекании ветром отдельно-стоящих производственных зданий / В.Т. Самсонов. – Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. – М., 1975, вып. 98. – С. 16 - 23.
256. Саргсян, С.В. Двухзонная математическая модель помещения для расчета общеобменной вентиляции: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Саргсян Самвел Володяевич. – М., 1992. – 193 с.
257. Саркисян, С.В., Рымаров, А.Г. Закономерности изменения температуры воздуха по высоте помещения при перетекании между смежными помещениями / С.В. Саркисян, А.Г. Рымаров. – Материалы международной научно-практической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2005. – С. 147 - 149.
258. Селиверстов, А.Н. Вентиляция заводов химической промышленности / А.Н. Селиверстов. – М.: Госстройиздат, 1934. – 52 с.
259. Селиверстов, А.Н. Влияние динамического состояния воздушной среды на вентиляцию прядильных и ткацких хлопчатобумажных фабрик / А.Н. Селиверстов. – М.: Гизлегпром, 1954. – 95 с.
260. Селиверстов, Г.А. Теплоустойчивость зданий / Г.А. Селиверстов. – М.: Госстройиздат, 1934. – 52 с.

261. Серебровский, Ф.Л. Аэрация жилой застройки / Ф.Л. Серебровский. – М.: Стройиздат, 1985. – 172 с.
262. Серебровский, Ф.Л. Аэрация населенных мест / Ф.Л. Серебровский. – М.: Стройиздат, 1958. – 355 с.
263. Сеттон, О.Г. Микрометеорология / О.Г. Сеттон. – Л.: Гидрометеоиздат, 1958. – 355 с.
264. Скирт, Л.Г., Лазаренко Е.Н., Бобров В.Д. Аналитическое описание процесса снижения загазованности производственных помещений за счет проветривания / Л.Г. Скирт, Е.Н. Лазаренко, В.Д. Бобров // Газовая промышленность. – 1975 – № 11. – С. 45 - 46.
265. Скорер, Р. Аэрогидродинамика окружающей среды / Р. Скорер. – М.: МИР, 1980. – 549 с.
266. Смирнов, В.В. Исследование влияния параметров микроклимата на долговечность несущих конструкций помещения бассейна: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Смирнов Владимир Викторич. – М., 2009. – 188 с.
267. Смирнов, В.В. Исследование влияния параметров микроклимата на долговечность несущих конструкций помещения бассейна: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Смирнов Владимир Викторович. – М., 2009. – 17 с.
268. Сотников, А.Г. Системы кондиционирования воздуха с количественным регулированием / А.Г. Сотников. – Л.: Стройиздат, 1984. – 148 с.
269. Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха: [В 2 кн.] / [В. Н. Богословский и др.]; под ред. Н. Н. Павлова, Ю. И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.
270. Стецовский, М.П. Исследование теплогазообмена на этаже пожара и определение некоторых параметров для расчета вентиляционных систем противодымной защиты жилых зданий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Стецовский Михаил Петрович. – М., 1978. – 198 с.
271. Строительные нормы и правила: Нагрузки и воздействия. СНиП 2.01.07-85*. Минстрой РФ. – М.: ГУП ЦПП, 1993. – 58 с.

272. Строительные нормы и правила: Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 2.04.05-91. Госстрой СССР. – М.: АПП ЦИТП, 1992. – 64 с.
273. Строительные нормы и правила: СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника. Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1998. – 29 с.
274. Строительные нормы и правила: Строит. климатология и геофизика. СНиП 2.01.01-82. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.
275. Строительные нормы и правила: Строительная климатология. СНиП 23-01-99. Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП. – 2000. – 257 с.
276. Стронгин, А.С. Закономерности рассеивания вредных веществ, поступающих в атмосферу через неплотности технологического оборудования (на примере нефтеперерабатывающих заводов): дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Стронгин Андрей Семенович. – М, 1983. –225 с.
277. Сырых, П. Ю. Моделирование адаптивной системы вентиляции в помещениях общественных зданий большого объема: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Сырых Павел Юрьевич. – М., 2009. – 20 с.
278. Сырых, П.Ю. Моделирование адаптивной системы вентиляции в помещениях общественных зданий большого объема: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Сырых Павел Юрьевич. – М., 2009. – 201 с.
279. Табунщиков, Ю.А. Расчеты температурного режима помещения при требуемой мощности для его отопления или охлаждения / Ю.А. Табунщиков. – М.: Стройиздат, 1981. – 85 с.
280. Табунщиков, Ю.А., Бродач, М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: Авок-пресс, 2002. – 194 с.
281. Табунщиков, Ю.А., Бродач, М.М., Шилкин, Н.В. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. – М.: Авок-пресс, 2003. – 200 с.

282. Табунщиков, Ю.А., Хромец, Д.Ю., Матросов, Ю.А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений / Ю.А.Табунщиков, Д.Ю. Хромец, Ю.А. Матросов. – М.: Стройиздат, 1986. – 380 с.
283. Талапов, В.В. О Некоторых принципах, лежащих в основе ВІМ / В.В. Талапов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – № 4 (688). – С. 108 - 114.
284. Талиев, В.Н. Аэродинамика вентиляции / В.Н. Талиев. – М.: Стройиздат, 1979. – 295 с.
285. Тейлор, Дж. Современное состояние теории турбулентной диффузии / Дж. Тейлор. – В кн.: Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха. [под ред. А.С.Мони́на]. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962. – С. 124 - 135.
286. Теличенко, В.И., Лapidус, А.А., Морозенко Информационное моделирование технологий и бизнес-процессов в строительстве / В.И. Теличенко, А.А. Лapidус, А.А. Морозенко, Е.А. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 138 с.
287. Терной, С., Бекл, Л., Роббинс, К. Проектирование энергоэкономичных общественных зданий. / С. Терной, Л. Бекл, К. Роббинс. – Перевод с англ. А. С. Гусева; под ред. В. П. Титова. – М.: Стройиздат. – 1990. – 333 с.
288. Тертичник, Е.И. Исследование влажностного состояния наружных ограждений зданий на основе потенциала влажности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Тертичник Евгений Иванович. – М., 1966. – 13 с.
289. Тертичник, Е.И. Определение влажностных характеристик строительных материалов способом разрезной колонки / Е.И. Тертичник // Инж.-физ. журн. – 1965. – Т. 8. – № 12. – С. 247 - 250.
290. Тертичник, Е.И. Шкала потенциала влажности для расчетов влагопередачи при отрицательных температурах / Е.И. Тертичник. – В кн.: Теплоснабжение и вентиляция. № 144. – М.: МИСИ, 1977. – С. 86 - 93.
291. Тетеревников, В.Н., Павлухин, Л.В. Оптимизация систем кондиционирования воздуха / В.Н. Тетеревников, Л.В. Павлухин // Водоснабжение и санитарная техника. – 1979. – № 10. – С. 15 - 17.

292. Титков Д. Г., Рымаров А. Г. Тепловой баланс подземного коммуникационного коллектора, связанный с потерями теплоты в массив грунта / Д. Г. Титков, А. Г. Рымаров // Строительство, наука образование. – 2014. – №4. – С. 2.
293. Титков, Д. Г. Разработка методики расчета теплового режима подземного коллектора для инженерных коммуникаций: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Титков Дмитрий Геннадьевич. – М., 2017. – 162 с.
294. Титков, Д. Г. Разработка методики расчета теплового режима подземного коллектора для инженерных коммуникаций: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.03 / Титков Дмитрий Геннадьевич. – М., 2017. – 20 с.
295. 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.
296. 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.
297. Титов В.П., Рымаров, А.Г. К расчету тепловых потерь зданиями с массивными ограждающими конструкциями / В.П. Титов, А.Г. Рымаров. – Сборник докладов третьей научно-практической конференции "Проблемы строительной теплофизики и энергосбережения в зданиях". – М.: НИИСФ РААСН, 1998. – С. 44 - 51.
298. Титов В.П., Рымаров, А.Г. Новый способ расчета изменения концентрации вредных примесей в воздухе вентилируемого помещения / В.П. Титов, А.Г. Рымаров. – В сб.: Оптимизация систем очистки воздуха и вентиляции промышленных зданий. – Пермь, 1993. – С. 97 - 102.

299. Титов, В.П. Воздушный режим здания: дисс. ... докт. техн. наук в форме научного доклада: 05.23.03 / Титов Владимир Павлович. – М., 1987. – 38 с.
300. Титов, В.П. К вопросу о моделировании диффузии газов в потоке воздуха / В.П. Титов. – В кн. Теплогазоснабжение и вентиляция. № 144. – М.: МИСИ, 1977. – С. 49 - 55.
301. Титов, В.П. Методика аналитического расчета неорганизованного воздухообмена в зданиях / В.П. Титов. – В кн. Экономия энергии в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: МИСИ, 1985. – С. 130 - 141.
302. Титов, В.П. Нестационарный режим двух смежных помещений при организованном перетекании воздуха / В.П. Титов. – В сб. Оптимизация работы систем отопления и вентиляции. Куйбышев, КуИСИ, 1986. – С. 16 - 22.
303. Титов, В.П. Учет нестационарных тепловых процессов в помещении / В.П. Титов // ВСТ. Водоснабжение и сан. техника – 1994. – №3. – С. 11 - 13.
304. Титов, В.П. Энергосбережение при организации перетекания воздуха между смежными помещениями / В.П. Титов. – В кн. Энергосбережение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Наука, 1985. – С. 54 - 57.
305. Титов, В.П. Нестационарный режим отопительного прибора / В.П. Титов. – Проблемы строительной теплофизики и энергосбережения в зданиях. Том 1. Под редакцией В.Г. Гагарина. – М.: НИИСФ РААСН, 1997. – С. 75 - 83.
306. Титов, В.П. Перетекание между помещениями здания / В.П. Титов. – В кн. Экономия энергии в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: МИСИ, 1985. – С. 141 - 148.
307. Титов, В.П., Лельков, В.Г. Исследование теплового режима плоской неизотермической струи настилающейся на нагретую горизонтальную поверхность пола / В.П. Титов. – В кн. Теплоснабжение и вентиляция. № 144. – М.: МИСИ, 1977. – С. 45 - 46.
308. Титов, В.П., Лельков, В.Г. Механизация расчета теплотерь от инфильтрации в промышленных зданиях / В.П. Титов, В.Г. Лельков. – В кн. Отопление и вентиляция, вып.1. – Куйбышев, 1976. – С. 90 - 103.

309. Титов, В.П., Малявина, Е.Г., Рымаров, А.Г. Научные чтения в российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) / В.П. Титов, Е.Г. Малявина, А.Г. Рымаров // Водоснабжение и санитарная техника. – 1996. – №3. – С. 29 - 30.
310. Титов, В.П., Медведева, Е.В., Парфентьева, Н.А. К расчету нестационарного температурного поля в наружных ограждениях зданий с учетом фильтрации воздуха / В.П. Титов, Е.В. Медведева, Н.А. Парфентьева // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. – 1977. – №11. – С. 144 - 147.
311. Титов, В.П., Поляков, В.В., Тишкин, В.С. Размещение лабораторных зданий на территории научно-исследовательских институтов / В.П. Титов, В.В. Поляков, В.С. Тишкин. – В кн. Пространственная организация НИИ в крупных городах. – М.,1981. – С. 74 - 79.
312. Титов, В.П., Рымаров, А.Г. К расчету теплового режима проветриваемого подполья здания холодильника в г. Одинцово Московской области / В.П. Титов, А.Г. Рымаров. – Сборник докладов четвертой научно-практической конференции "Проблемы строительной теплофизики и энергосбережения в зданиях". – М.: НИИСФ РААСН, 1999. – С. 107 - 114.
313. 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.
314. 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.
315. Титов, В.П., Сазонов, Э.В., Краснов, Ю.С., Новожилов, В.И. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий / В.П. Титов, Э.В. Сазонов, Ю.С. Краснов, В.И. Новожилов. – Учебное пособие для ВУЗов. – М: Стройиздат, 1985. – 208 с.

316. Титов, В.П., Тишкин, В.С. Рассеивание в атмосфере технологических и вентиляционных выбросов / В.П. Титов, В.С. Тишкин // Водоснабжение и санитарная техника. – 1977. – №7. – С. 12 - 14.
317. Титов, В.П., Тишкин, В.С. Оценка рассеивания вредных примесей в вентиляционных выбросах промышленных предприятий / В.П. Титов, В.С. Тишкин. – В кн. промышленная вентиляция и кондиционирование воздуха (Тезисы докладов на межотраслевой научно-технической конференции). – Волгоград, 1977. – С. 52 - 66.
318. Тишкин, В.С. Расчет вентиляционных и технологических факельных выбросов / В.С. Тишкин // Водоснабжение и санитарная техника. – 1979. – № 3. – С. 12 - 14.
319. Тишкин, В.С. Экспериментальное определение параметров распределения концентрации вредных примесей от низших точечных источников / В.С. Тишкин. – Сб. тр. МИСИ им. В.В.Куйбышева. № 176. Оптимизация систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и теплогазоснабжения. – М: МИСИ, 1980. – С. 41 - 47.
320. Тишкин, В.С. Исследование распространения вентиляционных выбросов промышленных предприятий: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Тишкин Виктор Сергеевич. – М., 1978. – 214 с.
321. Томсон, Н.М. Аэрация городской застройки / Н.М. Томсон. – М.: изд-во АМН СССР, 1947. – 122 с.
322. Требуков, С.С. Организация воздушного режима многоэтажных общественных (зданий на примере административных зданий): дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Требуков, Семен Сильвинович. – М., 1987. – 205 с.
323. ТСН 23-304-99 г. Москвы (МГСН 2.01-99) Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению. Москва 1999. – 46 с.
324. Уорк, К, Урнер, С. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / К. Уорк, С. Урнер. – М.: Мир, 1980. – 539 с.

325. Успенская, Л.Б. Математическая статистика в вентиляционной технике. М., Стройиздат, 1980. – 108 с.
326. Успенская, Л.Б. Экспериментальное исследование способов организации воздухообмена в блокированных бесфонарных цехах с источниками тепловыделений в рабочей зоне / Л.Б. Успенская. – Труды Всесоюзного научн.-исслед. ин-та гидромеханизации, санитарно-техн. и спец. строит. работ. вып. 26. – ВНИИГС, 1968. – С. 15 - 51.
327. Ушанов, А.А., Бородин, В.А., Спандерашвили Д.В. Применение информационных моделей в эксплуатации зданий и сооружений / А.А. Ушанов, В.А. Бородин, Д.В. Спандерашвили // Решение проблем развития предприятий: роль научных исследований. – 2016. – № 10. – С. 6 - 8.
328. Ушков, Ф.В. Метод расчета увлажнения ограждающих частей зданий [Текст] / Ф.В. Ушков. – М.: Изд-во М-ва коммун. хозяйства РСФСР, 1955. - 104 с.
329. Фильней, М.И., Фрухт, И.А. Расчет производительности аварийной вентиляции / М.И. Фильней, И.А. Фрухт // Водоснабжение и санитарная техника. – 1969. – № 3. – С. 26 - 28.
330. Фокин, К.Ф. Расчет последовательного увлажнения материалов в наружных ограждениях / К.Ф. Фокин. – В кн.: Вопросы строительной физики в проектировании. – М.-Л., 1941. – С. 2 - 18.
331. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин. - 5-е изд., пересмотр. – М.: АВОК-Пресс, 2006. – 250 с.
332. Фокин, К.Ф., Хлевчук, В.Р. Влажностный режим ограждающих конструкций крупнопанельных жилых домов в Москве / К.Ф. Фокин, В.Р. Хлевчук – В кн.: Некоторые вопросы строительной физики в оценке качества домов повышенной этажности. Вып. 6. – М., НИИМосстрой, 1969. – С. 91 - 95.
333. Челышков, П.Д., Гроссман, Я.Э., Хроменкова, А.А. Анализ программных комплексов для энергомоделирования / П.Д. Челышков, Я.Э. Гроссман, А.А. Хроменкова // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 7. – С. 79 - 84.

334. Шахраманьян, А.М., Яременко, А.В., Блохин, Ю.М. Опыт применения технологий информационного моделирования зданий при строительстве олимпийских объектов Сочи-2014 и стадионов чемпионата мира по футболу 2018 / А.М. Шахраманьян, А.В. Яременко, Ю.М. Блохин // Строительство: наука и образование. – 2016. – № 2. – С. 2.
335. Шепелев, И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении / И.А. Шепелев. – М.: Стройиздат, 1978. – 145 с.
336. Шилькрот, Е.О., Шепелев, И.А. К расчету естественной вентиляции горячих цехов / Е.О. Шилькрот, И.А. Шепелев. – Сб. тр. ЦНИИПромзданий Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха в промышленном здании. Вып. 26. – М., 1972. – С. 4 - 16.
337. Шкlover, А.М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях / А.М. Шкlover. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 160 с.
338. Шкlover, А.М. Теплоустойчивость зданий / А.М. Шкlover. – Гос. изд. лит-ры по строит. и архит, 1952. – 166 с.
339. Эльтерман, В.М. Вентиляция химических производств / В.М. Эльтерман. – М.: Химия, 1980. – 286 с.
340. Эльтерман, В.М. Охрана воздушной среды на химических и нефтехимических предприятиях / В.М. Эльтерман. – М., Химия, 1985. – 160 с.
341. Afonso, C.F.A., Maldonado, E.A.B., Skaret, E.A.A. Single Tracer-gas Method to Characterize Multi-room Air Exchanges / C.F.A. Afonso, E.A.B. Maldonado, E.A.A. Skaret // Energy and Buildings. – 1986. – 9. – p. 273 - 280.
342. ASHRAE Guide and Data Book: Fundamentals and Air Conditioning Engineering. – 1963. – 912 p.
343. 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. – V.86. - 04028.

344. Calculation Methods to Assess Indoor Air Quality / J.E. Woods, R.R. Crawford // ASHRAE Transactions. – 1983. – p. 683 - 696.
345. Carpenter, S.B. et.al. Principal Plum Dispersion Models / S.B. Carpenter. – TVA Power Plants. 63 Annual Meeting. – Air Pollution Association, June 1970 – p. 35 - 36.
346. Cramer, H.E. A practical method for Estimating the Dispersion of Atmospheric Contaminants / H.E. Cramer. – Proc. Int. natl. of Appl&meteorol. American meteorol. Soc. – 1957. – p. 63 - 72.
347. Evans, H. Air Flow Around Buildings / H. Evans // Journal Architectural Forum. – 1957. – vol.107, n 3. – p. 166 - 168.
348. Fleisher, M.T., Worley, F.L. Orthogonal collection - Application to Diffusion from point sources / M.T. Fleisher, F.L. Worley // Atmospheric Environment. – 1978. – vol.12 – p. 1349 - 1357.
349. Frenkiel, F.n., Munn, R.E., eds. Turbulent Diffusion in Environmental Pollution / F.n. Frenkiel, R.E. Munn. // Advances in Geophysics Series. – vols. 18A and 18B. – New-York, Academic Press. – 1974.
350. Huber, A.N. Incorporating Building. Terrain Wake Effects on Stack Influent / A.N. Huber. – Preprint Volume for the Joint Conference on Applications of Air Pollution Methodology. – American Meteorological Society, Boston, MA. – 1977.
351. Jernigan, Finish, E. Big BIM little BIM: the practical approach to building information modeling / Jernigan, E. Finish. – 4Site, Salisbury, Maryland. – 2008.
352. Miller, G.W. An Examination Gaussian Plum Dispersion parameter for Rough Terrain / G.W. Miller // Atmosphere Environment. – Vol.12. – 1978, p. 1359 - 1364.
353. Miller, P.L. Room Air Diffusion Systems design techniques - using the ADPI / P.L. Miller // ASHRAE Journal. – 1977. – v.19, n 4. – p. 37 - 40.
354. Nevins, R.G., Mcnall, P.E. ASHRAE thermal comfort standards / R.G. Nevins, P.E. Mcnall // Building Research and Practice. – 1973. – v.1, n 2. – p. 100 - 104.
355. Overcamp, T.J. A General Gaussian Diffusion – Deposition Model of Elevated Point Sources / T.J. Overcamp // Journal of Applied Meteorology. – 1976. – vol.15. – p. 1167 - 1171.

356. Pasquill, F. Atmospheric diffusion / F. Pasquill. – London. – 1962. – 256 p.
357. Richardson, R.F., Proctor, P. Diffusion distances Ranging from 3 to 86 kilometers / R.F. Richardson, P. Proctor. – Mem. Roy. Met. Soc.1. Appendix 139. – 1927. – p. 20 - 28.
358. Roberts, O.F.T. The Theoretical of Smoke in a turbulent atmosphere / O.F.T. Roberts. – Proc.Roy.Soc.104A, 640 (1923). – p. 11 - 15.
359. Rymarov, A., Davidsson, H. Analysis of heat losses in underground tunnels for preheating of ventilation air / A. Rymarov, H. Davidsson // IJCET-IAEME - International Journal of Civil Engineering and Technology. Volume 8, Issue 11, November 2017, p. 1172–1180.
360. Skaret, E.A., Mathisen, H.M. Ventilation Efficiency / E.A. Skaret, H.M. Mathisen // Environment International. – 1982. – vol.8. – p. 473 - 481.
361. Sutton, O.G. A theory of Eddy Diffusion in the Atmosphere / O.G. Sutton. – Proc. Roy. Soc. A, 135, 1932. – p. 51 - 59.
362. Taylor, G.I. Diffusion by continues movements / G.I. Taylor. – Proc. Lond. Math. Soc. 20. Series 2, 1922. – p. 3 - 18.
363. Tuve, G.L. Air Velocities in ventilating jets / G.L. Tuve // Trans. ASHRAE. – 1953. – v.59. – p. 261 - 282.
364. Volkov, A. General Information Models of Intelligent Building Control Systems: Basic concepts, determination and the reasoning / A. Volkov // Advanced Materials Research. – 2014. – V. 838–841. – pp. 2973 – 2976. doi: 10.4028/[www.scientific.net /AMR. 838-841](http://www.scientific.net/AMR.838-841). 2973.
365. Volkov, A., Sedov, A., Chelyshkov, P. Usage of building information modelling for evaluation of energy efficiency / A. Volkov, A. Sedov, P. Chelyshkov // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – T. 409 – 410. p. 630 - 633.
366. Woods, J.E. Influence of Room Air Distribution on Animal Cage Environments / J.E. Woods // Trans. ASHRAE. – 1975. – p.2. – p. 559 - 571.

Приложение А. Результаты применения информационной технологии вариативного комплексного моделирования и прогнозирования параметров микроклимата в системах информационного моделирования зданий

Измерение зависимости изменения температуры и относительной влажности внутреннего воздуха во времени в помещении спортивного зала и одновременном измерении температуры наружного воздуха (таблица 1). Эксперимент состоит из серии большого числа измерений через равные промежутки времени в течение более 10 дней 24 часа в сутки. При каждом измерении фиксируется время и величина температуры и относительной влажности. Погрешность измерений определяется точностью прибора равной $\pm 0,5$ °С и $\pm 3\%$. Измерения проводились с применением регистратора testo 175-N1.

В таблице 1 приведен план измерений.

Таблица 1

№ измерения	Дата	Время	Относительная влажность, %	Температура, °С	Температура на улице, °С
1	29.12.10	21:00:00	25,4	20,3	-5,4
2	30.12.10	0:00:00	24,4	19,8	-5
3	30.12.10	3:00:00	25,2	19,6	-4,3
4	30.12.10	6:00:00	25,6	19,5	-5,4
5	30.12.10	9:00:00	24,9	19,2	-5,8
6	30.12.10	12:00:00	22,4	22,8	-6,6
7	30.12.10	15:00:00	23	21,9	-7,4
8	30.12.10	18:00:00	20,3	19,7	-8,3
9	30.12.10	21:00:00	19,5	18,9	-9,3
10	31.12.10	0:00:00	20,4	18,7	-10,1
11	31.12.10	3:00:00	20,7	18,4	-11,2
12	31.12.10	6:00:00	20,7	18,1	-11,4
13	31.12.10	9:00:00	21	17,8	-10,6
14	31.12.10	12:00:00	20,8	17,8	-9,6
15	31.12.10	15:00:00	22,2	17,8	-9,6
16	31.12.10	18:00:00	21,9	17,6	-11,1
17	31.12.10	21:00:00	22,1	17,4	-9,4
18	01.01.11	0:00:00	22,2	17,2	-9
19	01.01.11	3:00:00	22,9	17,3	-7,3
20	01.01.11	6:00:00	23,9	17,4	-6,3
21	01.01.11	9:00:00	24,9	17,4	-6,3

22	01.01.11	12:00:00	24,9	17,7	-6,5
23	01.01.11	15:00:00	25,1	17,8	-6,4
24	01.01.11	18:00:00	25,2	17,7	-6,7
25	01.01.11	21:00:00	25,1	17,6	-6,7
26	02.01.11	0:00:00	25,3	17,6	-6,2
27	02.01.11	3:00:00	26	17,7	-5,4
28	02.01.11	6:00:00	26,4	17,8	-5
29	02.01.11	9:00:00	26,9	17,9	3,9
30	02.01.11	12:00:00	27,5	18,2	-3
31	02.01.11	15:00:00	28,6	18,4	-1,7
32	02.01.11	18:00:00	29,9	18,5	-1
33	02.01.11	21:00:00	30,2	18,7	-2
34	03.01.11	0:00:00	29,9	18,8	-2,4
35	03.01.11	3:00:00	29,2	18,9	-4
36	03.01.11	6:00:00	28,5	19	-5,2
37	03.01.11	9:00:00	26,8	18,9	-7,6
38	03.01.11	12:00:00	25,1	18,9	-7,6
39	03.01.11	15:00:00	24,2	18,9	-8,1
40	03.01.11	18:00:00	23,1	18,7	-8,4
41	03.01.11	21:00:00	23	18,6	-9,5
42	04.01.11	0:00:00	22	18,3	-11,5
43	04.01.11	3:00:00	21,5	18,2	-8,3
44	04.01.11	6:00:00	22	18,1	-8,2
45	04.01.11	9:00:00	22,4	18,1	-8,2
46	04.01.11	12:00:00	22,9	18,2	-8
47	04.01.11	15:00:00	22,9	18,2	-8,4
48	04.01.11	18:00:00	22,4	18	-12,5
49	04.01.11	21:00:00	21,1	17,6	-13,5
50	05.01.11	0:00:00	20,2	17,3	-12,5
51	05.01.11	3:00:00	20,7	17,3	-11,4
52	05.01.11	6:00:00	21,2	17,3	-13,6
53	05.01.11	9:00:00	21,7	17,3	-10,6
54	05.01.11	12:00:00	22,1	17,6	-10,1
55	05.01.11	15:00:00	22	17,6	-9,9
56	05.01.11	18:00:00	22,1	17,4	-8,6
57	05.01.11	21:00:00	22,8	17,6	-7,6
58	06.01.11	0:00:00	22,9	17,6	-8,1
59	06.01.11	3:00:00	23,1	17,6	-8,6
60	06.01.11	6:00:00	23,6	17,7	-8
61	06.01.11	9:00:00	24,1	17,9	-7,6
62	06.01.11	12:00:00	24	18,2	-6,5
63	06.01.11	15:00:00	24	18,3	-7,4
64	06.01.11	18:00:00	24	18,2	-8,6

65	06.01.11	21:00:00	23,8	18	-8,3
66	07.01.11	0:00:00	23,2	17,9	-7,4
67	07.01.11	3:00:00	22,6	17,7	-7,5
68	07.01.11	6:00:00	22,3	17,6	-6,8
69	07.01.11	9:00:00	21,9	17,4	-7,6
70	07.01.11	12:00:00	21,3	17,6	-8
71	07.01.11	15:00:00	21,3	17,6	-7,8
72	07.01.11	18:00:00	21,5	17,4	-8,9
73	07.01.11	21:00:00	21,3	17,2	-10,2
74	08.01.11	0:00:00	20,9	17	-10
75	08.01.11	3:00:00	21	16,8	-10,4
76	08.01.11	6:00:00	21,6	16,7	-10,7
77	08.01.11	9:00:00	22,3	16,7	-8,7
78	08.01.11	12:00:00	22,9	17	-6,4
79	08.01.11	15:00:00	23,9	17,2	-5,2
80	08.01.11	18:00:00	24,8	17,3	-5
81	08.01.11	21:00:00	25,5	17,5	-4,4
82	09.01.11	0:00:00	26,2	17,6	-4,1
83	09.01.11	3:00:00	26,8	17,8	-3,6
84	09.01.11	6:00:00	27,1	17,9	-3,3
85	09.01.11	9:00:00	27,5	18	-3
86	09.01.11	12:00:00	28,1	18,2	-2,2
87	09.01.11	15:00:00	28,8	18,4	-1,1
88	09.01.11	18:00:00	29,7	18,6	-0,8
89	09.01.11	21:00:00	30,2	18,8	-0,3
90	10.01.11	0:00:00	30,5	19	0,1
91	10.01.11	3:00:00	30,9	19,2	0,8
92	10.01.11	6:00:00	31,4	19,3	-0,3
93	10.01.11	9:00:00	31,1	19,3	-0,3
94	10.01.11	12:00:00	31,1	19,5	0,6
95	10.01.11	15:00:00	31,3	19,7	1
96	10.01.11	18:00:00	31,7	19,8	1,3
97	10.01.11	21:00:00	31,7	19,9	0,7

Измерение зависимости изменения температуры и относительной влажности внутреннего воздуха во времени в помещениях: двух кабинетах и коридоре единого офиса административного здания табл. 2 и 3. Эксперимент состоит из серии большого числа измерений через равные промежутки времени в течение более 10 дней 24 часа в сутки. При каждом измерении фиксируется время и величина температуры и относительной влажности. Погрешность измерений определяется

точностью прибора $\pm 0,5$ °С и $\pm 3\%$. Измерения проводились с применением регистратора данных для долгосрочных измерений testo 175-N1.

В таблице 2 и 3 приведен план измерений.

Таблица 2

№ измерения	Дата	Время	Температура в коридоре, °С	Температура в кабинете 1, °С	Температура в кабинете 2, °С
1	14.01.2011	0:00:00	25	24	24,7
2	14.01.2011	3:00:00	24,8	23,9	24,6
3	14.01.2011	6:00:00	24,8	23,9	24,5
4	14.01.2011	9:00:00	24,8	23,7	24,2
5	14.01.2011	12:00:00	26	25	24,4
6	14.01.2011	15:00:00	26,4	25,8	24,4
7	14.01.2011	18:00:00	26,5	24,9	24,6
8	14.01.2011	21:00:00	25,3	24,7	25
9	15.01.2011	0:00:00	24,9	24,5	24,3
10	15.01.2011	3:00:00	24,8	24,4	23,9
11	15.01.2011	6:00:00	24,7	24,2	23,7
12	15.01.2011	9:00:00	24,7	24,2	23,8
13	15.01.2011	12:00:00	24,7	24,2	23,3
14	15.01.2011	15:00:00	24,7	24,1	23
15	15.01.2011	18:00:00	24,6	24,2	23,7
16	15.01.2011	21:00:00	24,6	24,2	23,9
17	16.01.2011	0:00:00	24,6	24,3	24,1
18	16.01.2011	3:00:00	24,6	24,3	24,1
19	16.01.2011	6:00:00	24,6	24,4	24
20	16.01.2011	9:00:00	24,4	24,4	23,3
21	16.01.2011	12:00:00	24,7	26,1	23,1
22	16.01.2011	15:00:00	24,6	25,7	22,9
23	16.01.2011	18:00:00	24,5	24,9	22,9
24	16.01.2011	21:00:00	24,6	24,7	23,1
25	17.01.2011	0:00:00	24,6	24,7	22,9
26	17.01.2011	3:00:00	24,7	24,7	23,2
27	17.01.2011	6:00:00	24,9	24,8	23,6
28	17.01.2011	9:00:00	25	24,3	23,6
29	17.01.2011	12:00:00	25	26,2	24,1
30	17.01.2011	15:00:00	25	26,7	24,4
31	17.01.2011	18:00:00	25	25,2	24,1
32	17.01.2011	21:00:00	24,5	24,5	25,1
33	18.01.2011	0:00:00	24,3	24,3	24,7
34	18.01.2011	3:00:00	24,2	24,2	24,6
35	18.01.2011	6:00:00	24,1	24,2	24,6

36	18.01.2011	9:00:00	24,4	23,7	24,1
37	18.01.2011	12:00:00	24,7	25,4	24,3
38	18.01.2011	15:00:00	24,8	25,8	24,3
39	18.01.2011	18:00:00	24,6	24,9	24,2
40	18.01.2011	21:00:00	24,2	25,6	25,3
41	19.01.2011	0:00:00	24,1	25,3	25,2
42	19.01.2011	3:00:00	24,1	25,2	25
43	19.01.2011	6:00:00	24	25,2	25
44	19.01.2011	9:00:00	23,9	24,5	24,2
45	19.01.2011	12:00:00	25,1	25,9	24,6
46	19.01.2011	15:00:00	24,6	26,4	24,6
47	19.01.2011	18:00:00	24,2	24,9	24,6
48	19.01.2011	21:00:00	24,5	24,5	25,3
49	20.01.2011	0:00:00	24,5	24,4	25,4
50	20.01.2011	3:00:00	24,4	24,3	25,3
51	20.01.2011	6:00:00	24,3	24,2	25,3
52	20.01.2011	9:00:00	24,1	23,8	24,7
53	20.01.2011	12:00:00	24,1	24,5	24,4
54	20.01.2011	15:00:00	24,1	24,7	24,1
55	20.01.2011	18:00:00	24,2	24,6	24,1
56	20.01.2011	21:00:00	22,4	24,6	24,8
57	21.01.2011	0:00:00	21,8	24,5	24,7
58	21.01.2011	3:00:00	21,4	24,4	24,6
59	21.01.2011	6:00:00	21,2	24,3	24,5
60	21.01.2011	9:00:00	21,3	24,1	23,5
61	21.01.2011	12:00:00	22,7	24,5	23,4
62	21.01.2011	15:00:00	23,4	24,5	23,5
63	21.01.2011	18:00:00	23,7	24,4	23,7
64	21.01.2011	21:00:00	23,3	24,4	23,8
65	22.01.2011	0:00:00	22,8	24,2	24
66	22.01.2011	3:00:00	22,7	24,2	24,1
67	22.01.2011	6:00:00	22,6	24,1	24,1
68	22.01.2011	9:00:00	22,6	24	24,1
69	22.01.2011	12:00:00	22,8	24,1	24,1
70	22.01.2011	15:00:00	22,8	24,2	24,1
71	22.01.2011	18:00:00	22,5	23,9	24,1
72	22.01.2011	21:00:00	22,5	23,8	24,1
73	23.01.2011	0:00:00	22,4	23,7	24
74	23.01.2011	3:00:00	22,5	23,7	24
75	23.01.2011	6:00:00	22,5	23,6	24
76	23.01.2011	9:00:00	22,5	23,6	23,9
77	23.01.2011	12:00:00	22,7	23,6	23,9
78	23.01.2011	15:00:00	22,8	23,7	24

79	23.01.2011	18:00:00	22,6	23,5	24,2
80	23.01.2011	21:00:00	22,5	23,4	24,3
81	24.01.2011	0:00:00	22,4	23,2	24
82	24.01.2011	3:00:00	22,4	23,2	23,9
83	24.01.2011	6:00:00	22,3	23,1	23,9
84	24.01.2011	9:00:00	22,3	22,8	23,2
85	24.01.2011	12:00:00	23,3	23,9	23,7
86	24.01.2011	15:00:00	24,1	24,4	23,7
87	24.01.2011	18:00:00	24,2	24,9	23,6
88	24.01.2011	21:00:00	24	25	24,4
89	25.01.2011	0:00:00	23,6	25,2	24,3
90	25.01.2011	3:00:00	23,6	25,2	24,3
91	25.01.2011	6:00:00	23,7	25,3	24,3
92	25.01.2011	9:00:00	23,9	24,7	23,6
93	25.01.2011	12:00:00	24,4	25,9	23,9
94	25.01.2011	15:00:00	24,5	26,5	24,6
95	25.01.2011	18:00:00	24,6	25,9	24,7
96	25.01.2011	21:00:00	24,7	25,4	25,2
97	26.01.2011	0:00:00	24,7	25,2	24,9
98	26.01.2011	3:00:00	24,8	25,1	24,8
99	26.01.2011	6:00:00	24,9	25,1	24,8
100	26.01.2011	9:00:00	25,1	24,9	24,3
101	26.01.2011	12:00:00	24,9	24,9	24,9
102	26.01.2011	15:00:00	25	25	25,1

Таблица 3

№ измерения	Дата	Время	Относительная влажность в коридоре, %	Относительная влажность в кабинете 1, %	Относительная влажность в кабинете 2, %
1	14.01.2011	0:00:00	25	23,5	24,1
2	14.01.2011	3:00:00	25,6	23,7	24
3	14.01.2011	6:00:00	25,9	23,8	24,2
4	14.01.2011	9:00:00	25,7	22	23,4
5	14.01.2011	12:00:00	30,6	24,3	22,2
6	14.01.2011	15:00:00	29,8	20,9	20,4
7	14.01.2011	18:00:00	30,1	21,3	21,2
8	14.01.2011	21:00:00	29,9	22	22,1
9	15.01.2011	0:00:00	29,6	22	20,9
10	15.01.2011	3:00:00	29,3	21,8	20,7
11	15.01.2011	6:00:00	28,7	21,5	20,6

12	15.01.2011	9:00:00	28,4	21,5	20,8
13	15.01.2011	12:00:00	28,2	21,1	19,8
14	15.01.2011	15:00:00	27,6	20,6	20,2
15	15.01.2011	18:00:00	27,8	21,1	21,8
16	15.01.2011	21:00:00	28,3	21,5	21,6
17	16.01.2011	0:00:00	28,6	21,9	21,8
18	16.01.2011	3:00:00	28,6	22,1	21
19	16.01.2011	6:00:00	27,9	21,9	19,4
20	16.01.2011	9:00:00	25,7	21,1	16,8
21	16.01.2011	12:00:00	23,9	19,5	15,9
22	16.01.2011	15:00:00	23,2	18,9	15,3
23	16.01.2011	18:00:00	22,4	18,8	15,8
24	16.01.2011	21:00:00	22,1	18,8	15,9
25	17.01.2011	0:00:00	21,5	18,5	15,4
26	17.01.2011	3:00:00	21,7	18,3	16
27	17.01.2011	6:00:00	22,4	18,3	17
28	17.01.2011	9:00:00	22,1	13,5	15
29	17.01.2011	12:00:00	23,7	14,2	13,8
30	17.01.2011	15:00:00	29,9	13,6	15,3
31	17.01.2011	18:00:00	26,8	13,3	14
32	17.01.2011	21:00:00	25,9	14,2	14,7
33	18.01.2011	0:00:00	25,7	15,5	15,6
34	18.01.2011	3:00:00	25,8	16,1	16,3
35	18.01.2011	6:00:00	25,8	16,7	16,5
36	18.01.2011	9:00:00	25,4	13,3	13,5
37	18.01.2011	12:00:00	25,8	13,3	14,9
38	18.01.2011	15:00:00	25,6	13,7	13,4
39	18.01.2011	18:00:00	25,5	12,7	13,5
40	18.01.2011	21:00:00	24,4	14,1	15,8
41	19.01.2011	0:00:00	24,1	15	16
42	19.01.2011	3:00:00	24,5	15,7	16,3
43	19.01.2011	6:00:00	24,7	16,1	16,6
44	19.01.2011	9:00:00	24	12,5	12,3
45	19.01.2011	12:00:00	24,9	12,4	12,7
46	19.01.2011	15:00:00	24,6	12,6	13,9
47	19.01.2011	18:00:00	25,4	12,2	14,1
48	19.01.2011	21:00:00	24,6	14	15,5
49	20.01.2011	0:00:00	24,4	14,8	15,8
50	20.01.2011	3:00:00	24,5	15,2	16
51	20.01.2011	6:00:00	24,5	15,6	16,2
52	20.01.2011	9:00:00	26	12,7	14,3
53	20.01.2011	12:00:00	27,3	13,6	14,9
54	20.01.2011	15:00:00	26,9	14,1	14,5

55	20.01.2011	18:00:00	29,6	14,1	14,2
56	20.01.2011	21:00:00	26,5	14,7	15,9
57	21.01.2011	0:00:00	25,8	15,5	16,4
58	21.01.2011	3:00:00	25,6	16	16,7
59	21.01.2011	6:00:00	25,6	16,3	16,8
60	21.01.2011	9:00:00	24,9	14,5	13,4
61	21.01.2011	12:00:00	25,3	13,9	14
62	21.01.2011	15:00:00	26,7	14,2	14,8
63	21.01.2011	18:00:00	28,3	13,1	14,9
64	21.01.2011	21:00:00	27,5	14,6	15,4
65	22.01.2011	0:00:00	27,1	15,3	16,3
66	22.01.2011	3:00:00	26,7	15,9	16,7
67	22.01.2011	6:00:00	26,5	16,3	17
68	22.01.2011	9:00:00	26,4	16,8	17,2
69	22.01.2011	12:00:00	26,6	17	17,6
70	22.01.2011	15:00:00	27,1	17,4	18
71	22.01.2011	18:00:00	27,2	17,9	18,4
72	22.01.2011	21:00:00	27,3	18,2	18,7
73	23.01.2011	0:00:00	27,1	18,5	18,8
74	23.01.2011	3:00:00	27,1	18,5	18,8
75	23.01.2011	6:00:00	27,1	18,7	18,8
76	23.01.2011	9:00:00	27,1	18,8	18,8
77	23.01.2011	12:00:00	27,4	18,8	18,9
78	23.01.2011	15:00:00	27,8	19,1	19,2
79	23.01.2011	18:00:00	27,6	19,4	19,4
80	23.01.2011	21:00:00	27,3	19,7	19,5
81	24.01.2011	0:00:00	27,6	19,8	19,7
82	24.01.2011	3:00:00	27,8	20,1	19,9
83	24.01.2011	6:00:00	28	20,3	20
84	24.01.2011	9:00:00	25,8	18,3	20,1
85	24.01.2011	12:00:00	24,3	20	21,5
86	24.01.2011	15:00:00	27,1	19,3	21,7
87	24.01.2011	18:00:00	20,3	18,1	18,9
88	24.01.2011	21:00:00	20,6	18,2	19,8
89	25.01.2011	0:00:00	21	18,5	19,7
90	25.01.2011	3:00:00	21	18,4	19,7
91	25.01.2011	6:00:00	20,4	18	19,6
92	25.01.2011	9:00:00	17,6	15,3	15,8
93	25.01.2011	12:00:00	17,2	15,8	16,4
94	25.01.2011	15:00:00	16,6	15,1	15,4
95	25.01.2011	18:00:00	17,1	16,5	16
96	25.01.2011	21:00:00	20,1	16,5	17,8
97	26.01.2011	0:00:00	21,7	16,3	17,9

98	26.01.2011	3:00:00	22,7	16,3	17,9
99	26.01.2011	6:00:00	23,2	16,2	17,9
100	26.01.2011	9:00:00	19,6	14,4	15,5
101	26.01.2011	12:00:00	19,4	16,7	17,7
102	26.01.2011	15:00:00	18,2	16,2	17

Измерение зависимости изменения температуры, относительной влажности внутреннего воздуха и концентрации диоксида углерода во времени в жилых комнатах в двух квартирах таблицы 4 и 5. Эксперимент состоит из серии большого числа измерений через равные промежутки времени в течение более 10 дней 24 часа в сутки. При каждом измерении фиксируется время и величина температуры и относительной влажности. Погрешность измерений определяется точностью прибора $\pm 0,5$ °С, $\pm 3\%$. Измерения проводились с применением регистратора данных для долгосрочных измерений testo 175-N1 и измерителя концентрации диоксида углерода KCD-DA CO₂.

В таблице 4 приведен план измерений в комнате квартиры 1, в таблице 5 приведен план измерений в комнате квартиры 2.

Таблица 4

Номер измерения	Сутки	Дата	Время измерения	Относительная влажность, %	Температура, °С
1	0,04	23.12.2009	0:00:00	34,6	26,5
2	0,08	23.12.2009	1:00:00	34,5	26,5
3	0,13	23.12.2009	2:00:00	35	26,5
4	0,17	23.12.2009	3:00:00	35	26,5
5	0,21	23.12.2009	4:00:00	34,4	26,4
6	0,25	23.12.2009	5:00:00	35,1	26,4
7	0,29	23.12.2009	6:00:00	34,5	26,4
8	0,33	23.12.2009	7:00:00	34,5	26,4
9	0,38	23.12.2009	8:00:00	34,7	26,4
10	0,42	23.12.2009	9:00:00	34,6	26,4
11	0,46	23.12.2009	10:00:00	33,9	26,3
12	0,50	23.12.2009	11:00:00	34,5	26,5
13	0,54	23.12.2009	12:00:00	35,8	26,7
14	0,58	23.12.2009	13:00:00	35,6	26,8
15	0,63	23.12.2009	14:00:00	35,2	26,8
16	0,67	23.12.2009	15:00:00	35,1	26,7
17	0,71	23.12.2009	16:00:00	34,4	26,4

18	0,75	23.12.2009	17:00:00	34,2	26,2
19	0,79	23.12.2009	18:00:00	34,8	26,2
20	0,83	23.12.2009	19:00:00	35,4	26,4
21	0,88	23.12.2009	20:00:00	35,1	26,4
22	0,92	23.12.2009	21:00:00	35,4	26,4
23	0,96	23.12.2009	22:00:00	36,4	26,5
24	1,00	23.12.2009	23:00:00	36,6	26,6
25	1,04	24.12.2009	0:00:00	36,5	26,6
26	1,08	24.12.2009	1:00:00	36,2	26,6
27	1,13	24.12.2009	2:00:00	36,6	26,5
28	1,17	24.12.2009	3:00:00	36,6	26,4
29	1,21	24.12.2009	4:00:00	36,9	26,3
30	1,25	24.12.2009	5:00:00	37	26,3
31	1,29	24.12.2009	6:00:00	37,1	26,2
32	1,33	24.12.2009	7:00:00	37	26,2
33	1,38	24.12.2009	8:00:00	37,5	26,2
34	1,42	24.12.2009	9:00:00	37,2	26,1
35	1,46	24.12.2009	10:00:00	34,9	25,9
36	1,50	24.12.2009	11:00:00	36,1	25,7
37	1,54	24.12.2009	12:00:00	36,3	26
38	1,58	24.12.2009	13:00:00	37	26,2
39	1,63	24.12.2009	14:00:00	36,5	26,1
40	1,67	24.12.2009	15:00:00	36,2	26
41	1,71	24.12.2009	16:00:00	36	25,9
42	1,75	24.12.2009	17:00:00	35,9	25,8
43	1,79	24.12.2009	18:00:00	35,7	25,7
44	1,83	24.12.2009	19:00:00	35,6	25,6
45	1,88	24.12.2009	20:00:00	35,7	25,5
46	1,92	24.12.2009	21:00:00	37,3	25,9
47	1,96	24.12.2009	22:00:00	33,9	25,9
48	2,00	24.12.2009	23:00:00	30,8	25,5
49	2,04	25.12.2009	0:00:00	30,7	25,1
50	2,08	25.12.2009	1:00:00	32,8	25,2
51	2,13	25.12.2009	2:00:00	33,6	25,3
52	2,17	25.12.2009	3:00:00	34,1	25,4
53	2,21	25.12.2009	4:00:00	34,3	25,3
54	2,25	25.12.2009	5:00:00	34,5	25,3
55	2,29	25.12.2009	6:00:00	34,6	25,3
56	2,33	25.12.2009	7:00:00	34,6	25,3
57	2,38	25.12.2009	8:00:00	34,8	25,3
58	2,42	25.12.2009	9:00:00	34,9	25,3
59	2,46	25.12.2009	10:00:00	36	25,3
60	2,50	25.12.2009	11:00:00	36,3	25,4

61	2,54	25.12.2009	12:00:00	34,4	25,1
62	2,58	25.12.2009	13:00:00	34,5	25,1
63	2,63	25.12.2009	14:00:00	34,5	25
64	2,67	25.12.2009	15:00:00	34,3	24,9
65	2,71	25.12.2009	16:00:00	34,3	24,8
66	2,75	25.12.2009	17:00:00	34,3	24,8
67	2,79	25.12.2009	18:00:00	34,1	24,8
68	2,83	25.12.2009	19:00:00	34,1	24,7
69	2,88	25.12.2009	20:00:00	34	24,7
70	2,92	25.12.2009	21:00:00	35,4	25
71	2,96	25.12.2009	22:00:00	32,8	25
72	3,00	25.12.2009	23:00:00	35	25
73	3,04	26.12.2009	0:00:00	35,4	25,2
74	3,08	26.12.2009	1:00:00	36,2	25,3
75	3,13	26.12.2009	2:00:00	36,7	25,5
76	3,17	26.12.2009	3:00:00	37	25,5
77	3,21	26.12.2009	4:00:00	37,3	25,5
78	3,25	26.12.2009	5:00:00	37,1	25,5
79	3,29	26.12.2009	6:00:00	37,4	25,4
80	3,33	26.12.2009	7:00:00	37,5	25,4
81	3,38	26.12.2009	8:00:00	37,5	25,4
82	3,42	26.12.2009	9:00:00	37,5	25,4
83	3,46	26.12.2009	10:00:00	37,5	25,4
84	3,50	26.12.2009	11:00:00	38	25,5
85	3,54	26.12.2009	12:00:00	37,9	25,7
86	3,58	26.12.2009	13:00:00	37,9	25,9
87	3,63	26.12.2009	14:00:00	37,9	25,9
88	3,67	26.12.2009	15:00:00	37,8	25,8
89	3,71	26.12.2009	16:00:00	37,5	25,6
90	3,75	26.12.2009	17:00:00	37,3	25,4
91	3,79	26.12.2009	18:00:00	37,1	25,4
92	3,83	26.12.2009	19:00:00	38	25,4
93	3,88	26.12.2009	20:00:00	36,3	25,2
94	3,92	26.12.2009	21:00:00	37,5	25,1
95	3,96	26.12.2009	22:00:00	36,6	24,8
96	4,00	26.12.2009	23:00:00	37	24,7
97	4,04	27.12.2009	0:00:00	35	24,4
98	4,08	27.12.2009	1:00:00	34,1	23,9
99	4,13	27.12.2009	2:00:00	36	24,2
100	4,17	27.12.2009	3:00:00	36,7	24,4
101	4,21	27.12.2009	4:00:00	37,1	24,6
102	4,25	27.12.2009	5:00:00	37,5	24,7
103	4,29	27.12.2009	6:00:00	37,4	24,8

104	4,33	27.12.2009	7:00:00	37,6	24,8
105	4,38	27.12.2009	8:00:00	38	24,9
106	4,42	27.12.2009	9:00:00	37,2	24,9
107	4,46	27.12.2009	10:00:00	38,2	24,8
108	4,50	27.12.2009	11:00:00	38,4	25,1
109	4,54	27.12.2009	12:00:00	38,3	25,3
110	4,58	27.12.2009	13:00:00	37,7	25,1
111	4,63	27.12.2009	14:00:00	37,1	24,8
112	4,67	27.12.2009	15:00:00	37,2	24,7
113	4,71	27.12.2009	16:00:00	37,1	24,7
114	4,75	27.12.2009	17:00:00	37	24,6
115	4,79	27.12.2009	18:00:00	37,4	24,6
116	4,83	27.12.2009	19:00:00	38,5	24,9
117	4,88	27.12.2009	20:00:00	37,4	24,6
118	4,92	27.12.2009	21:00:00	34,5	24,3
119	4,96	27.12.2009	22:00:00	32,7	23,7
120	5,00	27.12.2009	23:00:00	33,7	23,6
121	5,04	28.12.2009	0:00:00	35,1	24,1
122	5,08	28.12.2009	1:00:00	35,5	24,4
123	5,13	28.12.2009	2:00:00	35,8	24,7
124	5,17	28.12.2009	3:00:00	36,3	24,8
125	5,21	28.12.2009	4:00:00	36,4	24,9
126	5,25	28.12.2009	5:00:00	36,3	25
127	5,29	28.12.2009	6:00:00	36,2	25,1
128	5,33	28.12.2009	7:00:00	36,1	25,1
129	5,38	28.12.2009	8:00:00	36,1	25,1
130	5,42	28.12.2009	9:00:00	36,1	25,2
131	5,46	28.12.2009	10:00:00	34,4	25,1
132	5,50	28.12.2009	11:00:00	33,6	24,4
133	5,54	28.12.2009	12:00:00	34,7	24,8
134	5,58	28.12.2009	13:00:00	34,9	25
135	5,63	28.12.2009	14:00:00	34,9	25,1
136	5,67	28.12.2009	15:00:00	35,3	25,2
137	5,71	28.12.2009	16:00:00	34,9	24,9
138	5,75	28.12.2009	17:00:00	34,8	24,8
139	5,79	28.12.2009	18:00:00	34,7	24,7
140	5,83	28.12.2009	19:00:00	34,5	24,6
141	5,88	28.12.2009	20:00:00	34,5	24,5
142	5,92	28.12.2009	21:00:00	35,3	24,6
143	5,96	28.12.2009	22:00:00	35,7	25
144	6,00	28.12.2009	23:00:00	35,7	25,2
145	6,04	29.12.2009	0:00:00	35,7	25,4
146	6,08	29.12.2009	1:00:00	35,8	25,4

147	6,13	29.12.2009	2:00:00	35,9	25,3
148	6,17	29.12.2009	3:00:00	36,2	25,2
149	6,21	29.12.2009	4:00:00	36,3	25,2
150	6,25	29.12.2009	5:00:00	36,5	25,2
151	6,29	29.12.2009	6:00:00	36,5	25,2
152	6,33	29.12.2009	7:00:00	36,6	25,2
153	6,38	29.12.2009	8:00:00	36,9	25,2
154	6,42	29.12.2009	9:00:00	35,6	25,2
155	6,46	29.12.2009	10:00:00	35,1	25,1
156	6,50	29.12.2009	11:00:00	34,9	25,1
157	6,54	29.12.2009	12:00:00	34,7	25
158	6,58	29.12.2009	13:00:00	34,5	25
159	6,63	29.12.2009	14:00:00	34,4	25
160	6,67	29.12.2009	15:00:00	34,1	25
161	6,71	29.12.2009	16:00:00	34	25
162	6,75	29.12.2009	17:00:00	33,8	24,9
163	6,79	29.12.2009	18:00:00	33,5	24,9
164	6,83	29.12.2009	19:00:00	34,5	25
165	6,88	29.12.2009	20:00:00	34,6	25,1
166	6,92	29.12.2009	21:00:00	34,9	25,1
167	6,96	29.12.2009	22:00:00	34,8	25,3
168	7,00	29.12.2009	23:00:00	35,1	25,4
169	7,04	30.12.2009	0:00:00	35,1	25,4
170	7,08	30.12.2009	1:00:00	35,4	25,4
171	7,13	30.12.2009	2:00:00	36	25,3
172	7,17	30.12.2009	3:00:00	36,4	25,3
173	7,21	30.12.2009	4:00:00	36,5	25,2
174	7,25	30.12.2009	5:00:00	36,8	25,3
175	7,29	30.12.2009	6:00:00	37,1	25,2
176	7,33	30.12.2009	7:00:00	37,1	25,3
177	7,38	30.12.2009	8:00:00	37,1	25,3
178	7,42	30.12.2009	9:00:00	37,3	25,3
179	7,46	30.12.2009	10:00:00	37,9	25,3
180	7,50	30.12.2009	11:00:00	36,5	25,2
181	7,54	30.12.2009	12:00:00	35,4	25,1
182	7,58	30.12.2009	13:00:00	36,3	24,9
183	7,63	30.12.2009	14:00:00	36,1	24,9
184	7,67	30.12.2009	15:00:00	35,8	24,9
185	7,71	30.12.2009	16:00:00	35,5	24,9
186	7,75	30.12.2009	17:00:00	35,3	24,8
187	7,79	30.12.2009	18:00:00	35,4	24,7
188	7,83	30.12.2009	19:00:00	36,1	25,1
189	7,88	30.12.2009	20:00:00	31,7	24,8

190	7,92	30.12.2009	21:00:00	29,5	24,6
191	7,96	30.12.2009	22:00:00	33,3	24,7
192	8,00	30.12.2009	23:00:00	33,2	24,8
193	8,04	31.12.2009	0:00:00	31,7	24,8
194	8,08	31.12.2009	1:00:00	27,2	24,5
195	8,13	31.12.2009	2:00:00	30,7	24,4
196	8,17	31.12.2009	3:00:00	25,1	24
197	8,21	31.12.2009	4:00:00	28,9	23,8
198	8,25	31.12.2009	5:00:00	31,1	24,3
199	8,29	31.12.2009	6:00:00	31,4	24,6
200	8,33	31.12.2009	7:00:00	31,5	24,8
201	8,38	31.12.2009	8:00:00	31,7	24,9
202	8,42	31.12.2009	9:00:00	31,9	25
203	8,46	31.12.2009	10:00:00	32,1	25,1
204	8,50	31.12.2009	11:00:00	32,3	25,2
205	8,54	31.12.2009	12:00:00	32,3	25,4
206	8,58	31.12.2009	13:00:00	27,6	24,6
207	8,63	31.12.2009	14:00:00	31,3	24,8
208	8,67	31.12.2009	15:00:00	28,5	23,8
209	8,71	31.12.2009	16:00:00	29,8	24
210	8,75	31.12.2009	17:00:00	30,2	24,2
211	8,79	31.12.2009	18:00:00	30,7	24,3
212	8,83	31.12.2009	19:00:00	31,1	24,3
213	8,88	31.12.2009	20:00:00	31,3	24,4
214	8,92	31.12.2009	21:00:00	31,5	24,5
215	8,96	31.12.2009	22:00:00	31,6	24,5
216	9,00	31.12.2009	23:00:00	31,6	24,5
217	9,04	01.01.2010	0:00:00	31,7	24,5
218	9,08	01.01.2010	1:00:00	31,7	24,5
219	9,13	01.01.2010	2:00:00	31,8	24,5
220	9,17	01.01.2010	3:00:00	31,8	24,5
221	9,21	01.01.2010	4:00:00	31,8	24,5
222	9,25	01.01.2010	5:00:00	31,8	24,5
223	9,29	01.01.2010	6:00:00	31,7	24,5
224	9,33	01.01.2010	7:00:00	31,6	24,5
225	9,38	01.01.2010	8:00:00	31,6	24,6
226	9,42	01.01.2010	9:00:00	31,5	24,6
227	9,46	01.01.2010	10:00:00	31,4	24,6
228	9,50	01.01.2010	11:00:00	31,3	24,6
229	9,54	01.01.2010	12:00:00	31,1	24,6
230	9,58	01.01.2010	13:00:00	31,3	24,6
231	9,63	01.01.2010	14:00:00	31,1	24,6
232	9,67	01.01.2010	15:00:00	31,1	24,5

233	9,71	01.01.2010	16:00:00	31,1	24,5
234	9,75	01.01.2010	17:00:00	31,1	24,5
235	9,79	01.01.2010	18:00:00	31,1	24,4
236	9,83	01.01.2010	19:00:00	31,1	24,4
237	9,88	01.01.2010	20:00:00	31	24,4
238	9,92	01.01.2010	21:00:00	31	24,4
239	9,96	01.01.2010	22:00:00	30,9	24,4
240	10,00	01.01.2010	23:00:00	30,9	24,4
241	10,04	02.01.2010	0:00:00	30,9	24,4
242	10,08	02.01.2010	1:00:00	30,8	24,4
243	10,13	02.01.2010	2:00:00	30,8	24,4
244	10,17	02.01.2010	3:00:00	30,7	24,4
245	10,21	02.01.2010	4:00:00	30,7	24,4
246	10,25	02.01.2010	5:00:00	30,6	24,4
247	10,29	02.01.2010	6:00:00	30,6	24,4
248	10,33	02.01.2010	7:00:00	30,6	24,4
249	10,38	02.01.2010	8:00:00	30,7	24,4
250	10,42	02.01.2010	9:00:00	30,7	24,4
251	10,46	02.01.2010	10:00:00	30,5	24,4
252	10,50	02.01.2010	11:00:00	30,6	24,5
253	10,54	02.01.2010	12:00:00	30,5	24,5
254	10,58	02.01.2010	13:00:00	30,4	24,6
255	10,63	02.01.2010	14:00:00	31,1	24,7
256	10,67	02.01.2010	15:00:00	31,1	24,9
257	10,71	02.01.2010	16:00:00	31,2	25
258	10,75	02.01.2010	17:00:00	31,3	25
259	10,79	02.01.2010	18:00:00	31,3	25,2
260	10,83	02.01.2010	19:00:00	32,4	25,3
261	10,88	02.01.2010	20:00:00	32,2	25,4
262	10,92	02.01.2010	21:00:00	32,6	25,5
263	10,96	02.01.2010	22:00:00	32,5	25,6
264	11,00	02.01.2010	23:00:00	32,6	25,6
265	11,04	03.01.2010	0:00:00	32,7	25,7
266	11,08	03.01.2010	1:00:00	33,1	25,7
267	11,13	03.01.2010	2:00:00	33,6	25,7
268	11,17	03.01.2010	3:00:00	33,9	25,7
269	11,21	03.01.2010	4:00:00	33,7	25,7
270	11,25	03.01.2010	5:00:00	33,9	25,8
271	11,29	03.01.2010	6:00:00	33,7	25,8
272	11,33	03.01.2010	7:00:00	33,5	25,8
273	11,38	03.01.2010	8:00:00	33,5	25,8
274	11,42	03.01.2010	9:00:00	33,7	25,8
275	11,46	03.01.2010	10:00:00	33,8	25,8

276	11,50	03.01.2010	11:00:00	33,6	25,9
277	11,54	03.01.2010	12:00:00	33,6	26
278	11,58	03.01.2010	13:00:00	33,9	26,1
279	11,63	03.01.2010	14:00:00	33,9	26,2
280	11,67	03.01.2010	15:00:00	33,9	26,2
281	11,71	03.01.2010	16:00:00	33,9	26,2
282	11,75	03.01.2010	17:00:00	33,9	26,1
283	11,79	03.01.2010	18:00:00	34,4	26,2
284	11,83	03.01.2010	19:00:00	34,1	26,2
285	11,88	03.01.2010	20:00:00	34	26,2
286	11,92	03.01.2010	21:00:00	34	26,2
287	11,96	03.01.2010	22:00:00	33,9	26,2
288	12,00	03.01.2010	23:00:00	33,5	26,2
289	12,04	04.01.2010	0:00:00	33,2	26,2
290	12,08	04.01.2010	1:00:00	33,7	26,1
291	12,13	04.01.2010	2:00:00	33,7	26,1
292	12,17	04.01.2010	3:00:00	33,9	26,1
293	12,21	04.01.2010	4:00:00	34,1	26
294	12,25	04.01.2010	5:00:00	33,6	25,9
295	12,29	04.01.2010	6:00:00	33,6	25,9
296	12,33	04.01.2010	7:00:00	33,7	25,9
297	12,38	04.01.2010	8:00:00	33,5	25,9
298	12,42	04.01.2010	9:00:00	33,3	25,9
299	12,46	04.01.2010	10:00:00	32,5	25,9
300	12,50	04.01.2010	11:00:00	32,9	26
301	12,54	04.01.2010	12:00:00	33,5	26,2
302	12,58	04.01.2010	13:00:00	34	26,3
303	12,63	04.01.2010	14:00:00	31,9	25,9
304	12,67	04.01.2010	15:00:00	32	25,9
305	12,71	04.01.2010	16:00:00	31,8	25,8
306	12,75	04.01.2010	17:00:00	31,7	25,8
307	12,79	04.01.2010	18:00:00	31,5	25,7
308	12,83	04.01.2010	19:00:00	31,5	25,7
309	12,88	04.01.2010	20:00:00	31,3	25,7
310	12,92	04.01.2010	21:00:00	31,1	25,6
311	12,96	04.01.2010	22:00:00	30,8	25,6
312	13,00	04.01.2010	23:00:00	30,8	25,5
313	13,04	05.01.2010	0:00:00	30,8	25,5
314	13,08	05.01.2010	1:00:00	30,6	25,5
315	13,13	05.01.2010	2:00:00	30,6	25,4
316	13,17	05.01.2010	3:00:00	30,6	25,4
317	13,21	05.01.2010	4:00:00	30,6	25,4
318	13,25	05.01.2010	5:00:00	30,5	25,4

319	13,29	05.01.2010	6:00:00	30,5	25,3
320	13,33	05.01.2010	7:00:00	30,4	25,3
321	13,38	05.01.2010	8:00:00	30,3	25,3
322	13,42	05.01.2010	9:00:00	30,3	25,3
323	13,46	05.01.2010	10:00:00	30,4	25,3
324	13,50	05.01.2010	11:00:00	30,4	25,3
325	13,54	05.01.2010	12:00:00	30,3	25,3
326	13,58	05.01.2010	13:00:00	30,3	25,4
327	13,63	05.01.2010	14:00:00	30,1	25,4
328	13,67	05.01.2010	15:00:00	30,2	25,3
329	13,71	05.01.2010	16:00:00	30	25,3
330	13,75	05.01.2010	17:00:00	30	25,2
331	13,79	05.01.2010	18:00:00	29,9	25,2
332	13,83	05.01.2010	19:00:00	29,8	25,2
333	13,88	05.01.2010	20:00:00	29,9	25,2
334	13,92	05.01.2010	21:00:00	29,7	25,2
335	13,96	05.01.2010	22:00:00	30,4	25,3
336	14,00	05.01.2010	23:00:00	31	25,7
337	14,04	06.01.2010	0:00:00	30,7	25,8
338	14,08	06.01.2010	1:00:00	31,7	26
339	14,13	06.01.2010	2:00:00	31,4	26,1
340	14,17	06.01.2010	3:00:00	31,5	26,1
341	14,21	06.01.2010	4:00:00	32,1	26,1
342	14,25	06.01.2010	5:00:00	31,5	26,1
343	14,29	06.01.2010	6:00:00	32	26,1
344	14,33	06.01.2010	7:00:00	31,8	26
345	14,38	06.01.2010	8:00:00	31,5	26
346	14,42	06.01.2010	9:00:00	31,9	26
347	14,46	06.01.2010	10:00:00	31,4	25,6
348	14,50	06.01.2010	11:00:00	31,9	20

Таблица 5

Номер измерения	Сутки	Дата	Время измерения	Относительная влажность, %	Температура, °С
1	0,04	23.12.2009	0:00:00	17,02	19,26
2	0,08	23.12.2009	1:00:00	16,76	19,26
3	0,13	23.12.2009	2:00:00	16,76	19,20
4	0,17	23.12.2009	3:00:00	16,11	19,20
5	0,21	23.12.2009	4:00:00	15,98	19,14
6	0,25	23.12.2009	5:00:00	16,04	19,14
7	0,29	23.12.2009	6:00:00	16,17	19,14
8	0,33	23.12.2009	7:00:00	16,04	19,14

9	0,38	23.12.2009	8:00:00	16,11	19,14
10	0,42	23.12.2009	9:00:00	16,37	19,14
11	0,46	23.12.2009	10:00:00	16,43	19,14
12	0,50	23.12.2009	11:00:00	16,63	19,14
13	0,54	23.12.2009	12:00:00	16,63	19,14
14	0,58	23.12.2009	13:00:00	16,89	19,14
15	0,63	23.12.2009	14:00:00	17,15	19,20
16	0,67	23.12.2009	15:00:00	17,86	19,20
17	0,71	23.12.2009	16:00:00	18,64	19,20
18	0,75	23.12.2009	17:00:00	18,90	19,26
19	0,79	23.12.2009	18:00:00	18,97	19,33
20	0,83	23.12.2009	19:00:00	19,03	19,33
21	0,88	23.12.2009	20:00:00	19,10	19,33
22	0,92	23.12.2009	21:00:00	19,49	19,39
23	0,96	23.12.2009	22:00:00	20,01	19,46
24	1,00	23.12.2009	23:00:00	20,14	19,52
25	1,04	24.12.2009	0:00:00	19,68	19,52
26	1,08	24.12.2009	1:00:00	19,29	19,59
27	1,13	24.12.2009	2:00:00	19,03	19,59
28	1,17	24.12.2009	3:00:00	18,77	19,52
29	1,21	24.12.2009	4:00:00	18,77	19,52
30	1,25	24.12.2009	5:00:00	19,03	19,52
31	1,29	24.12.2009	6:00:00	19,36	19,46
32	1,33	24.12.2009	7:00:00	19,62	19,46
33	1,38	24.12.2009	8:00:00	20,07	19,46
34	1,42	24.12.2009	9:00:00	20,14	19,52
35	1,46	24.12.2009	10:00:00	20,14	19,46
36	1,50	24.12.2009	11:00:00	20,27	19,52
37	1,54	24.12.2009	12:00:00	20,40	19,52
38	1,58	24.12.2009	13:00:00	19,88	19,46
39	1,63	24.12.2009	14:00:00	20,01	19,46
40	1,67	24.12.2009	15:00:00	20,14	19,39
41	1,71	24.12.2009	16:00:00	20,01	19,46
42	1,75	24.12.2009	17:00:00	19,88	19,52
43	1,79	24.12.2009	18:00:00	19,81	19,52
44	1,83	24.12.2009	19:00:00	19,68	19,52
45	1,88	24.12.2009	20:00:00	19,42	19,52
46	1,92	24.12.2009	21:00:00	19,49	19,52
47	1,96	24.12.2009	22:00:00	19,88	19,52
48	2,00	24.12.2009	23:00:00	20,14	19,65
49	2,04	25.12.2009	0:00:00	20,27	19,72
50	2,08	25.12.2009	1:00:00	20,07	19,72
51	2,13	25.12.2009	2:00:00	20,20	19,72

52	2,17	25.12.2009	3:00:00	20,53	19,78
53	2,21	25.12.2009	4:00:00	20,07	19,72
54	2,25	25.12.2009	5:00:00	20,07	19,72
55	2,29	25.12.2009	6:00:00	20,14	19,72
56	2,33	25.12.2009	7:00:00	20,46	19,72
57	2,38	25.12.2009	8:00:00	20,53	19,72
58	2,42	25.12.2009	9:00:00	20,33	19,72
59	2,46	25.12.2009	10:00:00	19,55	19,65
60	2,50	25.12.2009	11:00:00	19,23	19,59
61	2,54	25.12.2009	12:00:00	18,84	19,59
62	2,58	25.12.2009	13:00:00	19,49	19,65
63	2,63	25.12.2009	14:00:00	19,29	19,59
64	2,67	25.12.2009	15:00:00	19,68	19,59
65	2,71	25.12.2009	16:00:00	19,49	19,65
66	2,75	25.12.2009	17:00:00	18,97	19,59
67	2,79	25.12.2009	18:00:00	19,10	19,65
68	2,83	25.12.2009	19:00:00	19,36	19,65
69	2,88	25.12.2009	20:00:00	19,23	19,65
70	2,92	25.12.2009	21:00:00	19,23	19,59
71	2,96	25.12.2009	22:00:00	18,90	19,65
72	3,00	25.12.2009	23:00:00	19,16	19,65
73	3,04	26.12.2009	0:00:00	20,27	19,72
74	3,08	26.12.2009	1:00:00	20,40	19,78
75	3,13	26.12.2009	2:00:00	20,01	19,72
76	3,17	26.12.2009	3:00:00	19,88	19,72
77	3,21	26.12.2009	4:00:00	20,07	19,65
78	3,25	26.12.2009	5:00:00	20,27	19,65
79	3,29	26.12.2009	6:00:00	20,72	19,65
80	3,33	26.12.2009	7:00:00	20,85	19,65
81	3,38	26.12.2009	8:00:00	21,18	19,65
82	3,42	26.12.2009	9:00:00	21,37	19,65
83	3,46	26.12.2009	10:00:00	21,89	19,65
84	3,50	26.12.2009	11:00:00	20,07	19,52
85	3,54	26.12.2009	12:00:00	19,75	19,46
86	3,58	26.12.2009	13:00:00	19,55	19,46
87	3,63	26.12.2009	14:00:00	19,42	19,46
88	3,67	26.12.2009	15:00:00	19,42	19,46
89	3,71	26.12.2009	16:00:00	19,88	19,46
90	3,75	26.12.2009	17:00:00	20,33	19,52
91	3,79	26.12.2009	18:00:00	20,66	19,59
92	3,83	26.12.2009	19:00:00	20,66	19,59
93	3,88	26.12.2009	20:00:00	23,51	19,65
94	3,92	26.12.2009	21:00:00	23,19	19,72

95	3,96	26.12.2009	22:00:00	22,80	19,78
96	4,00	26.12.2009	23:00:00	22,54	19,85
97	4,04	27.12.2009	0:00:00	22,61	19,91
98	4,08	27.12.2009	1:00:00	22,86	19,91
99	4,13	27.12.2009	2:00:00	22,54	19,98
100	4,17	27.12.2009	3:00:00	22,48	19,98
101	4,21	27.12.2009	4:00:00	22,22	19,91
102	4,25	27.12.2009	5:00:00	22,15	19,91
103	4,29	27.12.2009	6:00:00	22,41	19,91
104	4,33	27.12.2009	7:00:00	22,61	19,91
105	4,38	27.12.2009	8:00:00	22,80	19,91
106	4,42	27.12.2009	9:00:00	22,80	19,91
107	4,46	27.12.2009	10:00:00	22,93	19,91
108	4,50	27.12.2009	11:00:00	22,22	19,91
109	4,54	27.12.2009	12:00:00	22,15	19,85
110	4,58	27.12.2009	13:00:00	21,89	19,91
111	4,63	27.12.2009	14:00:00	21,37	19,91
112	4,67	27.12.2009	15:00:00	20,79	19,91
113	4,71	27.12.2009	16:00:00	21,31	19,91
114	4,75	27.12.2009	17:00:00	21,50	19,98
115	4,79	27.12.2009	18:00:00	21,31	19,98
116	4,83	27.12.2009	19:00:00	21,11	19,98
117	4,88	27.12.2009	20:00:00	20,98	19,98
118	4,92	27.12.2009	21:00:00	21,89	20,04
119	4,96	27.12.2009	22:00:00	21,63	20,11
120	5,00	27.12.2009	23:00:00	22,41	20,17
121	5,04	28.12.2009	0:00:00	22,22	20,17
122	5,08	28.12.2009	1:00:00	21,89	20,24
123	5,13	28.12.2009	2:00:00	21,50	20,17
124	5,17	28.12.2009	3:00:00	20,85	20,11
125	5,21	28.12.2009	4:00:00	21,24	20,11
126	5,25	28.12.2009	5:00:00	21,37	20,04
127	5,29	28.12.2009	6:00:00	21,70	20,04
128	5,33	28.12.2009	7:00:00	21,70	20,04
129	5,38	28.12.2009	8:00:00	21,63	20,04
130	5,42	28.12.2009	9:00:00	21,50	19,98
131	5,46	28.12.2009	10:00:00	21,18	19,98
132	5,50	28.12.2009	11:00:00	19,42	19,85
133	5,54	28.12.2009	12:00:00	19,16	19,85
134	5,58	28.12.2009	13:00:00	18,84	19,85
135	5,63	28.12.2009	14:00:00	18,58	19,78
136	5,67	28.12.2009	15:00:00	18,51	19,72
137	5,71	28.12.2009	16:00:00	18,84	19,78

138	5,75	28.12.2009	17:00:00	18,97	19,78
139	5,79	28.12.2009	18:00:00	18,64	19,78
140	5,83	28.12.2009	19:00:00	18,12	19,78
141	5,88	28.12.2009	20:00:00	18,12	19,72
142	5,92	28.12.2009	21:00:00	18,25	19,78
143	5,96	28.12.2009	22:00:00	17,93	19,78
144	6,00	28.12.2009	23:00:00	18,19	19,85
145	6,04	29.12.2009	0:00:00	18,06	19,78
146	6,08	29.12.2009	1:00:00	18,45	19,78
147	6,13	29.12.2009	2:00:00	18,12	19,78
148	6,17	29.12.2009	3:00:00	17,80	19,72
149	6,21	29.12.2009	4:00:00	17,80	19,72
150	6,25	29.12.2009	5:00:00	17,93	19,65
151	6,29	29.12.2009	6:00:00	18,12	19,59
152	6,33	29.12.2009	7:00:00	18,25	19,52
153	6,38	29.12.2009	8:00:00	18,38	19,46
154	6,42	29.12.2009	9:00:00	18,32	19,33
155	6,46	29.12.2009	10:00:00	17,93	19,26
156	6,50	29.12.2009	11:00:00	17,34	19,14
157	6,54	29.12.2009	12:00:00	17,28	19,14
158	6,58	29.12.2009	13:00:00	18,45	19,26
159	6,63	29.12.2009	14:00:00	18,45	19,39
160	6,67	29.12.2009	15:00:00	17,41	19,33
161	6,71	29.12.2009	16:00:00	20,14	19,39
162	6,75	29.12.2009	17:00:00	18,71	19,33
163	6,79	29.12.2009	18:00:00	17,86	19,33
164	6,83	29.12.2009	19:00:00	17,93	19,33
165	6,88	29.12.2009	20:00:00	17,99	19,33
166	6,92	29.12.2009	21:00:00	18,12	19,33
167	6,96	29.12.2009	22:00:00	18,25	19,33
168	7,00	29.12.2009	23:00:00	19,62	19,39
169	7,04	30.12.2009	0:00:00	19,16	19,39
170	7,08	30.12.2009	1:00:00	20,14	19,39
171	7,13	30.12.2009	2:00:00	19,75	19,39
172	7,17	30.12.2009	3:00:00	19,75	19,39
173	7,21	30.12.2009	4:00:00	20,07	19,39
174	7,25	30.12.2009	5:00:00	20,33	19,33
175	7,29	30.12.2009	6:00:00	20,46	19,33
176	7,33	30.12.2009	7:00:00	20,59	19,33
177	7,38	30.12.2009	8:00:00	20,66	19,33
178	7,42	30.12.2009	9:00:00	20,46	19,33
179	7,46	30.12.2009	10:00:00	19,94	19,33
180	7,50	30.12.2009	11:00:00	20,27	19,33

181	7,54	30.12.2009	12:00:00	20,14	19,39
182	7,58	30.12.2009	13:00:00	19,75	19,46
183	7,63	30.12.2009	14:00:00	19,10	19,39
184	7,67	30.12.2009	15:00:00	18,45	19,39
185	7,71	30.12.2009	16:00:00	18,06	19,39
186	7,75	30.12.2009	17:00:00	17,99	19,39
187	7,79	30.12.2009	18:00:00	17,99	19,39
188	7,83	30.12.2009	19:00:00	17,73	19,33
189	7,88	30.12.2009	20:00:00	17,34	19,33
190	7,92	30.12.2009	21:00:00	17,41	19,33
191	7,96	30.12.2009	22:00:00	17,21	19,33
192	8,00	30.12.2009	23:00:00	16,95	19,26
193	8,04	31.12.2009	0:00:00	16,89	19,26
194	8,08	31.12.2009	1:00:00	18,12	19,39
195	8,13	31.12.2009	2:00:00	17,80	19,46
196	8,17	31.12.2009	3:00:00	17,67	19,39
197	8,21	31.12.2009	4:00:00	17,80	19,39
198	8,25	31.12.2009	5:00:00	17,99	19,33
199	8,29	31.12.2009	6:00:00	18,12	19,33
200	8,33	31.12.2009	7:00:00	18,25	19,33
201	8,38	31.12.2009	8:00:00	18,25	19,33
202	8,42	31.12.2009	9:00:00	18,25	19,33
203	8,46	31.12.2009	10:00:00	18,38	19,33
204	8,50	31.12.2009	11:00:00	18,64	19,33
205	8,54	31.12.2009	12:00:00	18,12	19,33
206	8,58	31.12.2009	13:00:00	18,64	19,33
207	8,63	31.12.2009	14:00:00	18,25	19,33
208	8,67	31.12.2009	15:00:00	18,06	19,33
209	8,71	31.12.2009	16:00:00	18,64	19,39
210	8,75	31.12.2009	17:00:00	18,64	19,46
211	8,79	31.12.2009	18:00:00	18,25	19,46
212	8,83	31.12.2009	19:00:00	18,25	19,46
213	8,88	31.12.2009	20:00:00	18,38	19,52
214	8,92	31.12.2009	21:00:00	18,38	19,59
215	8,96	31.12.2009	22:00:00	18,58	19,59
216	9,00	31.12.2009	23:00:00	18,51	19,59
217	9,04	01.01.2010	0:00:00	18,51	19,65
218	9,08	01.01.2010	1:00:00	18,58	19,65
219	9,13	01.01.2010	2:00:00	18,71	19,65
220	9,17	01.01.2010	3:00:00	17,99	19,65
221	9,21	01.01.2010	4:00:00	18,06	19,65
222	9,25	01.01.2010	5:00:00	18,06	19,65
223	9,29	01.01.2010	6:00:00	18,06	19,65

224	9,33	01.01.2010	7:00:00	18,12	19,65
225	9,38	01.01.2010	8:00:00	17,67	19,59
226	9,42	01.01.2010	9:00:00	17,73	19,52
227	9,46	01.01.2010	10:00:00	17,34	19,52
228	9,50	01.01.2010	11:00:00	17,60	19,52
229	9,54	01.01.2010	12:00:00	17,60	19,46
230	9,58	01.01.2010	13:00:00	16,89	19,39
231	9,63	01.01.2010	14:00:00	17,02	19,46
232	9,67	01.01.2010	15:00:00	16,89	19,46
233	9,71	01.01.2010	16:00:00	17,02	19,46
234	9,75	01.01.2010	17:00:00	16,82	19,39
235	9,79	01.01.2010	18:00:00	16,30	19,39
236	9,83	01.01.2010	19:00:00	16,17	19,39
237	9,88	01.01.2010	20:00:00	15,98	19,33
238	9,92	01.01.2010	21:00:00	15,72	19,33
239	9,96	01.01.2010	22:00:00	15,98	19,26
240	10,00	01.01.2010	23:00:00	16,04	19,33
241	10,04	02.01.2010	0:00:00	16,43	19,39
242	10,08	02.01.2010	1:00:00	17,02	19,46
243	10,13	02.01.2010	2:00:00	16,50	19,39
244	10,17	02.01.2010	3:00:00	16,24	19,33
245	10,21	02.01.2010	4:00:00	16,24	19,33
246	10,25	02.01.2010	5:00:00	16,30	19,26
247	10,29	02.01.2010	6:00:00	16,43	19,26
248	10,33	02.01.2010	7:00:00	16,56	19,20
249	10,38	02.01.2010	8:00:00	16,63	19,20
250	10,42	02.01.2010	9:00:00	16,76	19,14
251	10,46	02.01.2010	10:00:00	16,69	19,07
252	10,50	02.01.2010	11:00:00	16,37	19,07
253	10,54	02.01.2010	12:00:00	16,56	19,07
254	10,58	02.01.2010	13:00:00	16,50	19,07
255	10,63	02.01.2010	14:00:00	15,78	19,07
256	10,67	02.01.2010	15:00:00	16,30	19,14
257	10,71	02.01.2010	16:00:00	16,43	19,14
258	10,75	02.01.2010	17:00:00	15,85	19,14
259	10,79	02.01.2010	18:00:00	15,33	19,07
260	10,83	02.01.2010	19:00:00	14,94	19,07
261	10,88	02.01.2010	20:00:00	15,14	19,07
262	10,92	02.01.2010	21:00:00	15,07	19,01
263	10,96	02.01.2010	22:00:00	15,59	19,01
264	11,00	02.01.2010	23:00:00	15,78	19,07
265	11,04	03.01.2010	0:00:00	15,78	18,94
266	11,08	03.01.2010	1:00:00	15,39	18,88

267	11,13	03.01.2010	2:00:00	14,68	18,88
268	11,17	03.01.2010	3:00:00	14,55	18,81
269	11,21	03.01.2010	4:00:00	14,68	18,68
270	11,25	03.01.2010	5:00:00	15,07	18,62
271	11,29	03.01.2010	6:00:00	15,01	18,55
272	11,33	03.01.2010	7:00:00	14,94	18,42
273	11,38	03.01.2010	8:00:00	15,26	18,36
274	11,42	03.01.2010	9:00:00	15,14	18,29
275	11,46	03.01.2010	10:00:00	15,01	18,29
276	11,50	03.01.2010	11:00:00	17,28	18,36
277	11,54	03.01.2010	12:00:00	15,26	18,36
278	11,58	03.01.2010	13:00:00	15,39	18,42
279	11,63	03.01.2010	14:00:00	14,55	18,36
280	11,67	03.01.2010	15:00:00	14,42	18,36
281	11,71	03.01.2010	16:00:00	14,03	18,29
282	11,75	03.01.2010	17:00:00	13,77	18,23
283	11,79	03.01.2010	18:00:00	13,64	18,16
284	11,83	03.01.2010	19:00:00	13,45	18,10
285	11,88	03.01.2010	20:00:00	13,90	18,10
286	11,92	03.01.2010	21:00:00	15,59	18,16
287	11,96	03.01.2010	22:00:00	15,65	18,16
288	12,00	03.01.2010	23:00:00	15,46	18,10
289	12,04	04.01.2010	0:00:00	15,14	18,10
290	12,08	04.01.2010	1:00:00	15,14	18,03
291	12,13	04.01.2010	2:00:00	14,75	17,97
292	12,17	04.01.2010	3:00:00	14,68	17,90
293	12,21	04.01.2010	4:00:00	14,55	17,84
294	12,25	04.01.2010	5:00:00	14,55	17,71
295	12,29	04.01.2010	6:00:00	14,68	17,71
296	12,33	04.01.2010	7:00:00	14,94	17,71
297	12,38	04.01.2010	8:00:00	14,88	17,64
298	12,42	04.01.2010	9:00:00	14,75	17,58
299	12,46	04.01.2010	10:00:00	14,88	17,58
300	12,50	04.01.2010	11:00:00	15,01	17,58
301	12,54	04.01.2010	12:00:00	17,15	17,71
302	12,58	04.01.2010	13:00:00	17,34	17,77
303	12,63	04.01.2010	14:00:00	16,76	17,84
304	12,67	04.01.2010	15:00:00	15,85	17,90
305	12,71	04.01.2010	16:00:00	15,85	17,84
306	12,75	04.01.2010	17:00:00	15,46	17,84
307	12,79	04.01.2010	18:00:00	15,59	17,84
308	12,83	04.01.2010	19:00:00	15,39	17,84
309	12,88	04.01.2010	20:00:00	15,65	17,84

310	12,92	04.01.2010	21:00:00	16,63	17,90
311	12,96	04.01.2010	22:00:00	15,91	17,90
312	13,00	04.01.2010	23:00:00	15,78	17,90
313	13,04	05.01.2010	0:00:00	15,72	17,90
314	13,08	05.01.2010	1:00:00	15,78	17,97
315	13,13	05.01.2010	2:00:00	15,91	17,97
316	13,17	05.01.2010	3:00:00	15,85	17,97
317	13,21	05.01.2010	4:00:00	15,91	17,90
318	13,25	05.01.2010	5:00:00	16,11	17,90
319	13,29	05.01.2010	6:00:00	16,24	17,97
320	13,33	05.01.2010	7:00:00	16,37	17,97
321	13,38	05.01.2010	8:00:00	16,50	17,97
322	13,42	05.01.2010	9:00:00	16,43	17,97
323	13,46	05.01.2010	10:00:00	16,37	18,03
324	13,50	05.01.2010	11:00:00	17,47	18,10
325	13,54	05.01.2010	12:00:00	16,69	18,16
326	13,58	05.01.2010	13:00:00	16,69	18,16
327	13,63	05.01.2010	14:00:00	16,50	18,23
328	13,67	05.01.2010	15:00:00	16,82	18,23
329	13,71	05.01.2010	16:00:00	17,21	18,23
330	13,75	05.01.2010	17:00:00	16,76	18,23
331	13,79	05.01.2010	18:00:00	16,30	18,23
332	13,83	05.01.2010	19:00:00	16,50	18,29
333	13,88	05.01.2010	20:00:00	16,24	18,36
334	13,92	05.01.2010	21:00:00	16,69	18,42
335	13,96	05.01.2010	22:00:00	16,95	18,42
336	14,00	05.01.2010	23:00:00	16,30	18,49
337	14,04	06.01.2010	0:00:00	15,85	18,49
338	14,08	06.01.2010	1:00:00	15,65	18,42
339	14,13	06.01.2010	2:00:00	15,65	18,49
340	14,17	06.01.2010	3:00:00	15,59	18,49
341	14,21	06.01.2010	4:00:00	15,59	18,49
342	14,25	06.01.2010	5:00:00	15,72	18,42
343	14,29	06.01.2010	6:00:00	15,98	18,49
344	14,33	06.01.2010	7:00:00	15,91	18,42
345	14,38	06.01.2010	8:00:00	15,91	18,42
346	14,42	06.01.2010	9:00:00	16,04	18,42
347	14,46	06.01.2010	10:00:00	16,04	18,42
348	14,50	06.01.2010	11:00:00	15,39	18,36

В период измерений в двух квартирах проводились одновременные измерения температуры наружного воздуха во времени, для измерений применялся

регистратор данных для долгосрочных измерений testo 175-N1. План измерений приведён в таблице 6.

Таблица 6

Номер измерения	Дата	Сутки	Время, ч	Температура наружного воздуха, °С
1	23.12.2009	0,04	0	-12,3
4	23.12.2009	0,17	3	-12,8
7	23.12.2009	0,29	6	-11,1
10	23.12.2009	0,42	9	-9,4
13	23.12.2009	0,54	12	-6,4
16	23.12.2009	0,67	15	-1,8
19	23.12.2009	0,79	18	0,6
22	23.12.2009	0,92	21	1,5
25	24.12.2010	1,04	00.00	-2,3
28	24.12.2010	1,17	3	-3,8
31	24.12.2010	1,29	6	-3,2
34	24.12.2010	1,42	9	-0,8
37	24.12.2010	1,54	12	1
40	24.12.2010	1,67	15	1,9
43	24.12.2010	1,79	18	1,5
46	24.12.2010	1,92	21	0,2
49	25.12. 2010	2,04	00.00	-0,8
52	25.12. 2010	2,17	3	-1,9
55	25.12. 2010	2,29	6	-4,2
58	25.12. 2010	2,42	9	-5,2
61	25.12. 2010	2,54	12	-2,8
64	25.12. 2010	2,67	15	-0,8
67	25.12. 2010	2,79	18	-1,5
70	25.12. 2010	2,92	21	-1,4
73	26.12. 2010	3,04	00.00	-1,4
76	26.12. 2010	3,17	3	-0,9
79	26.12. 2010	3,29	6	-1,5
82	26.12. 2010	3,42	9	-1,5
85	26.12. 2010	3,54	12	1,3
88	26.12. 2010	3,67	15	3,2
91	26.12. 2010	3,79	18	3
94	26.12. 2010	3,92	21	3,4
97	27.12. 2010	4,04	00.00	2,4
100	27.12. 2010	4,17	3	2
103	27.12. 2010	4,29	6	1,4
106	27.12. 2010	4,42	9	0,7
109	27.12. 2010	4,54	12	0,8

112	27.12. 2010	4,67	15	1,80
115	27.12. 2010	4,79	18	1,3
118	27.12. 2010	4,92	21	0,9
121	28.12. 2010	5,04	00.00	0,5
124	28.12. 2010	5,17	3	0,4
127	28.12. 2010	5,29	6	-0,4
130	28.12. 2010	5,42	9	-2,5
133	28.12. 2010	5,54	12	-1,6
136	28.12. 2010	5,67	15	-1,4
139	28.12. 2010	5,79	18	-3,4
142	28.12. 2010	5,92	21	-5,2
145	29.12. 2010	6,04	00.00	-6,4
148	29.12. 2010	6,17	3	-7,6
151	29.12. 2010	6,29	6	-7,9
154	29.12. 2010	6,42	9	-8,5
157	29.12. 2010	6,54	12	-6,3
160	29.12. 2010	6,67	15	-5,1
163	29.12. 2010	6,79	18	-3,9
166	29.12. 2010	6,92	21	-2,5
169	30.12. 2010	7,04	00.00	-1
172	30.12. 2010	7,17	3	-1,1
175	30.12. 2010	7,29	6	-2
178	30.12. 2010	7,42	9	-2,8
181	30.12. 2010	7,54	12	-4,9
184	30.12. 2010	7,67	15	-9,4
187	30.12. 2010	7,79	18	-11
190	30.12. 2010	7,92	21	-11,8
193	31.12. 2010	8,04	00.00	-12
196	31.12. 2010	8,17	3	-10,6
199	31.12. 2010	8,29	6	-9,6
202	31.12. 2010	8,42	9	-9
205	31.12. 2010	8,54	12	-8,1
208	31.12. 2010	8,67	15	-7,4
211	31.12. 2010	8,79	18	-7
214	31.12. 2010	8,92	21	-5,4
217	01.01. 2010	9,04	00.00	-5,5
220	01.01. 2010	9,17	3	-6
223	01.01. 2010	9,29	6	-9,2
226	01.01. 2010	9,42	9	-11,5
229	01.01. 2010	9,54	12	-10,1
232	01.01. 2010	9,67	15	-8,9
235	01.01. 2010	9,79	18	-11,4
238	01.01. 2010	9,92	21	-14,4

241	02.01. 2010	10,04	00.00	-16,2
244	02.01. 2010	10,17	3	-13,7
247	02.01. 2010	10,29	6	-11,6
250	02.01. 2010	10,42	9	-12,1
253	02.01. 2010	10,54	12	-12
256	02.01. 2010	10,67	15	-12,2
259	02.01. 2010	10,79	18	-13,4
262	02.01. 2010	10,92	21	-14,5
265	03.01. 2010	11,04	00.00	-14,2
268	03.01. 2010	11,17	3	-14,9
271	03.01. 2010	11,29	6	-16,6
274	03.01. 2010	11,42	9	-17,7
277	03.01. 2010	11,54	12	-18,1
280	03.01. 2010	11,67	15	-18
283	03.01. 2010	11,79	18	-18,8
286	03.01. 2010	11,92	21	-19
289	04.01. 2010	12,04	00.00	-20,8
292	04.01. 2010	12,17	3	-20,9
295	04.01. 2010	12,29	6	-20,3
298	04.01. 2010	12,42	9	-20,5
301	04.01. 2010	12,54	12	-16,8
304	04.01. 2010	12,67	15	-15
307	04.01. 2010	12,79	18	-14,9
310	04.01. 2010	12,92	21	-14,8
313	05.01. 2010	13,04	00.00	-11,9
316	05.01. 2010	13,17	3	-10,8
319	05.01. 2010	13,29	6	-11,2
322	05.01. 2010	13,42	9	-11,1
325	05.01. 2010	13,54	12	-11,3
328	05.01. 2010	13,67	15	-11,2
331	05.01. 2010	13,79	18	-13,5
334	05.01. 2010	13,92	21	-14
337	06.01. 2010	14,04	00.00	-13,6
340	06.01. 2010	14,17	3	-14
343	06.01. 2010	14,29	6	-15,1
346	06.01. 2010	14,42	9	-14,8
349	06.01. 2010	14,54	12	-13,3

В таблице 7 приведен план измерений концентрации диоксида углерода (г/м^3) в комнате квартиры 1 и комнате квартиры 2, которые усреднены за каждые сутки измерений.

Таблица 7

Сутки	Квартира 1	Квартира 2
1	3,3	1,8
2	3,6	2,1
3	3,5	2,0
4	3,7	2,2
5	3,8	2,3
6	3,6	2,1
7	3,4	1,8
8	3,4	1,9
9	3,3	1,7
10	3,2	1,7
11	3,0	1,5
12	2,9	1,4
13	2,9	1,4
14	3,1	1,6
15	3,0	1,5

В таблице 8 приведен план измерений расхода воздуха (м³/ч) в комнате квартиры 1 и комнате квартиры 2, которые усреднены за каждые сутки измерений.

Таблица 8

Сутки	Квартира 1	Квартира 2
1	4,86	10,24
2	4,22	8,51
3	4,39	9,06
4	4,05	8,16
5	3,92	7,94
6	4,25	8,90
7	4,71	10,24
8	4,64	10,06
9	4,97	10,97
10	5,12	11,28
11	5,53	12,25
12	5,93	13,38
13	5,97	13,68
14	5,34	11,96
15	5,58	12,67

Планирование эксперимента при численном моделировании изменения концентрации примеси в комнатах двух квартир представлен в таблице 9.

Таблица 9

Дата	Квартира 1	Квартира 2
1	3,11	1,60
2	3,42	1,93
3	3,34	1,81
4	3,52	2,01
5	3,58	2,06
6	3,41	1,85
7	3,18	1,60
8	3,22	1,63
9	3,07	1,49
10	3,00	1,44
11	2,83	1,32
12	2,68	1,19
13	2,67	1,16
14	2,91	1,35
15	2,81	1,27

При сравнении результатов расчетов и измерений получена величина отклонения в % (таблица 10).

Таблица 10

Дата	Квартира 1	Квартира 2
1	6,04	12,09
2	5,52	10,23
3	5,66	10,82
4	5,38	9,87
5	5,29	9,64
6	5,55	10,64
7	5,91	12,08
8	5,86	11,89
9	6,12	12,89
10	6,25	13,23
11	6,60	14,31
12	6,94	15,58
13	6,97	15,92
14	6,43	13,99
15	6,64	14,78
Среднее значение	6,08	12,53

Измерение зависимости изменения температуры внутреннего воздуха и концентрации диоксида углерода во внутреннем воздухе во времени в помещении

бассейна. Эксперимент состоит из серии большого числа измерений через равные промежутки времени в течение более 10 дней 24 часа в сутки. При каждом измерении фиксируется время и величина температуры и относительной влажности. Погрешность измерений определяется точностью прибора $\pm 0,5$ °C и $\pm 3\%$. Измерения проводились с применением регистратора данных для долгосрочных измерений testo 175-H1 и измерителя концентрации диоксида углерода KCD-DA CO₂. Измерения проводились через каждый час, далее вычислялись средние за сутки значения температуры и концентрации диоксида углерода. В таблицах 11 и 12 приведен план измерений по температуре внутреннего воздуха за период октябрь 2007 и март 2008 года.

Таблица 11

Дата измерений	Октябрь 2007	Ноябрь 2007	Декабрь 2007
1	26,8	26,7	26,5
2	27,1	26,9	26,6
3	27,5	26,9	26,7
4	27,0	27,3	26,9
5	27,5	26,8	26,9
6	27,1	26,7	27,1
7	27,3	26,5	27,1
8	27,1	26,9	27,3
9	27,1	26,5	27,5
10	26,6	26,9	27,8
11	27,0	26,5	27,3
12	26,7	26,8	27,9
13	26,8	26,6	27,8
14	26,0	26,5	27,8
15	26,3	26,2	27,8
16	26,2	26,8	27,6
17	26,8	26,4	27,7
18	27,0	26,6	27,8
19	27,4	26,6	27,6
20	26,7	26,7	27,5
21	26,7	26,4	27,5
22	26,6	26,7	27,0
23	27,5	26,4	27,1
24	27,2	26,6	27,5
25	27,4	26,2	27,4
26	27,0	26,5	27,9

27	27,2	26,6	27,5
28	26,7	26,6	27,2
29	26,8	26,6	27,0
30	26,8		
31			

Таблица 12

Дата измерений	Январь 2008	Февраль 2008	Март 2008
1	26,9	27,0	27,2
2	26,7	27,0	27,3
3	27,3	26,9	27,3
4	27,2	27,0	27,0
5	27,5	26,8	27,1
6	27,9	26,9	27,1
7	28,1	27	27,0
8	28,1	27,1	27,0
9	28,2	27,1	26,9
10	28,1	27,0	26,9
11	28,2	27,0	26,8
12	27,8	27,1	26,8
13	27,7	27,1	25,4
14	27,4	27,3	25,2
15	27,6	27,3	25,5
16	27,3	27,4	25,8
17	27,2	27,6	26,2
18	27,0	27,6	26,7
19	27,2	27,5	26,1
20	27,0	27,6	26,3
21	27,1	27,7	26,8
22	27,0	27,6	26,9
23	27,0	27,5	27,2
24	27,0	27,4	27,4
25	27,1	27,3	27,3
26	27,2	27,2	27,3
27	26,7	27,2	27,2
28	27,0	27,2	27,3
29	27,1	27,1	27,4
30	27,1		27,3
31	27,1		27,6

В таблицах 13 и 14 приведен план измерений по концентрации диоксида углерода (г/м³) за период июль - ноябрь 2007 и апрель – июль 2008 года.

Таблица 13

Дата измерений	Июнь 2007	Июль 2007	Август 2007	Сентябрь 2007	Октябрь 2007	Ноябрь 2007
1	0,68	0,59	0,58	0,71	0,66	0,62
2	0,49	0,60	0,52	0,54	0,66	0,60
3	0,40	0,60	0,58	0,57	0,76	0,57
4	0,45	0,63	0,58	0,61	0,62	0,71
5	0,44	0,62	0,57	0,74	0,77	0,54
6	0,45	0,65	0,56	0,52	0,66	0,52
7	0,53	0,60	0,62	0,45	0,76	0,51
8	0,63	0,58	0,66	0,58	0,67	0,66
9	0,66	0,55	0,60	0,72	0,75	0,52
10	0,73	0,57	0,60	0,59	0,60	0,70
11	0,68	0,54	0,61	0,57	0,70	0,53
12	0,73	0,46	0,66	0,58	0,54	0,67
13	0,66	0,56	0,66	0,75	0,64	0,55
14	0,62	0,57	0,74	0,64	0,40	0,53
15	0,49	0,55	0,66	0,60	0,42	0,30
16	0,37	0,58	0,67	0,60	0,33	0,50
17	0,41	0,59	0,65	0,74	0,54	0,43
18	0,49	0,62	0,69	0,63	0,64	0,51
19	0,53	0,65	0,64	0,59	0,79	0,53
20	0,57	0,58	0,45	0,64	0,65	0,59
21	0,52	0,58	0,38	0,73	0,66	0,46
22	0,47	0,53	0,33	0,61	0,63	0,54
23	0,45	0,53	0,43	0,60	0,78	0,43
24	0,41	0,53	0,48	0,64	0,66	0,49
25	0,46	0,61	0,70	0,77	0,78	0,40
26	0,53	0,63	0,64	0,63	0,67	0,49
27	0,60	0,65	0,59	0,62	0,76	0,54
28	0,61	0,68	0,68	0,67	0,60	0,57
29	0,49	0,65	0,53	0,81	0,58	0,52
30	0,54	0,66	0,50	0,67	0,59	0,56
31	0,39	0,57	0,49	0,60	0,73	0,64

Таблица 14

Дата измерений	Апрель 2008	Июнь 2008	Июль 2008
1	0,51	0,47	0,41
2	0,53	0,50	0,46
3	0,54	0,41	0,46
4	0,56	0,41	0,46
5	0,56	0,44	0,48
6	0,56	0,41	0,49
7	0,59	0,44	0,37

8	0,62	0,51	0,41
9	0,60	0,54	0,43
10	0,61	0,58	0,42
11	0,60	0,59	0,51
12	0,62	0,58	0,60
13	0,61	0,58	0,65
14	0,64	0,58	0,68
15	0,59	0,66	0,47
16	0,58	0,66	0,59
17	0,51	0,67	0,62
18	0,57	0,65	0,56
19	0,45	0,58	0,55
20	0,36	0,55	0,59
21	0,35	0,66	0,55
22	0,45	0,80	0,55
23	0,49	0,57	0,55
24	0,50	0,51	0,57
25	0,50	0,38	0,53
26	0,55	0,33	0,52
27	0,53	0,33	0,54
28	0,54	0,40	0,57
29	0,54	0,45	0,53
30	0,56	0,45	0,50
31	0,56	0,42	0,47

В бассейне спортивно-оздоровительного центра в г. Москве проводился учет количества людей в течение 8 часового рабочего дня, для последующего использования математической модели. План учета количества людей показан в таблицах 15 и 16.

Таблица 15

2007						
Дата	Количество человек в течение рабочего дня					
	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь
1	9	8	8	9	9	8
2	6	8	7	7	9	8
3	5	8	8	8	10	8
4	6	8	8	8	8	9
5	6	8	8	10	10	7
6	6	8	7	7	9	7
7	7	8	8	6	10	7

8	8	8	9	8	9	9
9	9	7	8	9	10	7
10	10	7	8	8	8	9
11	9	7	8	8	9	7
12	10	6	9	8	7	9
13	9	7	9	10	8	7
14	8	8	10	9	5	7
15	6	7	9	8	6	4
16	5	8	9	8	4	7
17	5	8	9	10	7	6
18	7	8	9	8	9	7
19	7	9	8	8	10	7
20	7	8	6	8	9	8
21	7	8	5	10	9	6
22	6	7	4	8	8	7
23	6	7	6	8	10	6
24	5	7	6	8	9	7
25	6	8	9	10	10	5
26	7	8	9	8	9	6
27	8	9	8	8	10	7
28	8	9	9	9	8	8
29	6	9	7	11	8	7
30	7	9	7	9	8	7
31		7	6		10	

Таблица 16

2008			
дни	Количество человек в течение рабочего дня		
	апрель	июнь	июль
1	7	6	5
2	7	7	6
3	7	5	6
4	7	5	6
5	7	6	6
6	7	5	6
7	8	6	5
8	8	7	5
9	8	7	6
10	8	8	6
11	8	8	7
12	8	8	8
13	8	8	9
14	8	8	9

15	8	9	6
16	8	9	8
17	7	9	8
18	8	9	7
19	6	8	7
20	5	7	8
21	5	9	7
22	6	11	7
23	6	7	7
24	7	7	8
25	7	5	7
26	7	4	7
27	7	4	7
28	7	5	8
29	7	6	7
30	7	6	7
31			6

Условно среднее значение мощности источника диоксида углерода (любой газовой вредности, поступающей в воздух помещения) можно рассчитать по формуле:

$$M_{cp} = L \times \Delta c, \quad (1)$$

где $L=f(\tau)$ – переменный во времени расход воздуха в помещении, зависящий от ВРЗ и ТРЗ, Δc – разность концентраций наружного и внутреннего воздуха г/м³.

Планирование эксперимента при численном моделировании изменения концентрации примеси в помещении бассейна представлен в таблицах 17 и 18.

таблица 17

Дата	Июнь 2007	Июль 2007	Август 2007	Сентябрь 2007	Октябрь 2007
1	0,63	0,543	0,541	0,66	0,612
2	0,51	0,626	0,544	0,562	0,693
3	0,44	0,665	0,65	0,63	0,847
4	0,48	0,671	0,619	0,656	0,669
5	0,47	0,671	0,618	0,806	0,839
6	0,48	0,7	0,602	0,553	0,704
7	0,53	0,598	0,615	0,445	0,76
8	0,59	0,548	0,619	0,541	0,687
9	0,63	0,519	0,573	0,679	0,709

10	0,66	0,511	0,539	0,546	0,541
11	0,63	0,497	0,561	0,528	0,65
12	0,67	0,415	0,6	0,532	0,58
13	0,63	0,535	0,637	0,724	0,615
14	0,58	0,532	0,687	0,597	0,32
15	0,51	0,575	0,687	0,624	0,437
16	0,44	0,603	0,74	0,708	0,389
17	0,46	0,616	0,725	0,832	0,601
18	0,51	0,639	0,686	0,652	0,668
19	0,53	0,651	0,643	0,588	0,788
20	0,56	0,578	0,473	0,636	0,58
21	0,53	0,595	0,415	0,741	0,56
22	0,49	0,556	0,368	0,641	0,545
23	0,49	0,575	0,469	0,654	0,842
24	0,44	0,578	0,555	0,687	0,718
25	0,48	0,627	0,724	0,794	0,804
26	0,53	0,637	0,647	0,634	0,676
27	0,58	0,633	0,578	0,607	0,733
28	0,59	0,654	0,655	0,643	0,572
29	0,51	0,624	0,555	0,849	0,611
30	0,53	0,652	0,495	0,66	0,585
31		0,639	0,552		0,821

Таблица 18

Дата	Ноябрь 2007	Апрель 2008	Июнь 2008	Июль 2008
1	0,572	0,53	0,437	0,382
2	0,625	0,555	0,52	0,48
3	0,635	0,565	0,456	0,516
4	0,761	0,586	0,439	0,492
5	0,591	0,61	0,477	0,519
6	0,559	0,595	0,435	0,525
7	0,511	0,586	0,433	0,366
8	0,622	0,582	0,481	0,387
9	0,496	0,568	0,508	0,41
10	0,63	0,62	0,529	0,377
11	0,492	0,557	0,548	0,469
12	0,613	0,569	0,528	0,546
13	0,528	0,589	0,561	0,628
14	0,492	0,591	0,541	0,651
15	0,386	0,62	0,694	0,492
16	0,593	0,606	0,686	0,631
17	0,478	0,574	0,725	0,67
18	0,523	0,593	0,676	0,584

19	0,536	0,45	0,582	0,554
20	0,583	0,4	0,544	0,58
21	0,473	0,382	0,67	0,563
22	0,57	0,474	0,744	0,566
23	0,468	0,527	0,613	0,588
24	0,533	0,544	0,549	0,608
25	0,414	0,519	0,389	0,553
26	0,491	0,55	0,33	0,525
27	0,526	0,51	0,322	0,522
28	0,543	0,518	0,385	0,547
29	0,544	0,564	0,469	0,556
30	0,551	0,548	0,445	0,492
31				0,526

Приложение Б. Список опубликованных научных работ А.Г. Рымарова

Научные статьи, опубликованные 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

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 теплотерь 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 воздухопроводов 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

1. 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
2. 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

3. Rymarov, A. Energy saving in the formation of covered courtyards / A. Rymarov // E3S Web of Conferences. – 2019. – 100. – 00072. DOI: 10.1051/e3sconf/201910000072
4. 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
5. 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
6. 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
7. 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.
8. 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>

Научные статьи А.Г. Рымарова

1. 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.

2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Рымаров, А.Г. Газовый режим бассейна / А.Г. Рымаров // Сантехника, отопление, кондиционирование. С.О.К. – 2011. – №7. – С. 70-71.
8. Рымаров, А.Г. Исследование эффективности утеплителя при нестационарной теплопередаче / А.Г. Рымаров // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2001. – №6. – С. 14 - 15.
9. 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.
10. 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.

11. Рымаров, А.Г. Влияние выбросов на изменение концентрации вредных примесей / А.Г. Рымаров // Водоснабжение и санитарная техника. – 1994. – № 3. – С. 20 - 21.
12. 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.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

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

Патенты на полезную модель

1. 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.
2. Рымаров А.Г., Смирнов В.В., Агафонова В.В. Персонализированное воздухораспределительное устройство / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов, В.В.

- 300 -

Агафонова Патент на полезную модель RU 156974 U1, 20.11.2015. Заявка № 2015119343/12 от 22.05.2015.

Приложение В. Информация о государственной регистрации программ для ЭВМ, полученных А.Г. Рымаровым в ходе проведения исследований

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU 2016614749

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): 2016614749	Авторы: Рымаров Андрей Георгиевич (RU)
Дата регистрации: 04.05.2016	Правообладатель: Рымаров Андрей Георгиевич (RU)
Номер и дата поступления заявки: 2016612431 16.03.2016	
Дата публикации: <u>20.06.2016</u>	

Название программы для ЭВМ:

Расчет воздушно-теплового режима семнадцатизэтажного жилого здания

Реферат:

Программа предназначена для расчета, изменяющегося во времени воздушно-теплового режима семнадцатизэтажного этажного жилого здания с учетом изменяющихся во времени в течение года внутренних и внешних воздействий. Изменение параметров микроклимата в помещении здания носит нестационарный характер, что связано с изменяющимися во времени в течение суток, сезона и года параметров наружного климата с учетом теплопоступлений от солнечной радиации и внутренних теплопоступлений. Анализ и прогнозирование параметров микроклимата проводится с использованием разработанной программы, что позволяет проводить исследование работоспособности энергосберегающих мероприятий для повышения энергетической эффективности здания.

Тип реализующей ЭВМ: IBM PC - совмест. ПК

Язык программирования: Fortran 2003 (2004) Force 2.0

Вид и версия операционной системы: Windows NT/2000/Vista/7/8

Объем программы для ЭВМ: 52 Кб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU 2016616093

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2016616093

Дата регистрации: 06.06.2016

Номер и дата поступления заявки:
2016614227 18.04.2016

Дата публикации: [20.07.2016](#)

Авторы:

**Рымаров Андрей Георгиевич (RU),
Маркелов Андрей Олегович (RU)**

Правообладатель:

**Рымаров Андрей Георгиевич (RU),
Маркелов Андрей Олегович (RU)**

Название программы для ЭВМ:

Расчет относительной влажности воздуха в помещении бассейна

Реферат:

Программа предназначена для расчета относительной влажности воздуха в помещении бассейна с учетом расхода приточного воздуха, количества испаряющейся воды с водной глади бассейна, температуры воды, наружного и внутреннего воздуха, относительной влажности наружного воздуха. Помещение бассейна характеризуется большим количеством испаряющейся воды с глади водной поверхности, что определяет производительность механической системы вентиляции и состояние относительной влажности воздуха. Анализ относительной влажности в помещении бассейна можно проводить с применением данной программы. Реализация алгоритма позволяет сократить время на анализ состояния параметров микроклимата в помещении бассейна.

Тип реализующей ЭВМ: IBM PC - совмест. ПК

Язык программирования: C++

Вид и версия операционной системы: Windows NT/2000/Vista/7/8

Объем программы для ЭВМ: 25 Кб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU 2016614931

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2016614931

Дата регистрации: 12.05.2016

Номер и дата поступления заявки:
2016612398 16.03.2016

Дата публикации: 20.06.2016

Авторы:

Рымаров Андрей Георгиевич (RU),
Титков Дмитрий Геннадьевич (RU)

Правообладатели:

Рымаров Андрей Георгиевич (RU),
Титков Дмитрий Геннадьевич (RU)

Название программы для ЭВМ:

Расчет воздушно-теплового режима подземного коллектора для инженерных коммуникаций

Реферат:

Программное обеспечение предназначено для расчета, изменяющегося во времени воздушно-теплового режима подземного коллектора для инженерных коммуникаций с учетом изменяющейся во времени в течение года температуры наружного воздуха. Коллектор представляет собой массивное сооружение окруженное грунтом, в котором изменяются во времени параметры микроклимата, анализ которых можно проводить с применением данной программы. Анализ и прогнозирование параметров микроклимата проводится на трехмерной модели коллектора и окружающего грунта при движущемся воздухе на участке 250 м между приточной и вытяжной шахтами. Реализация алгоритма позволило сократить время на анализ перспективного состояния параметров микроклимата.

Тип реализующей ЭВМ: IBM PC - совместимая

Язык программирования: Fortran 2003 (2004) Force 2.0

Вид и версия операционной системы: Windows NT/2000/Vista/ Windows 7/ Windows 8.

Объем программы для ЭВМ: 21 Кб

**Приложение Г. Информация о патентах на полезную модель, полученных
А.Г. Рымаровым в ходе проведения исследований**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 123121

**РЕГЕНЕРАТИВНАЯ СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦИИ В
ПОМЕЩЕНИЯХ АДМИНИСТРАТИВНОГО
(ОБЩЕСТВЕННОГО) ЗДАНИЯ СОВМЕСТНОГО С
"ЗИМНИМ САДОМ"**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный строительный университет" (МГСУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012130483

Приоритет полезной модели 18 июля 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 20 декабря 2012 г.

Срок действия патента истекает 18 июля 2022 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 156974

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЕ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

Патентообладатель(ли): *Рымаров Андрей Георгиевич (RU),
Смирнов Владимир Викторович (RU), Агафонова Вера
Валерьевна (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

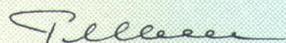
Заявка № 2015119343

Приоритет полезной модели 22 мая 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 26 октября 2015 г.

Срок действия патента истекает 22 мая 2025 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



Приложение Д. Акты о внедрении научных и практических результатов диссертации



ООО «ВеерВент»

ИНН/КПП 7733641600/773301001, 125476, г. Москва, ул. Василия Петушкова, д.3

р/с 40702810438170011190 в Сбербанк России

(Т/АО) г. Москва, к/с 3010181040000000225, БИК 044525225

сайт: <http://www.veervent.ru/> e-mail: info@veervent.ru

тел./факс: (495) 787-91-05 (многоканальный)

АКТ от 28.09.2021г.

О внедрении научных и практических результатов диссертации на тему «Разработка научной концепции формирования микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем» кандидата технических наук, доцента Рымарова Андрея Георгиевича

Результаты диссертации кандидата технических наук Рымарова Андрея Георгиевича, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук успешно используются при работе с объектами различного назначения для анализа воздушного, теплового, влажностного и газового режимов, а в частности следующие результаты научных исследований:

1. физико-математическая модель теплового режима здания,
2. физико-математическая модель воздушного режима здания,
3. физико-математическая модель газового режима здания,
4. физико-математическая модель влажностного режима,
5. комплексная модель параметров микроклимата в части изменения воздушного, теплового, газового и влажностного режимов здания в суточном, сезонном и годовом перспективном периоде;
6. метод моделирования и анализа динамики тепломассообменных режимов здания с учетом возмущающих воздействий;

Сложности понимания изменений параметров микроклимата зданий разного периода возведения требуют усиления внимания и контроля при проектировании инженерных систем обеспечения микроклимата и качества воздушной среды. Проведенная кандидатом технических наук Рымаровым А.Г. работа в рамках диссертационного исследования дает возможность улучшить качество проектирования инженерных систем, формирующих параметры микроклимата и качество воздушной среды.

Генеральный директор



Журавлев Д.В.



ПСО ИНЖИНИРИНГ

Исх: № 17 от 27 сентября 2021 г.

АКТ

О внедрении научных и практических результатов диссертации на тему «Разработка научной концепции формирования микроклимата и качества воздушной среды при совместной и комплексной работе инженерных систем» кандидата технических наук, доцента Рымарова Андрея Георгиевича

Результаты диссертации кандидата технических наук Рымарова Андрея Георгиевича, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук успешно используются при новом строительстве, а также на стадии предпроектных изысканий, а в частности следующие результаты научных исследований:

1. комплексная модель параметров микроклимата в части изменения воздушного, теплового, газового и влажностного режимов здания в суточном, сезонном и годовом перспективном периоде;
2. метод моделирования и анализа динамики тепломассообменных режимов здания с учетом возмущающих воздействий;
3. комбинаторная комплексная модель микроклимата здания;
4. метод синтеза и анализа проектных решений формирования и управления микроклиматом;

Разработанные кандидатом технических наук Рымаровым А.Г. математические модели тепломассообменных режимов здания позволяют анализировать проектные решения и принимать меры по улучшению качества проектирования инженерных систем, формирующих параметры микроклимата зданий и сооружений.

Руководитель проектного отдела
ООО «ПСО Инжиниринг»



/А.А. Шевченко/