

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА»

На правах рукописи



МАЛЬЦЕВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ  
ВАРЬИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРАХ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА**

Специальность 05.23.01- Строительные конструкции, здания и сооружения

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Береговой Александр Маркович

Пенза 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1.СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ.....	12
1.1.Концептуальные направления и нормирование энергосбережения при строительстве и эксплуатации зданий.....	13
1.2.Повышение энергосберегающей функции наружных ограждающих конструкций зданий.....	17
1.3.Разработка строительных материалов для эффективной теплозащиты зданий.....	23
1.4.Моделирование и разработка методов решения задач при проектировании энергосберегающих наружных ограждений .....	29
1.5. Современный подход к проектированию системы естественной вентиляции в единой энергетической и экологической системе здания.....	35
1.6.Выводы из обзора литературы.....	39
ГЛАВА 2.НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КАЧЕСТВ ОГРАЖДАЮЩИХКОНСТРУКЦИЙ, СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ И МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ КВАРТИР МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ.....	41
2.1.Измерения параметров и использованные электронные приборы для определения теплозащитных качеств ограждающих конструкций, показателей микроклимата помещений.....	41
2.2.Ход проведения и результаты натуральных исследований.....	43
2.2.1.Натурное исследование здания, расположенного по адресу ул.Тернопольская,7 в г.Пенза.....	44
2.2.2.Выводы по результатам натурального исследования.....	48
2.2.3.Натурное исследование двух 10-этажных домов по сериям 90 и 101 и	

5-этажного дома по серии 101 в г.Пенза.....	50
2.2.4.Выводы по результатам натурного исследования.....	54
2.2.5.Исследование взаимосвязи естественной вентиляции с микроклиматом помещений многоэтажного жилого здания как единой энергетической и экологической системы.....	55
2.2.6.Выводы по результатам натурного исследования.....	61
2.2.7.Анализ климатограмм для Пензенского и других регионов 2-го климатического района .....	62
<b>ГЛАВА 3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УВЛАЖНЕНИЯ И ПРОМЕРЗАНИЯ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПРИМЕНЯЕМОГО МАТЕРИАЛА.....</b>	<b>70</b>
3.1.Постановка задачи исследования.....	70
3.2.Теоретическое исследование и методика оценки тепловых потерь через наружное ограждение с увлажнёнными конструктивными слоями при фазовых переходах влаги.....	71
3.3.Определение теплоэнергетических параметров увлажнённого и промерзшего слоёв конструкции по этапам исследования в численном эксперименте.....	74
3.4.Выводы по результатам исследования.....	92
<b>ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКОНОМАЙЗЕРНОГО ЭФФЕКТА В НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ.....</b>	<b>93</b>
4.1.Постановка задачи исследования.....	93
4.2.Теоретическое исследование и методика оценки энергосбережения при экономайзерном эффекте.....	95
4.3.Определение уровня энергосбережения, возникающего при экономайзерном эффекте, в численном эксперименте .....	98

4.4.Основные закономерности, выявленные в ходе исследования экономайзерного эффекта.....	102
4.5.Выводы по результатам исследования.....	113
ГЛАВА 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ С ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ.....	
5.1. Постановка задачи исследования.....	114
5.2. Методика оценки энергосберегающего эффекта при утилизации части теплового потока наружным ограждением, имеющим вентилируемую прослойку в своей конструкции.....	115
5.3.Определение энергосберегающего эффекта в численном эксперименте.....	117
5.4.Выводы по результатам исследования.....	122
6.ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	123
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.....	133
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	138
Приложения.....	156

## ВВЕДЕНИЕ

Конец XX и начало XXI века характеризуются постоянным ростом цен на нефть, природный газ и электроэнергию, что связано с исчерпанием запасов традиционных источников энергии и что послужило естественным толчком для рационального использования энергоресурсов, для поиска решений, ведущих к их экономии.

Научно-техническая и промышленная революции прошлого столетия привели к созданию огромного количества предприятий и различных форм производства, для работы которых необходимы миллионы тонн условного топлива. При этом следует учитывать постоянный рост объектов производства, а следовательно и потребляемой энергии. С одной стороны, строительство объектов какой-либо индустрии на территории государства ведёт к обеспечению населения рабочими местами и к росту экономики в целом. С другой стороны, появляется новый источник энергопотребления. Связь между ВВП страны и энергоёмкостью производства на примере Российской Федерации проанализирована И.А. Башмаковым, исполнительным директором Центра по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ)[6].

В конце 2010 года Правительство утвердило «Государственную программу Российской Федерации энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года». Данная программа нацелена на обеспечение за счёт реализации включенных в неё мероприятий снижения энергоёмкости ВВП на 13,5% к 2021 году и на обеспечение годовой экономии первичной энергии в объёме не менее 100 млн т у.т. к 2016 году и 195 млн т у.т. к 2021 году. Главная задача разработчиков программы - отход от концепции прямого финансирования проектов, но при этом нацеленность на стимулирование софинансирования их выполнения[6].

В последние годы в России уделяется всё больше внимания вопросу экономии энергоресурсов. Несмотря на отдельные успехи в некоторых отраслях

промышленности, в целом мы существенно отстаём в этом от достижений стран Запада и Америки. Согласно [48], расход электрической энергии на 1 доллар валового продукта составляет на мировом рынке 0,46 кВт·ч, в США – 0,52 кВт·ч, в России же – 4,7 кВт·ч. Доля энергии в структуре и себестоимости валового продукта составляет около 50%, тогда как в промышленно развитых странах она меньше 5%. Нерациональное использование энергоресурсов наносит ежегодно ущерб в размере 40 млрд.у.е.

Серьёзных продвижений и результатов по данному вопросу в области строительства можно добиться активной пропагандой, агитацией и внедрением в массы идеи экономии ресурсов и разумного использования природных ископаемых, а также путём проведения широкого фронта исследований по повышению энергоэффективности зданий и их ограждающих конструкций. Затраты на подобные мероприятия малы по сравнению с прогнозируемой экономией.

Действительно, строительство выделяется среди основных энергоёмких отраслей экономики страны. Из общего энергопотребления данной отраслью 90% расходуется при эксплуатации зданий. Наибольшим энергопотреблением характеризуются жилые здания – 50-55%, несколько меньшим – 35-45% - промышленные здания, а на долю гражданских зданий приходится около 10% [33].

В целом, для теплоснабжения гражданских зданий требуется до 30% добываемого в нашей стране твёрдого и газообразного топлива. Потенциал энергосбережения в России составляет 40-45% современного энергопотребления в стране, что находится в пределах 360-430 млн т.у.т. Свыше трети этого потенциала сосредоточена в жилищно-коммунальном хозяйстве, а в строительстве и промышленности – свыше одной трети [148].

**Цель работы:** повышение теплозащитных качеств наружных ограждающих конструкций путём совершенствования методик расчета параметров теплопереноса.

**Задачи исследования:**

1. Провести натурные исследования состояния тепловой защиты ограждающих конструкций, особенностей их конструктивных решений, влияющих на теплофизические показатели теплопереноса.

2. Выполнить анализ воздействия климатических факторов на температурно-влажностные характеристики и воздухопроницаемость наружных ограждений, а также дать оценку теплофизическим свойствам новых строительных материалов, разработанных в Пензенском ГУАС для региональных условий Среднего Поволжья.

3. Выполнить теоретическое исследование процессов влагопереноса и воздухопроницания через наружное ограждение, влияющих на здание как на единую энергетическую и экологическую систему.

4. Разработать методику оценки тепловых потерь через наружное ограждение с увлажнёнными конструктивными слоями при фазовых переходах влаги.

5. Разработать методику оптимизации процесса инфильтрации воздуха через ограждающую конструкцию с целью экономии тепловых потерь при регулировании воздухообмена в помещениях.

6. Развить существующие способы утилизации тепла уходящего воздуха посредством устройства вентилируемой воздушной прослойки в конструкции ограждения.

7. Создать программные продукты, основанные на разработанных расчётных моделях по регулированию параметров теплопереноса с целью получения эффекта энергосбережения.

**Объект исследования:** наружные ограждающие конструкции жилых зданий.

**Предмет исследования:** процессы теплопереноса, обеспечивающие повышение тепловой эффективности наружных ограждающих конструкций и требуемые условия микроклимата помещений.

**Методы исследования включали:** натурные исследования тепловой защиты зданий (выявление и анализ повреждений тепловой защиты ограждающих

конструкций и инженерных систем, измерение параметров микроклимата помещений), физико-математическое моделирование и численные эксперименты процессов тепломассопереноса через наружные ограждающие конструкции (теплопередача, воздухо- и влагопередача).

**Научная новизна:**

-получены расчётные зависимости сопротивления теплопередаче увлажнённого слоя наружных ограждений, находящегося в зоне отрицательных температур, и теплотеря через эти конструкции от объёмной влажности и плотности материала;

-усовершенствована методика определения коэффициента теплопроводности материала этого конструктивного слоя при фазовых переходах влаги;

-уточнены закономерности экономайзерного эффекта в наружной ограждающей конструкции;

-разработана методика энергосбережения на основе оптимизации процесса инфильтрации воздуха в холодный период года с учётом экономайзерного эффекта;

-разработана методика энергосбережения для одного из способов утилизации тепла наружным ограждением с вентилируемой воздушной прослойкой.

**Теоретическая и практическая значимость работы:**

-получены фактические теплозащитные характеристики наружных ограждений многоэтажных жилых зданий г.Пензы и параметры микроклимата помещений, послужившие основой для разработки методик энергосбережения;

-разработаны программные продукты для ЭВМ по расчёту и нахождению оптимальных параметров массопереноса через наружное ограждение, которые позволяют получить энергосберегающий эффект;

-разработана методика определения теплотеря через наружное ограждение, учитывающая увеличение коэффициента теплопроводности увлажнённого слоя, находящегося в зоне отрицательных температур;

-разработана методика энергосбережения и оптимизации процесса



инфильтрации воздуха в холодный период года на основе экономайзерного эффекта;

-разработан методика определения количества утилизируемого тепла для варианта конструктивного решения наружной стены с вентилируемой воздушной прослойкой;

-выявлены возможности совершенствования существующих методик повышения энергосберегающей функции наружных ограждений, основанные на учёте специфики протекания физических процессов массопереноса через толщу ограждений в конкретных условиях эксплуатации зданий.

**Результаты исследований использованы** при строительстве, реконструкции и повышении тепловой защиты жилых зданий г.Пензы, проводимых МУП «Пензгорстройзаказчик», в конструктивных решениях наружных ограждений и инженерных систем, проектируемых ОАО «Приволжское КБ по архитектурно-строительным системам и новым технологиям им. А.А. Якушева», ОАО «Гражданпроект», в технологии изготовления изделий тепловой защиты строительной фирмы «ПБ Композит» г.Пензы.

Разработанные методики энергосбережения и программные продукты для ЭВМ внедрены в учебный процесс при подготовке курсов лекций и практических занятий, в курсовом проектировании инженеров и бакалавров по направлению «Строительство».

**Достоверность результатов**, полученных при проведении натуральных и лабораторных исследований, вычислительных экспериментов обеспечивалась использованием современных методов и средств измерений, аппаратов математического моделирования и обоснована применением классических положений теории тепломассопереноса.

**На защиту выносятся:**

1.Результаты исследования уровня тепловой защиты эксплуатируемых жилых зданий и измерений параметров микроклимата помещений эксплуатируемых жилых зданий в г.Пенза.

2.Методика оценки тепловых потерь через наружное ограждение с увлажнёнными конструктивными слоями при фазовых переходах влаги.

3.Методика оптимизации процесса инфильтрации воздуха через ограждающую конструкцию с целью экономии тепловых потерь в процессе регулирования воздухообмена в помещениях.

4.Закономерности, возникающие при экономайзерном эффекте.

5.Оценка энергосберегающего эффекта в способе утилизации тепла наружным ограждением с вентилируемой воздушной прослойкой.

6. Программные продукты, основанные на разработанных методиках.

**Апробация работы:** основные результаты исследования докладывались и обсуждались на:

-международной научно-практической конференции «Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах» (Пенза, 2009);

-международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы проектирования и возведения зданий и сооружений с учётом энергосберегающих технологий и современных методов строительства» (Пенза, 2011);

-международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы проектирования и возведения зданий и сооружений с учётом энергосберегающих технологий и методов строительства» (Пенза, 2012);

-международной научно-технической конференции «Энергоэффективность, энергосбережение и экология в городском строительстве и хозяйстве» (Пенза,2013);

-международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современного строительства» (Пенза,2013);

-международной научно-технической конференции «Безопасность и эффективность строительных конструкций» (Пенза,2013);

-региональном молодёжном форуме «Открытые инновации - вклад молодёжи в развитие региона» (Пенза,2013).

Результаты научной работы автора выставлялись на XIV межрегиональной специализированной выставке «Строительство. Ремонт. Коммунальное хозяйство» (Пенза,2011) в виде проекта «Энергоэффективные здания для

региональных условий» и были награждены дипломом оргкомитета выставки.

По результатам исследования опубликовано 19 научных статей, в том числе 8 в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов по результатам исследований, списка литературы из 172 наименований. Объём диссертации составляет 155 страниц, содержит 59 рисунков, 11 таблиц. Имеет 7 приложений, изложенных на 18 страницах.

## ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

В данной главе анализируются результаты исследований по следующим проблемам:

- создание энергоэффективных ограждающих конструкций;
- создание инновационных теплоизоляционных материалов;
- моделирование и разработка методов решения задач при проектировании энергосберегающих наружных ограждений.

С начала нефтяного кризиса 1973 года ужесточились требования к экономии энергии. Щадящее расходование энергии и уменьшение выбросов CO<sub>2</sub> стало важным пунктом политики ведущих стран мира[22]. Как следствие, в различных отраслях экономики западных стран, в том числе строительстве, началось движение в сторону ресурсосберегающих технологий. Политика СССР в этом вопросе была сконцентрирована на других аспектах. До конца 70-х годов в СССР, как отмечается в работе [76], основное внимание уделялось минимизации стоимости строительства, т.е. капитальных затрат. Эксплуатационные расходы не подвергались тщательному анализу. Такому подходу способствовало дешевое топливо, централизованное отопление в городах. При этом основными критериями развития нормативной базы проектирования жилых зданий выступали вопросы гигиены, безопасности и экономии строительных материалов. Однако, после перехода страны к рыночной экономике в 1990-х гг. и повышения цен на топливо и электроэнергию резко возросли объёмы используемых ресурсов для поддержания нормативных параметров в жилых помещениях.

## 1.1. Концептуальные направления и нормирование энергосбережения при строительстве и эксплуатации зданий

Формирование государственной политики в области энергосбережения началось с постановления Правительства Российской Федерации «О неотложных мерах по энергосбережению в области добычи, производства, транспортировки и использования нефти, газа и нефтепродуктов» (01.06.92 г). В том же году Правительством была одобрена Концепция энергетической политики России.

В 1994-1996 гг. были созданы и введены в действие принципиальные изменения в СНиП II-3-79\* «Строительная теплотехника». Изменения установили более высокий уровень теплозащиты зданий – снижение удельных расходов тепловой энергии в период с 1995 по 2000 гг. на 20% и с 2000 г. на 40%(по сравнению с 1995г.). В 1998 г. в СНиП внесли изменения, связанные с внедрение энергоэффективных оконных конструкций. В последующие годы был принят ряд постановлений Правительства, Федеральных целевых программ по основным направлениям энергетической политики, которые предусматривали поэтапное снижение энергоёмкости ВВП, переход на приборный учёт потребления энергоресурсов, создание правовой базы в области энергосбережения.

К важным документам по рассматриваемому вопросу следует отнести «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года», утверждённые распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 января 2009 г. N 1-р[89]. В соответствии с эти документом устанавливаются следующие значения целевых показателей объема производства и потребления электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии (кроме гидроэлектростанций установленной мощностью более 25 МВт):

в 2010 году - 1,5 процента;

в 2015 году - 2,5 процента;

в 2020 году - 4,5 процента.

23 октября 2009 г. Президентом РФ подписан Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»[87]. Данный документ является основой политики страны в области энергосбережения во всех отраслях экономики, в том числе и в строительстве.

25 января 2011 г. принято постановление Правительства РФ №18 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений и сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов». В п.15 Правил указано: «После установления базового уровня требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений требования энергетической эффективности должны предусматривать уменьшение показателей, характеризующих годовую удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, строении, сооружении, не реже 1 раза в 5 лет:

-с января 2011 года (на период 2011-2015 годов)- не менее чем на 15% по отношению к базовому уровню;

- с 1 января 2016 года (на период 2016-2020 годов)- не менее чем на 30% по отношению к базовому уровню;

- с 1 января 2020 года - не менее чем на 40% по отношению к базовому уровню».

К важным моментам Правил следует отнести:

- в качестве показателя энергетической эффективности принимается удельная годовая величина расхода энергетических ресурсов в здании;

-расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию выделен отдельной строкой, т.к. на стадии проектирования здания это наиболее предсказуемое теплопотребление;

-постановление даёт возможность органам исполнительной власти

субъектов РФ принимать более жёсткие меры для повышения энергетической эффективности;

- в гарантийных обязательствах по вводимому в эксплуатацию зданию во всех случаях предусматривается обязанность застройщика по обязательному подтверждению нормируемых энергетических показателей как при вводе дома в эксплуатацию, так и по последующему подтверждению не реже чем 1 раз в 5 лет[71].

Неотъемлемой частью вопроса об энергоэффективности являются нормативные документы, регламентирующие методы расчёта и допустимые величины основных параметров. Рассмотрение данных документов позволит выявить наиболее актуальные вопросы, а также выявить методики, корректировка которых на основе последних исследований может привести к более точной оценке энергоэффективности ограждающих конструкций.

Основным документом при проектировании тепловой защиты строящихся или реконструируемых жилых, общественных, производственных, с/х и складских зданий общей площадью более 50 м<sup>2</sup>, является СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003»[126], утверждённый приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. №265. Следует отметить принципиальные отличия актуализированной версии от предыдущей. Оценка эффективности производится по совершенно новому показателю - удельной теплозащитной характеристике здания  $k_{об}$ , измеряемой в Вт/(м<sup>3</sup> °С). В [120] основным показателем был удельный расход тепловой энергии на отопление здания  $q_h^{des}$ , измеряемый в кДж/(м<sup>2</sup>·°С·сут) или кДж/(м<sup>3</sup>·°С·сут). Введены "региональные" понижающие коэффициенты к величине  $R_{треб}$ . Количество классов энергоэффективности увеличилось до 10. Расчёт приведённого сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или любой выделенной ограждающей конструкции основан на представлении фрагмента в виде набора независимых элементов, каждый из которых влияет на тепловые потери через фрагмент; удельные потери теплоты,

обусловленные каждым элементом, находятся на основе сравнения потока теплоты через узел, содержащий элемент, и через тот же узел, но без исследуемого элемента.

Для отдельных регионов России составляются территориальные строительные нормы и правила по энергосбережению, учитывающие потенциал местной сырьевой базы [75,124,156,157] и особенности природно-климатических условий конкретной территории.

Долгосрочные региональные программы в области энергосбережения, разработка которых обязательна, приняты в большинстве субъектов РФ. Правительством Москвы принято Постановление от 5 октября 2010 года № 900-ПП «О повышении энергетической эффективности жилых, социальных и общественно-деловых зданий в городе Москве», которое устанавливает более высокие требования к энергоэффективности зданий по сравнению с показателями, утверждёнными Правительством РФ №18 от 25 января 2011 г. Согласно постановлению № 900-ПП, к 2020 должно быть достигнуто снижение потребления энергии на отопление, горячее водоснабжение и т.д. на 60% к действующему на 1 июля 2010 года нормативу[34].

Наряду с большинством субъектов РФ, в Пензенской области разработана «Областная целевая программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности Пензенской области на 2010-2020 годы», которая была утверждена постановлением Правительства Пензенской области от 28.07.2010 за №431-пП [86]. Основной целью программы является снижение энергоемкости валового регионального продукта Пензенской области к 2020 году не менее чем на 40%. Реализация программы запланирована в 3 этапа: I этап – 2012 г., II этап – 2011-2012 гг., III этап – 2013-2020 гг. Среди подпрограмм следует отметить "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в жилищно-коммунальном комплексе"; "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в строительстве"; "Развитие возобновляемых источников энергии и альтернативных видов топлива". Одними из ожидаемых результатов реализации



программы являются:

- экономия энергетических ресурсов от внедрения энергосберегающих мероприятий в натуральном и стоимостном выражении - 1636 тыс. т у.т. (5,94 млрд. рублей);

- экономия тепловой энергии в натуральном и стоимостном выражении - 2208,8 тыс. Гкал (1,2 млрд. рублей);

В соответствии с внесёнными Правительством Пензенской области изменениями от 15 января 2013 г. [88], общий объем финансирования Программы составляет 35555,18863 млн. рублей.

## 1.2. Повышение энергосберегающей функции наружных ограждающих конструкций зданий

В отечественной и зарубежной практике проектирования и строительства используется достаточно широкий спектр наружных ограждающих конструкций повышенной тепловой эффективности. Необходимый уровень тепловой защиты глухих участков наружных ограждений устанавливается посредством увеличения термической однородности конструкций, применения высокоэффективных утеплителей, рационального размещения в массиве ограждения теплоаккумулирующих и теплоизоляционных слоев, оптимизации толщин последних. В методе комплексной оценки тепловой эффективности наружных стен [2,3,134], разработанном в начале 80-х годов, дан анализ тепловой эффективности слоистых, в том числе и однослойных, стеновых конструкций, позволивший установить зависимость между сопротивлением теплопередаче конструкции и суммарным расходом тепла. Этот метод показал нецелесообразность дальнейшего увеличения толщины наружного ограждения, поскольку при этом хотя и достигается незначительное снижение суммарного

расхода тепла за счет увеличения сопротивления теплопередаче ограждения, но зато возрастает расход тепла на изготовление материалов и производство конструкций.

В современной практике наружного утепления стен зданий широкое применение получили конструкции навесных фасадов с вентилируемым зазором и защитно-декоративной облицовкой из листовых или плитных материалов. Шойхетом Б.М. в [150] рассмотрено влияние конструктивных факторов, тепловых мостиков, воздухопроницаемости теплоизоляционных материалов и качества монтажа на энергоэффективность таких фасадов. Корниловым Т.А. [58] на основе натуральных обследований вентилируемых фасадов зданий в условиях сурового климата проведён анализ основных недостатков вентилируемых фасадных систем. Установлены наиболее характерные участки утечки тепла через стеновые ограждающие конструкции, определены фактические технические характеристики теплоизоляционных материалов вентилируемых фасадных систем.

Езерским В.А. и Монастырёвым П.В. в [39] установлено, что повышение тепловой защиты здания с использованием дорогих и долговечных материалов приводит в конечном счёте к экономии средств, превышающей в два раза капиталовложения, а в публикации [38] рассмотрено влияние параметров объёмно-планировочного решения на потребность в тепловой энергии на примере односекционного жилого дома повышенной этажности.

Куприяновым В.Н.[46] разработаны методы расчёта эксплуатационного тепловлажностного состояния материалов наружного утепления и облицовочных слоёв, основанные на взаимодействии климатических факторов и свойств ограждающих конструкций, а также приведены результаты натуральных исследований эксплуатационных воздействий на материалы фасадных систем с тонким слоем штукатурки.

В работе [64] представлен метод расчёта приведённого сопротивления теплопередаче неоднородной брусчатой стены с фасадным утеплением, проведена

оценка влияния внутреннего и внешнего утепления на теплозащитные свойства брусчатых стен с помощью разработанных аналитических зависимостей и математического моделирования. Установлено, что фасадное утепление уменьшает тепловые потери в 1,8 раза.

В публикации [62] рассмотрены проблемы оптимизации теплозащитных свойств ограждающих конструкций промышленных зданий и предложены пути сокращения тепловых потерь зданий, возводимых в условиях сурового климата. Проанализирована зависимость влажностного режима помещения и возможности конденсации влаги при температурах наружного воздуха  $0^{\circ}\text{C}$  и  $-39^{\circ}\text{C}$ . Выявлено, что в помещениях с повышенной влажностью необходимо производить проверочные расчёты при температуре наружного воздуха  $0^{\circ}\text{C}$ .

В работах [4,32,50,51] рассматривается вопрос о теплопереносе через стены подвальных помещений.

Исследования [43,44,45] посвящены изучению тепловых режимов неоднородных ограждающих конструкций. В [45] проведено исследование стационарного теплопереноса в зимнее время, экспериментально изучены тепловые режимы фрагмента наружной стены, получены значения температур и плотности теплового потока в характерных точках.

Совместный нестационарный тепло- и влагоперенос в ограждающих конструкциях зданий рассмотрен в [57]. В [40,41] исследован тепло- и влагоперенос в деревянной брусчатой стене при переменных значениях температуры и относительной влажности наружного воздуха.

В работах [115,116] описываются особенности охлаждения внутренней поверхности стены и наружного угла после отключения теплоснабжения.

Публикация [20] посвящена вопросам измерения удельных тепловых сопротивлений ограждающих конструкций в стационарном и нестационарном режимах.

Назировым Р.А. в [82] представлены результаты исследований температур на внутренней поверхности угловых частей ограждающих конструкций с

применением металлических элементов. Установлено, что применение алюминиевых пластин эффективно. Определены оптимальные геометрические размеры металлических пластин с точки зрения влияния на температуру внутренней поверхности углов ограждающих конструкций.

В работе [27], выполненной при поддержке РФФИ, предлагается инженерная формула для определения относительной избыточной температуры на внутренней поверхности угла, которая позволяет с учётом внутренней и наружной температур воздуха более точно определить температуру в углу ограждающей конструкции.

Локальные характеристики наружного конвективного теплообмена около стены здания рассматриваются в работе [77].

В работе [8] приведены результаты испытаний энергоактивной конструкции, располагаемой в процессе проектирования или реконструкции здания в нишах наружных ограждений или на части светопрозрачных ограждений.

Для расчёта теплопередачи ограждающих конструкций в [137] разработана программа «TEMPER-3D».

Калашниковым М.П.[49] на примере плодоовощехранилищ рассмотрены особенности теплотехнического расчёта наружных ограждающих конструкций в сооружениях подземного типа, рассматриваются три метода определения термического сопротивления: метод, изложенный в СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [120], метод В.И. Бодрова[23], метод Г.М. Позина[97].

Хуторным А.Н. [144] предложен способ повышения теплозащитных свойств монолитно возводимых керамзитобетонных наружных стен зданий путём устройства в них вертикальных теплоизоляционных вставок. Такое выполнение позволяет уменьшить массу стены на 20% и повысить термическое сопротивление конструкции на 30-50%. В [141] для улучшения теплозащиты брусчатых наружных стен предлагается изготавливать их из неоднородных брусьев с горизонтальными теплоизоляционными вставками. На основании теоретических и

экспериментальных исследований таких вставок в работе [145] разработана численная технология, которая позволяет прогнозировать тепловое состояние наружных керамзитобетонных и брусчатых стен с теплоизоляционными вставками в холодных климатических условиях.

Вопросы накопления влаги в многослойных конструкциях наружного ограждения здания, а также вопросы проектирования таких конструкций с целью обеспечения как теплозащитных качеств, так и нормального влажностного режима в зимний период эксплуатации рассмотрены в работе [95].

В работе [143] исследован нестационарный пространственный теплоперенос в неоднородном угловом фрагменте деревянной брусчатой стены здания, установлен характер распределения температурных полей.

Результаты вычисления дисконтированного срока окупаемости дополнительной теплоизоляции нестепрозрачных наружных ограждений приведены в [114].

В работе [28] рассмотрен процесс теплопередачи через наружный угол; показано, что появление точки росы в углу зависит не столько от температуры внутри помещения, сколько от влажности этой среды; приводится инженерная формула для вычисления требуемого сопротивления теплопередаче, которое гарантирует отсутствие конденсата на внутренней поверхности ограждения.

Кононовой М.С. в [56] исследовано влияние утепления различных наружных ограждающих конструкций на относительную годовую экономию энергоресурсов, необходимых для отопления зданий. Показана величина теплотребления зданий, имеющих различную этажность, геометрические характеристики и коэффициент остекленности.

К одной из перспективных зарубежных разработок, существенно повышающих теплотехнические свойства наружных ограждений, относится динамическая теплоизоляция глухих участков стен. Сущность предложенного разработчиками способа теплоизоляции основана на движении потока свежего наружного или теплого вентиляционного воздуха в толще стены параллельно ее

плоскости с выходом в атмосферу или помещение [152,159,171].

Специалистами Германии было подсчитано, что при рациональном решении теплоизоляции зданий мощность инженерного оборудования зданий можно сократить на 50% и более [164,169].

С середины 80-х годов за рубежом, а после 1995 г. и в нашей стране получили распространение способы наружной теплоизоляции стен в виде каркасного и бескаркасного крепления теплоизоляционного материала, с устройством декоративно-защитной штукатурки [153,154,155].

Ряд работ [10,19,138,139,160] посвящён оценке влияния степени увлажнения материала на их теплоэнергетические характеристики. В этих работах анализируются причины увлажнения материала в условиях эксплуатации, а также показано их влияние на долговечность конструкции.

Куприяновым В.Н. в [66] рассмотрены закономерности конденсации парообразной влаги при суточных колебаниях температуры наружного воздуха. Выявлено, что в зимний период действительную упругость водяного пара по сечению ограждения следует считать неизменной, а процесс конденсации определяется изменчивостью максимальной упругости водяного пара по сечению ограждения вследствие изменчивости температуры в тех же сечениях ограждения.

Богословским В.Н. [19] исследованы возможности по сокращению теплопоступлений через покрытие с вентилируемой воздушной прослойкой при нестационарном режиме теплопередачи. Выявлено, что теплопоступление через такое покрытие составляет 30-40% теплопоступления через покрытие без прослойки. Результаты данного исследования имеют потенциал для дальнейших разработок по созданию энергоэффективных ограждающих конструкций с вентилируемой воздушной прослойкой.

В исследованиях по повышению энергетической эффективности ограждающих конструкций интерес представляет так называемый экономайзерный эффект, возникающий в капиллярно-пористой структуре наружного ограждения. Как отмечается в [19], этот эффект возникает при

инфильтрации холодного воздуха через массив наружного ограждения. При прохождении через структуру конструкции, воздушные массы подогреваются тепловым потоком, движущимся из отапливаемого помещения. Таким образом, часть тепла утилизируется и возвращается в помещение. Результаты данного исследования свидетельствуют о возможности использования в ограждающих конструкциях материалов с повышенной воздухопроницаемостью, хотя в главном нормативном документе по тепловой защите зданий [126] отмечается, что значение поперечной воздухопроницаемости наружных стен и перекрытий жилых зданий не должно превышать  $0,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

### 1.3. Разработка строительных материалов для эффективной теплозащиты зданий

В связи с возрастающей дифференциацией темпов экономического развития регионов РФ и изменениями норм теплотехнического проектирования ограждающих конструкций (СНиП-II-3-79\*\*) стал расширяться объём исследований, направленных на создание эффективных строительных материалов, обеспечивающих теплозащиту зданий, установленную нормами.

В Пензенском государственном университете архитектуры и строительства проделана многолетняя работа по совершенствованию малоэнергоёмких местных материалов на основе неавтоклавного ячеистого бетона [91-93,100,102,104,105]. Работа [9] предоставляет результаты исследования теплофизических свойств материалов, разработанных в Пензенской области.

Ряд работ направлен на совершенствование теплотехнических показателей [102,103,162]. В [5,36,81,102,111,147] исследованы вопросы оптимизации состава и структуры материалов, что позволило разработать и

освоить технологию их производства. Последовала разработка энергоэкономичных и ресурсосберегающих решений зданий с использованием исследованных материалов [7,24,25,55,101,106,107,108,110,119,170].

В результате исследований, проведённых Береговым В.А, были разработаны составы, технология изготовления пенокерамобетона (ПКБ) и жидкостекольного композита на основе опоки [14,15,94]. Экспериментальные исследования теплофизических свойств новых теплоизоляционных материалов (пенокерамика, пеностекольный композит на основе опоки) проводились в научных лабораториях кафедры «Технология строительных материалов и деревообработки» Пензенского ГУАС под руководством д.т.н. Берегового В.А. В лабораторных исследованиях использовались современные электронные измерительные приборы и оборудование.

В результате лабораторных исследований пенокерамобетонов найдены значения их коэффициента теплопроводности, теплоёмкости и определены сорбционные свойства [14], что позволяет оценить их высокую степень энергоэффективности, сравнимую с пенополистиролом и минватой. На рис.1.1 представлены экспериментальные зависимости теплопроводности от влагосодержания для разработанных пенокерамобетонов (для плотностей: 1 – 600 кг/м<sup>3</sup>; 2 – 500 кг/м<sup>3</sup>; 3 – 400 кг/м<sup>3</sup>). Полученные пенокерамобетоны с плотностью 450...500 кг/м<sup>3</sup> имеют теплопроводность 0,095...0,110 Вт/м °С и теплоёмкость 0,79...0,81 Дж/(кг °С). В таблице 1.1 приведены показатели свойств существующих аналогов и разработанных материалов.



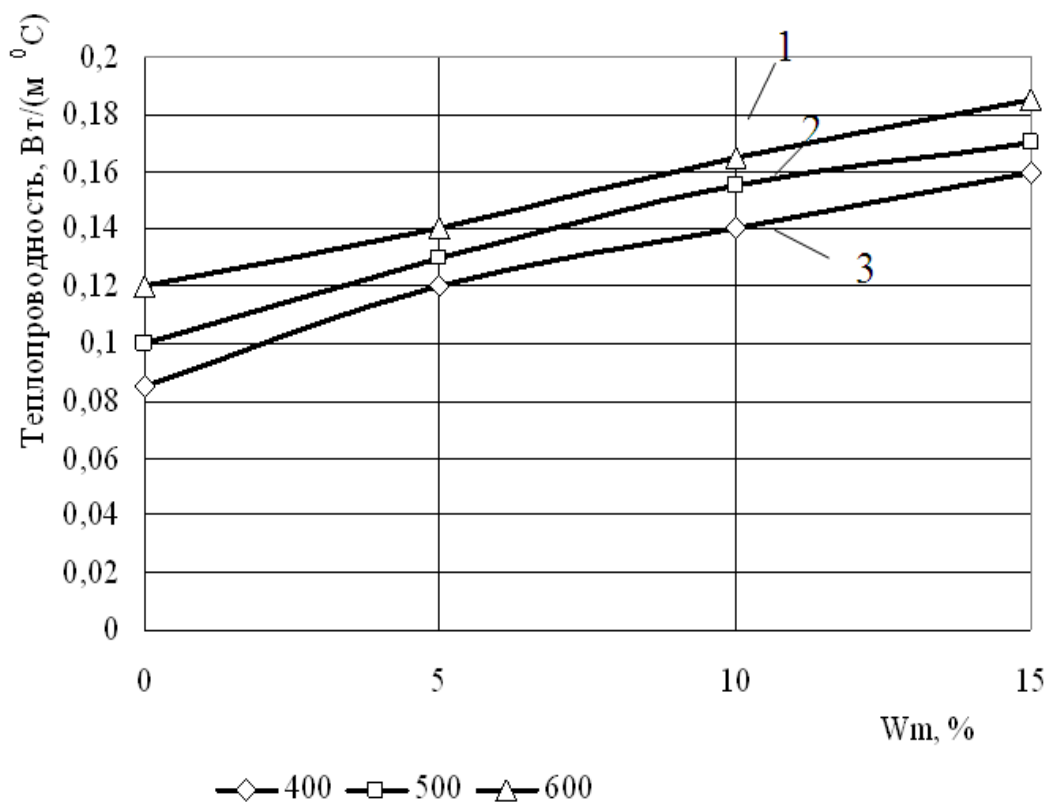


Рис.1.1. Экспериментальные зависимости теплопроводности от влагосодержания пенокерамобетона

Таблица 1.1

Показатели свойств существующих аналогов и разработанных материалов

Наименование показателя	Промышленные аналоги		Разработанный материал
	ШЛ-04	ПД-400	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	400	351..400	350...400
Сорбционное увлажнение, % (φ=97%)	НН	5...7	2...5
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,1...0,12	0,1...0,12	0,09...0,11
Стоимость, руб/м <sup>3</sup>	от 7800	от 8500	3300

Анализ результатов исследования свойств пеногазостекла [13] показывает, что данный материал имеет лучшие показатели теплопроводности и водопоглощения по сравнению с широко используемым в настоящее время насыпным материалом - керамзитовым гравием. Примеры составов стеклогранулята и их свойства представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

## Примеры составов стеклогранулята

№ состава	Компонент	Содержание, %	Температура образования расплава, °С	Свойства пеностекла		
				$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/(м·°С)	$W_m$ , %
1	опока	60	950	430	0,09	6,33
	доломит	15				
	сода	25				
2	опока	65	930	270	0,07	3,54
	добавки	10				
	сода	25				

В [54] рассмотрен теплоизоляционный зернистый материал на основе жидкого стекла, модифицированного хлоридом натрия.

В [109] получен теплоизоляционный материал на основе пеностекла с эмалевой поверхностью на лицевой стороне, что позволяет сократить расходы на дополнительную защиту от атмосферных воздействий и декоративную отделку. Коэффициент теплопроводности данного материала находится в пределах 0,07-0,09 Вт/м °С.

В работе [37] рассматриваются особенности использования жидкостекольных композиций для изготовления теплоизоляционных материалов, так как пористые материалы на основе вспученного жидкого стекла охватывает широкий спектр материалов.

Работа [74] посвящена теплоэффективным материалам на основе пеностекольных композиций. Использование модификаторов в пеностекольной дисперсионной среде обеспечивает создание теплоэффективных композиционных

материалов на основе местного минерального сырья техногенного происхождения с коэффициентом теплопроводности 0,07-0,12 Вт/м °С.

В [61] предложен расчёт эффективной теплопроводности пенобетона на стадии проектирования с учётом объёма пор и содержания минералов.

В публикации [133] рассмотрен вариант получения теплоизоляционно-конструкционных ячеистых бетонов на основе гидромеханоактивированного композиционного перлитового вяжущего. Большие запасы алюмосиликатного сырья делают рассмотренный материал перспективным, учитывая снижение себестоимости 1 м<sup>3</sup> на 15-17% по сравнению с традиционными вяжущими. Коэффициент теплопроводности данного материала находится в пределах 0,12-0,13 Вт/м °С.

В статье [65] рассмотрено влияние ряда факторов на теплопроводность пенобетона: минерального состава, структуры межпоровых перегородок; предложена формула для определения эффективной теплопроводности пенобетона.

В публикации [149] описываются особенности получения теплоизоляционного пенобетона на синтетических пенообразователях, что особенно актуально в связи с широким распространением синтетических поверхностно-активных веществ.

В публикации [90] предложена новая технология термоэффективных стеновых материалов из полистиролгазобетона с улучшенными эксплуатационными характеристиками, приведены свойства полученного материала в сравнении с традиционным газобетоном.

Авторы работы [69] предлагают принципы проектирования теплоизоляционного газобетона для монолитного возведения энергосберегающих ограждающих конструкций с учётом использования композиционных вяжущих. Монолитные ограждающие конструкции из ячеистого бетона позволяют исключить «мостики холода», а также сократить время возведения объекта.

Солдатовым Д.А.[123] разработан арболитобетон с заполнителем из соломы. Активной гидравлической добавкой служила опока – широко распространённая в Пензенской области осадочная органогенная горная порода. Коэффициент теплопроводности составил 0,11 Вт/м °С.

В публикации [16] рассмотрена возможность использования костры льна. Теплопроводность полученного материала составляет 0,067-0,074 Вт/м °С.

В работе [18] приведён комплексный анализ свойств конструкционно-теплоизоляционного арболита на рисовой лузге при разных способах активации вяжущей части арболита.

В работе [17] рассматривается вопрос использования древесных отходов при производстве теплоизоляционных материалов, при этом в качестве связующих рассматривались: ПВА, латекс, цемент, акриловый клей, жидкое стекло. Коэффициент теплопроводности материала из предложенных составов варьирует от 0,069 до 0,078 Вт/м °С.

Публикация [146] рассматривает в качестве материала стеновых панелей опилкобетон на гипсе β-модификации.

В работе [1] рассмотрен метод конденсационного наполнения пенополиуретанов, а также описаны результаты модификации жёстких пенополиуретанов химически активным кремнием.

В работе [80] предоставлены экспериментальные данные разработанного вспененного материала на основе поливинилхлорида с добавлением азодикарбонамида, также приведены сравнительные характеристики нескольких полистирольных и карбамидных пенопластов.

В работе [118] рассмотрен энергосберегающий способ вспенивания при производстве теплоизоляционной керамики, отличающейся био- и коррозионной стойкостью, негигроскопичностью и несгораемостью. Коэффициент теплопроводности разработанного материала, полученного из экспериментальных составов, находится в диапазоне 0,116-0,164 Вт/м °С.

Интерес представляет статья [84], в которой исследован малотеплопроводный полимерсиликатный клей, предназначенный для соединения строительных блоков. Получен новый состав полимерсиликатного клея с наполнителем в виде гидролизного лигнина. В [142] для соединения блоков и плит из ячеистых и прочих лёгких бетонов предложены составы на основе жидкого натриевого стекла, модифицированного органическими полимерами. Использование подобных составов ведёт к уменьшению теплопотерь через наружные ограждения.

В работе [60] рассматриваются теплоизоляционные краски нового поколения, приводятся расчёты теплотехнических экспериментальных исследований, выявлен характер изменения коэффициента теплопроводности в зависимости от количества нанесённых слоёв.

Исследование [128] показало, что применение в строительстве ресурсосберегающих изделий и материалов в комплексе с эффективными теплоизоляционными материалами для ограждающих конструкций позволит существенно снизить материалоемкость и энергоёмкость строительных объектов и повысить эффективность строительной отрасли.

#### 1.4. Моделирование и разработка методов решения задач при проектировании энергосберегающих наружных ограждений

Сегодня моделирование является одним из наиболее важных инструментов анализа и может использоваться для решения задач разного уровня. Как известно, в основе моделирования характеристик здания лежат теории из различных дисциплин, преимущественно из физики, математики, материаловедения, экологии и вычислительной техники. Важность моделирования энергоэффективности подтверждается продвигаемыми по всему миру системами

классификации «зелёных» зданий, такими как LEED( Лидерство в энергетическом и экологическом проектировании) и BREEAM( Метод экологической оценки в процессе исследования зданий), а также законодательными инициативами, такими как европейская Директива по энергетическим характеристикам зданий( EPBD).

Важным этапом в исследовании вопросов энергосбережения в зданиях является разработка методов решения задач при проектировании. Российскими специалистами ведутся исследования в этой области. Так, в работе [47] рассматриваются подходы к формированию модели для выбора вариантов решений при проектировании и строительстве индивидуального жилого дома; предложенная модель состоит из блоков, каждый из которых включает ряд характеристик, среди которых заказчик выбирает наиболее подходящие.

В [31] получено приближённое аналитическое решение задачи нестационарного теплообмена в помещении, обеспечивающее погрешность расчёта температур воздуха и ограждающих конструкций, не превышающую 0,5-1,5° С. Анализ сравнительных расчётов показал возможность использования предложенного решения в качестве модели для автоматического управления тепловым режимом помещения.

Корниенко С.В. в [57] приведён метод решения трёхмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий. Метод позволяет повысить теплозащитные качества, надёжность и долговечность наружных ограждений.

Жуковым А.В. [41] предложена и численно апробирована физико-математическая модель тепло- и влагопереноса в деревянной брусчатой стене при переменных температуре и относительной влажности наружного воздуха. Главной особенностью рассмотренной модели является учёт зависимости коэффициента влагопроводности древесины от температуры, что обуславливает специфику влагопереноса в наружных ограждающих конструкциях.

В работе [21] изложена методика расчёта теплового режима зданий массовой застройки в период «температурных срезов» [78].

В [22] разработана модель энергосберегающего производственного сельскохозяйственного здания, учитывающая теплофизические, конструктивные и объёмно-планировочные решения здания. Она включает две взаимосвязанные модели, которые отвечают требованиям, предъявляемым к проектированию малоэнергоёмких сельскохозяйственных зданий для каждого климатического региона страны.

Уляшевой В.М [130,132] разработана математическая модель тепловоздушных процессов в помещениях с источниками тепловыделения на примере модуля машинного зала. Проблеме совершенствования методов расчёта тепловоздушных процессов посвящен также ряд других работ [96,98,99,131].

В [77] разработан метод численного решения системы уравнений свободной конвекции около стены здания в приближениях Буссинеска [67] и пограничного слоя, изучено распределение скорости и температуры в пограничном слое. В целом, работа посвящена определению локальной составляющей конвективного теплообмена  $\alpha_k$  численными методами.

Сазоновым Э.В. [113] разработана кибернетическая модель агрегата «Внешняя среда», основанная на биструктурной схеме по использованию солнечной и грунтовой энергии.

В [140] предложена методика расчёта сопротивления теплопередачи светопрозрачных ограждений с учётом краевых зон.

В работе [115] получены инженерные формулы для определения скорости охлаждения внутренней поверхности стены и температуры на этой поверхности в заданный момент времени после отключения теплоснабжения при аварии, а в [116] получены идентичные формулы для наружного угла здания. Полученные выражения могут быть использованы в практике проектирования для оценки теплотехнических качеств ограждающих конструкций зданий.

В последнее время успешно применяется нестационарная модель сопряженного тепло- и влагопереноса, в которой в качестве потенциалов переноса используются температура и относительная влажность [167]. В [85] описана

математическая модель расчёта сопряженного тепло- и влагопереноса в пористых материалах. Предложенная модель может быть распространена для расчётов тепловлагопереноса при отрицательных температурах, что особенно актуально для определения тепловлажностного состояния ограждающих конструкций зданий в реальных условиях эксплуатации.

Бородиным А.И. [26] предложен новый метод расчёта средней температуры тела произвольной формы в режиме охлаждения (нагрева) – зональный интегральный метод, основными достоинствами которого являются простота, универсальность и удовлетворительная точность вычисления температуры изучаемого объекта в течение всего теплового режима и в предельном стационарном случае.

В публикации [20] описаны теоретические основы разработки методов измерения удельных тепловых сопротивлений ограждающих конструкций, представлены методы измерения в стационарном и нестационарном режимах, описаны результаты экспериментальных измерений в сопоставлении с результатами измерений эталонными методами.

Путём обобщения литературных данных в [40] получены аналитические зависимости для коэффициентов удельной теплоёмкости, теплопроводности, влагопроводности и термовлагопроводности дерева в ограждающих конструкциях; предложен новый вариант диаграммы равновесного влагосодержания для области отрицательных температур. С помощью полученных зависимостей можно оценивать и прогнозировать защитные свойства ограждающих конструкций из дерева.

В работе [59] рассматривается возможность использования решётчатых нейронных сетей для получения приближенного решения дифференциальных уравнений теплопроводности строительных конструкций, представлен алгоритм работы нейронной сети и вычислительный эксперимент.

В [117] изложены принципы расчёта нестационарного теплового режима помещения, обслуживаемого автоматизированными системами обеспечения



микроклимата.

В [64] разработаны аналитические зависимости и математическое моделирование для оценки теплозащитных свойств неоднородных брусчатых стен с фасадным утеплением.

В [51] разработана инженерная методика расчёта тепловых потерь через многослойные ограждающие конструкции подвального помещения жилого здания в нестационарном режиме с использованием численного решения.

Гришковым А.А. [35] разработана математическая модель, позволяющая определять рациональные режимные характеристики систем с применением тепловых насосов на стадиях проектирования и эксплуатации. Разработанная модель также позволяет выбирать источник низкопотенциальной теплоты.

Ивановым В.В. в [44] исследован тепловой режим неоднородных ограждающих конструкций и предложена расчётная схема на основе метода релаксации с использованием ЭВМ для математического моделирования процессов теплообмена.

В [145] представлена математическая модель теплового состояния фрагментов наружной стены здания с теплоизоляционными вставками.

В работе [29] предложена математическая модель теплового состояния здания.

Перехоженцевым А.Г. [95] предложена методика расчёта параметров тепло- и пароизоляционных слоёв ограждения, обеспечивающая не только требуемую теплозащиту, но и отсутствие конденсации влаги в конструкции.

В работе [11] разработана физико-математическая модель по использованию тепла верхних слоёв земли. В предложенной модели циркуляция воздушного теплоносителя предусмотрена в тонкостенных бетонных каналах, расположенных под полом подвального помещения.

Мелькумовым В.Н. в [79] составлена двухмерная нестационарная математическая модель взаимодействия вентиляционных воздушных потоков с конвективными потоками от источников теплоты в помещениях.

В [63] разработана математическая модель для вертикальных грунтовых теплообменников, учитывающая взаимное влияние теплообменников, климатические условия, влияние подвижных стоков грунтовых вод и позволяющая производить моделирование динамики изменения температурных полей в массиве грунта и определять период выхода теплообменников на стационарный режим работы.

Табунщиковым Ю.А. [129] рассмотрены вопросы математического моделирования и оптимизации тепловой эффективности зданий.

В статье [42] численно решается задача о свободно-конвективном течении, возникающем у равномерно нагретой вертикальной пластины. Знание характеристик подобных течений позволяет проектировать более энергоэффективные системы отопления и вентиляции зданий.

Лебедевым О.В. в [68] разработаны алгоритмы определения местоположения плоскости промерзания в многослойных конструкциях для определения текущей координаты точки росы в многослойных объектах с учетом фазовых переходов жидкость – твердое тело. Первым, кто занимался системами, попеременно находящимися в процессе плавления и таяния, был Брансье [165]. Бардон [166] представил результаты по экспериментальному изучению процессов теплопередачи в объектах прямоугольной формы при периодических изменениях температуры на их границах. Хасан [168] с помощью численных методов теоретически рассчитал и экспериментально исследовал процесс плавления и затвердевания влаги внутри плоской прямоугольной пластины, периодически изменяя температуру вблизи точки фазового перехода на границах пластины. Это исследование было продолжено Веллером [172], который стал учитывать движение жидкости. Гасеми и Молки [161] развили данный анализ, исследовав численно процесс плавления и затвердевания металлического конструкционного материала при периодических изменениях температуры на границах вблизи точки фазового перехода. В этой работе был рассмотрен процесс теплопередачи в двухфазовой переходной области вблизи границы жидкость-твердое тело, где

фазовый переход происходил не при фиксированной температуре, а в некотором интервале температур. В работе [163] численно и экспериментально исследовался процесс оттаивания-затвердевания с граничными условиями, изменяющимися во времени по синусоидальному закону.

Математическая модель процессов замерзания жидкости в пористых материалах была впервые представлена в 1950-е годы Лыковым А.В. при совместном рассмотрении процессов теплопереноса [160]. Решение задачи подобного типа находит практическое применение при проектировании энергосберегающих ограждающих конструкций, поскольку фазовые переходы влаги в капиллярно-пористой структуре материала приводят к изменению его коэффициента теплопроводности, величины термического сопротивления конструктивного слоя наружного ограждения и тепловых потерь через него. Кроме того, как известно, чередование процессов замерзания и оттаивания в структуре материала является одной из основных причин снижения прочности и постепенного разрушения ограждающей конструкции.

#### 1.5. Современный подход к проектированию взаимосвязанных подсистем естественной вентиляции и наружных ограждений в единой энергетической и экологической системе здания

Применение в массовом строительстве светопрозрачных конструкций с высокой герметичностью оконных притворов обусловило ухудшение качества воздуха в помещениях, повышение его относительной влажности, образование плесени на отдельных конструкциях, повреждение отделки помещений.

Как отмечается в [30,52,70,83,112,121,122,127,136,151], эти проблемы характерны не только для нашей страны. Появился даже специальный термин, характеризующий состояние параметров внутренней среды подобных зданий, -

«синдром больных зданий». В большинстве европейских стран повышение герметичности оконных блоков и, соответственно, снижение воздухообмена помещений компенсировалось мероприятиями для притока воздуха (клапаны, системы приточно-вытяжной механической вентиляции). В нашей стране переход на применение герметичных светопрозрачных конструкций не сопровождается должным учётом их влияния на микроклимат помещений и работу системы вентиляции.

Результаты проведённых нами натурных исследований подтверждают тот важный факт, что в последние годы к вышеперечисленным проблемам добавилась еще одна: вследствие нарушения работы системы естественной вентиляции изменяется направление движения воздуха в вытяжных вентиляционных блоках с поступлением в отапливаемые помещения наружного холодного воздуха (опрокидывание тяги) или происходит перетекание воздуха через вытяжные каналы между отдельными квартирами. Вследствие этого понижается температура стенок каналов, появляется конденсат, изморозь на внутренней поверхности вентблоков.

По данным [52,70,83,136,151], более чем тридцатилетний опыт использования в странах с развитой экономикой более современных систем естественной вентиляции с использованием стеновых клапанов и аэроматов в окнах, других устройств в системе вентиляции, показывает, что проблемы, связанные с избыточной герметизацией помещений и ухудшением здоровья проживающих возможно решить.

Традиционный подход, заключающийся в периодическом проветривании помещений с помощью микропроветривания, оказался малоэффективным, поскольку ухудшает температурный режим и звукоизоляцию помещений, приводит к периодическим колебаниям температуры и, как следствие, к простудным заболеваниям.

В связи с этим зарубежными, а впоследствии и отечественными специалистами, были разработаны первоочередные мероприятия по обеспечению

притока наружного воздуха, наиболее простые и экономичные решения из которых следующие:

1. Систематическое (например, один раз в час) проветривание помещений жильцами квартиры.

2. Использование стеновых или оконных клапанов, обеспечивающих постоянный приток свежего воздуха.

3. Внедрение механической вытяжной системы вентиляции.

Были исправлены ошибки, обусловленные издержками применяемых методик аэродинамического расчета вентиляционных систем. Отечественными учеными и специалистами начата работа по составлению нормативных и методических документов, прописывающих процедуры подобных расчетов применительно к системам естественной вентиляции с учетом характеристик современных ограждающих конструкций.

Формально СНиП 31-01-2003 допускает проветривание за счет периодически открывающихся форточек или створок оконных блоков, на что и ссылаются в критических ситуациях проектировщики. Но этот же СНиП предъявляет требования к воздухообмену помещений – в нерабочем режиме кратность воздухообмена должна быть не менее  $n = 0,2$  для жилых комнат и не менее  $n = 0,5$  для кухни и санузлов. Однако при закрытых створках оконные блоки из ПВХ-профилей не обеспечивают и 20% требуемого притока воздуха.

Механической может быть система не только приточной, но и вытяжной вентиляции. В скандинавских странах применение таких систем в жилых зданиях является обязательным. Однако французские и немецкие специалисты, работающие в области отопления и вентиляции, отрицательно относятся к применению в жилищном строительстве механической приточной вентиляции из-за дороговизны этого решения.

В европейских странах, как правило, применяется механическая вытяжная вентиляция с единым на секцию постоянно работающим центробежным вентилятором, и неорганизованный, под естественным давлением, приток воздуха

идет через специальные отверстия в оконной коробке или стене, оборудованные закрывающимися клапанами.

Архитектурно-планировочные и конструктивные решения этих зданий, теплотехнические показатели наружных ограждений, мощность системы отопления, особенности эксплуатации квартир жильцами оказывают большое влияние на работу системы естественной вентиляции в жилых зданиях. С учетом этого организация и рациональное поддержание воздушно-теплого режима в жилых зданиях является комплексной задачей. Однако действующая система нормативных документов, специализированная по отдельным разделам проектирования, не учитывает этой комплексности.

Это приводит к сбоям в работе системы естественной вентиляции, нарушениям санитарно-гигиенических условий эксплуатации зданий (появлению сырости и плесени на поверхности окон и оконных откосов, росту хронических заболеваний, таких, например, как астма и т. п.).

Учитывая высокую стоимость механических систем приточной вентиляции в многоэтажных зданиях, установка приточных вентиляционных клапанов представляется наиболее простым решением, что и применяется все чаще при проектировании систем вентиляции жилых и общественных зданий. Но при этом без достаточного расчетного обоснования и взаимной увязки сопротивлений приточных и вытяжных отверстий тяга в вентиляционных каналах может опрокидываться даже при наличии приточных устройств достаточной площади.

Как известно, конкретное местоположение нейтральной зоны зависит от соотношения площадей приточных и вытяжных отверстий. При отсутствии приточных устройств или их достаточно большом сопротивлении нейтральная зона поднимается вверх. И чем больше сопротивление приточных клапанов, тем нейтральная зона поднимается выше. При этом, если оголовки каналов над крышей расположены на различной высоте, то при определенных условиях один из них может начать работать на приток.

Стеклопакеты из ПВХ-профилей практически не продуваются при сильном ветре, поэтому в холодный период года не происходит чрезмерных теплопотерь через такие светопрозрачные ограждения.

Однако высокая герметичность ограждающих конструкций приводит к уменьшению естественного воздухообмена помещений и, как следствие, к повышению содержания вредных, в том числе токсических, веществ в воздухе, повышению его относительной влажности. Всё это указывает на актуальность проведения дополнительных исследований по регулированию процесса воздухопроницания через наружные ограждения и его влияния на микроклимат помещений и тепловые потери здания. Результаты этих исследований приведены в разделе 2.2.3 и главе 4 диссертации.

## 1.6. Выводы из обзора литературы

Анализ опубликованных результатов исследований по теме диссертационной работы позволил установить следующее:

- действующая система нормативных документов и расчетов по тепло–массопереносу через наружное ограждение, по формированию микроклимата помещений не учитывает в полной мере всей сложности и комплексности решения по задач энергосбережению и созданию экологически чистой воздушной среды в помещениях энергоэффективного здания, а ошибки в проектировании, дефекты в строительстве, неграмотная эксплуатация элементов тепловой защиты и устройств по естественной вентиляции помещений существенно усугубляют решение этих задач.

- существует необходимость в более точной оценке уровня энергоэффективности наружных ограждений, основанной на учете специфики протекания физических процессов тепло–массопереноса через толщу ограждений

в конкретных условиях эксплуатации зданий;

- недостаточно исследована тепловая эффективность увлажненных конструктивных слоев наружных стен в холодные периоды их эксплуатации;
- не полностью раскрыт потенциал энергоактивности наружных ограждений по утилизации теплового потока, уходящего через их толщину;
- не до конца исследован и в общепринятой методике расчета не учитывается так называемый экономайзерный эффект, возникающий в капиллярно-пористой структуре наружного ограждения и обеспечивающий энергосбережение за счет уменьшения количества поступающего в помещение холодного вентиляционного воздуха через приточные отверстия.



## ГЛАВА 2. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КАЧЕСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ, СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ И МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ КВАРТИР МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

### 2.1. Измерения параметров и использованные электронные приборы для определения теплозащитных качеств ограждающих конструкций, показателей микроклимата помещений

Для измерения температуры поверхности стен с целью определения условий возникновения точки росы применялся термометр контактный цифровой, ТК-5.03. В недоступных местах измерения проводились бесконтактным способом с помощью пирометра инфракрасного С-110 "Факел". Оценка теплового потока на различных участках наружных ограждений устанавливалась с помощью тепловизора Testo 875-1. Выбор мест измерений определялся по видимым признакам отсыревания, появления конденсата, пятен побелости на внутренней поверхности стен, а также на участках с ослабленными величинами сопротивления теплопередаче или воздухопроницанию.

Параметры микроклимата помещений измерялись метеометром МЭС-200.

Влажность материала определялась влагомером МГ4У.

Использованные приборы имеют следующие технические характеристики.

1. Метеометр МЭС-200, произведённый ОАО РНИИ «Электростандарт» в 2003 году (г. Санкт-Петербург), обозначение ЯВША. 416311.002, предназначенный для измерения температуры, относительной влажности, давления, скорости движения воздуха.

Составные части:

- а) блок электроники;
- б) щуп измерительный (с кабелем соединительным).

Диапазоны измеряемых величин соответствуют следующим значениям:

- давление – от 80 до 110 кПа;
- относительная влажность – от 10 до 98%;
- температура – от минус 40 до плюс 85°C;
- скорость воздушного потока – от 0,1 до 20 м/с.

Предел допускаемого значения абсолютной погрешности измерения давления не более: плюс-минус 0,3 кПа (плюс-минус 2,3 мм рт. ст.).

Предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности измерения относительной влажности не более плюс-минус 3%.

Предел допускаемого значения абсолютной погрешности измерения температуры не более плюс-минус 0,2°C.

Предел допускаемого значения абсолютной погрешности измерения скорости воздушного потока не более плюс-минус 0,075 м/с.

## 2. Термометр контактный цифровой ТК-5.03.

Термометр контактный цифровой, ТК-5.03, произведённый ООО «ТЕХНОАС» в 2003 году (г. Коломна), предназначен для измерения температуры путём непосредственного контакта зонда с измеряемым объектом.

Составные части:

- а) блок электронный;
- б) зонд поверхностный ЗПВ 150.

Диапазон измерения температуры от минус 20 до плюс 200°C.

Предел допускаемой основной относительной погрешности плюс-минус 2%.

## 3. Пирометр С-110

Пирометр инфракрасный, С-110, произведённый ООО «ТЕХНОАС» в 2003 году (г. Коломна), предназначен для бесконтактного измерения температуры объектов по их тепловому (инфракрасному) излучению.

Диапазон измерения температур:  $-20^{\circ}\text{C} \dots +200^{\circ}\text{C}$ .

Предел допускаемой абсолютной погрешности в диапазоне  $20 \dots 100^{\circ}\text{C}$ :  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Предел допускаемой относительной погрешности в диапазоне свыше  $100^{\circ}\text{C}$ :  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ .

Диапазон установки излучательной способности объекта: 0,01-1,00.

Спектральный диапазон: 8-14 мкм.

4. Влагомер – МГ4У.

Электронный измеритель влажности ВЛАГОМЕР-МГ4 У, произведённый ООО «СКБ Стройприбор»(Челябинск), предназначен для оперативного контроля влажности строительных материалов и древесины диэлькометрическим методом по ГОСТ 21718 и ГОСТ 16588.

Состав изделия:

-блок электронный;

-датчик влажности;

-стакан для сыпучих материалов.

Диапазон измерения влажности: 1-400%.

## 2.2. Ход проведения и результаты натурных исследований

Для оценки микроклимата помещений и теплозащитных качеств наружных ограждений были обследованы здания разной этажности с различными сроками эксплуатации в г. Пенза. По результатам натурных исследований были составлены рекомендации (Приложения А,Б,В).

### 2.2.1. Натурное исследование здания, расположенного по адресу ул.Тернопольская,7 в г.Пенза

Особый интерес представляла работа по выяснению причин масштабной конденсации, увлажнения и промерзания наружных ограждающих конструкций десятиэтажного дома с кирпичными стенами (рис.2.1), защищенными наружным теплоизоляционным слоем (дом №7 по ул. Тернопольской в г. Пенза).

Наружные стены здания выполнены из кирпичной кладки толщиной 52 см. При визуальном осмотре вскрытых от наружной теплоизоляции участков стен замечены многочисленные случаи «пустошовки». Незаполненность раствором вертикальных и горизонтальных швов кладки со стороны наружной поверхности стены варьировалась в пределах 50 – 220 мм. Можно было предположить, что и в толще ограждения имеются швы, не полностью заполненные кладочным раствором.

Проектным решением предусмотрено утепление стен плитами из пенополистирола. В соответствии с проектом теплоизоляционные плиты крепятся вплотную к выровненной поверхности стен комбинированным способом: на клею и с механическим креплением. При устройстве теплоизоляционного слоя должно быть обеспечено плотное примыкание плит друг к другу для предотвращения проникания холодного воздуха к поверхности кирпичной стены. Для защиты сравнительно недолговечных пенополистирольных плит от атмосферных воздействий использовано штукатурное покрытие из цементно-песчаного раствора толщиной 15 мм. Армирующая полимерная сетка воспринимает растягивающие напряжения и предохраняет штукатурное покрытие от преждевременного растрескивания. При этом армирующая сетка находится между двумя последовательно нанесенными слоями штукатурки.

Натурные исследования выявили несколько существенных отступлений от проектного решения утепления стен и установки конструкций окон:

1. Наружная поверхность стен имела неровности, несмотря на то, что перед монтажом пенополистирольных плит производилось ее выравнивание цементно-песчаным раствором. В результате этого отдельные плиты неплотно примыкают к массиву стены, образуя воздушные пустоты различной толщины (от 4 до 8 мм).

2. Установлено неплотное примыкание (со швами до 10 мм) пенополистирольных плит друг к другу.

3. Защитная штукатурка по теплоизоляционным плитам имеет недостаточную толщину. В отдельных местах она представляет собой тонкую скорлупу толщиной в 1-2 мм и покрыта трещинами.

4. Трехкамерные стеклопакеты заменены на двухкамерные.

5. Стеклопакеты установлены вровень с наружной поверхностью стены, имеющей «пустошовку».

В таблицах 2.1-2.2 показаны результаты измерений параметров микроклимата внутреннего воздуха, а на рис. 2.2-2.4 – данные измерений температуры на некоторых откосах окон и других участках наружных стен.

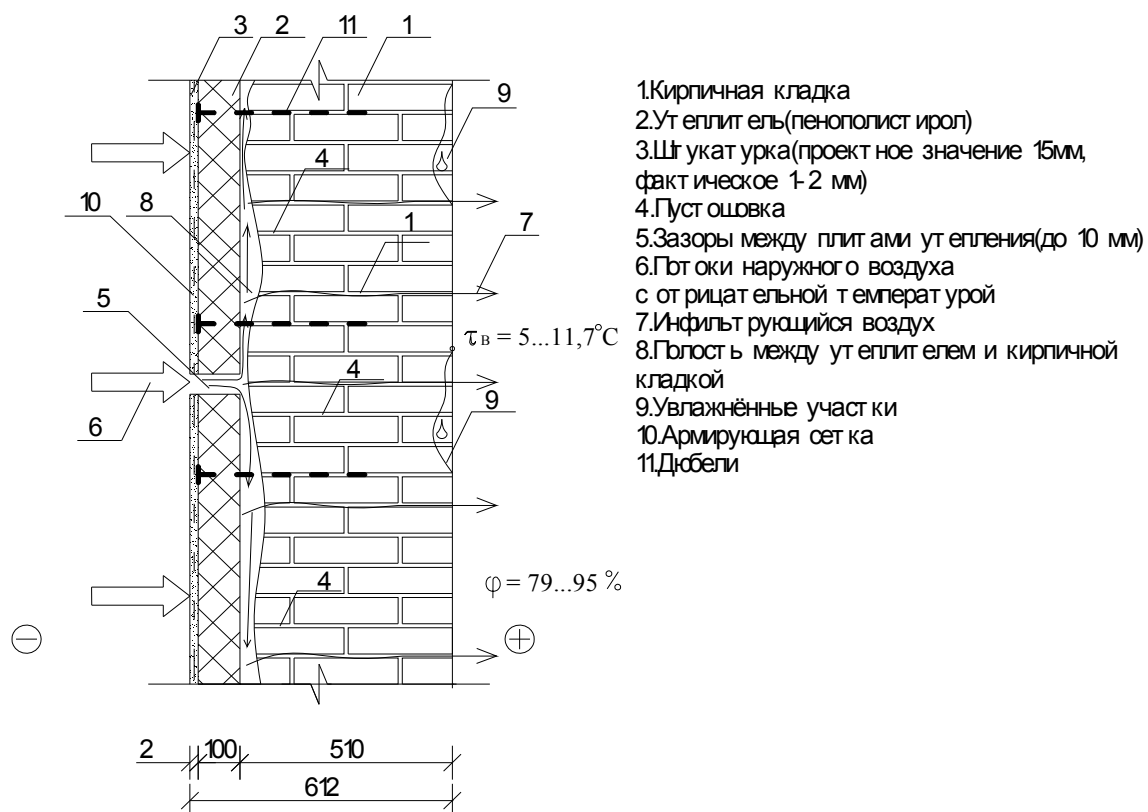


Рис.2.1. Механизм проникновения холодного воздуха к массиву стены через неплотности в примыканиях плит утеплителя

Таблица 2.1

Результаты инструментальных измерений параметров естественной  
вентиляции помещений квартир

Этаж (Э), квартира	Помещение	Скорость движения воздуха, м/с	Расход воздуха через вытяжное отверстие, м <sup>3</sup> / час
1 Э, кв. 198	Спальня	0,98	79,2
		1,78	144,2
	Туалет	0,84	68,84
Квартира 197	Спальня	0,82	66,42
5 Э, кв.210	Торцевая комната	0,88	72,0

Таблица 2.2

Результаты инструментальных измерений влажностного состояния наружных  
стен и параметров микроклимата помещений квартир

Этаж (Э), квартира	Относительная влажность воздуха	Температура внутренней поверхности стены	Температура точки росы
	φ, %	τ <sub>в</sub> , °С	t <sub>т.р.</sub> , °С
4Э, кв.210	85	7,1; 7,4; 7,6; 7,7; 7,9	7,92
6 Э, кв. 218	89	7,2; 7,3; 7,8; 7,9	8,03
5 Э, кв. 214	92	8,8; 8,9; 9,0	9,21
1 Э, кв. 198	79	7,3	7,82
5 Э, кв. 210	84	8,6	8,72
7Э, кв.222, комн.5	90	10,0; 10,2; 10,8; 10,9	10,98
1Э, снаружи дома	-	5,0; 6,5; 9,5; 10,0	-

На рис. 2.2-2.4 показаны примеры увлажненных и частично промерзших участков наружных стен (в виде штриховки).

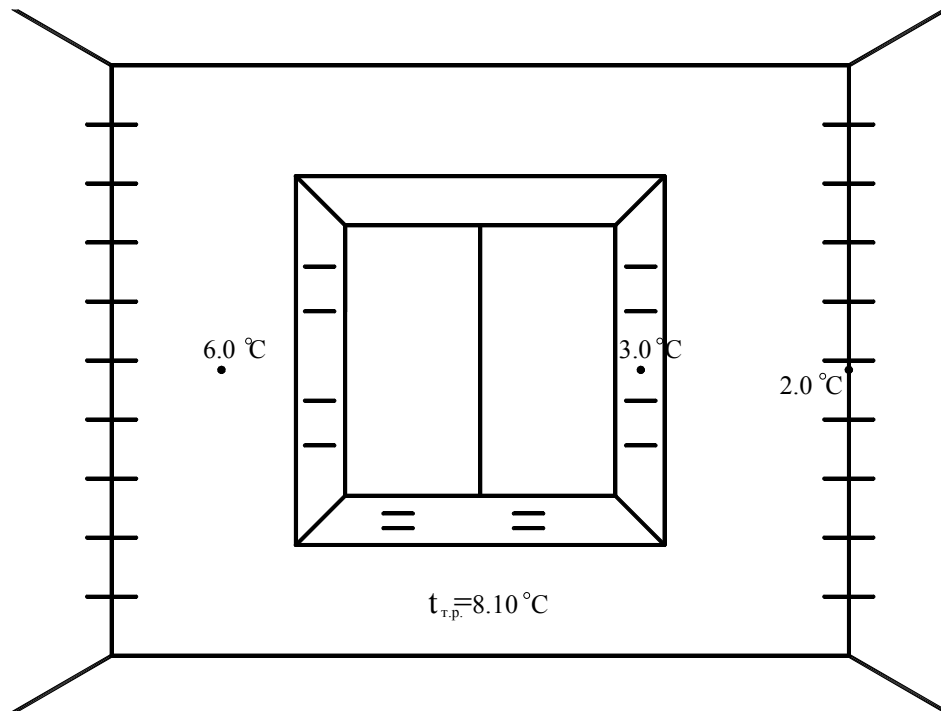


Рис.2.2. Места расположения увлажненных участков стен и значения температуры на внутренней поверхности наружных стен в лестничной клетке, площадка между 6-7 этажами при температуре и относительной влажности внутреннего воздуха соответственно  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $88\%$

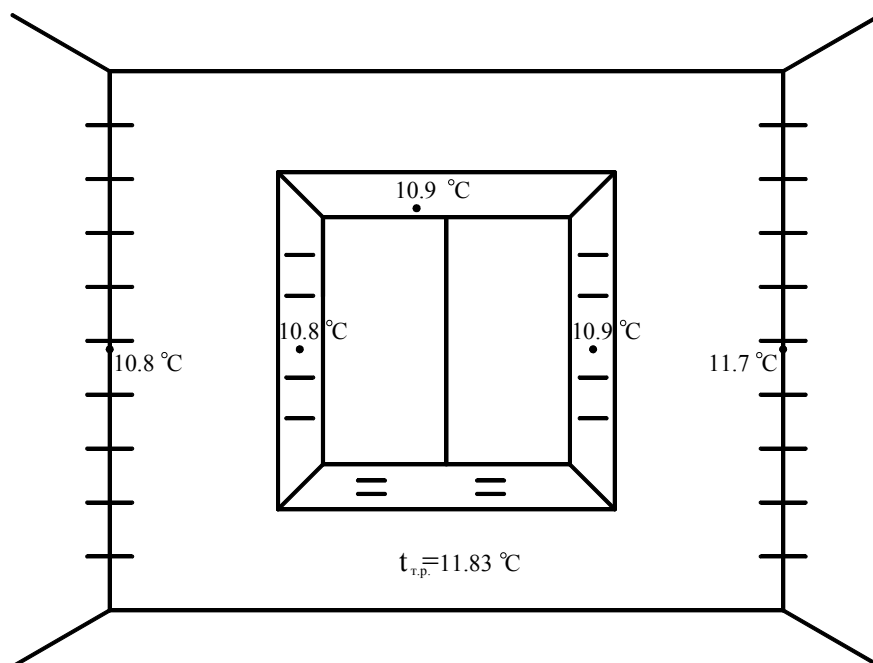


Рис.2.3. Места расположения увлажненных участков стен и значения температуры на внутренней поверхности наружных стен в квартире № 222, 7 этаж (комната №4) при температуре и относительной влажности внутреннего воздуха соответственно  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $95\%$ .

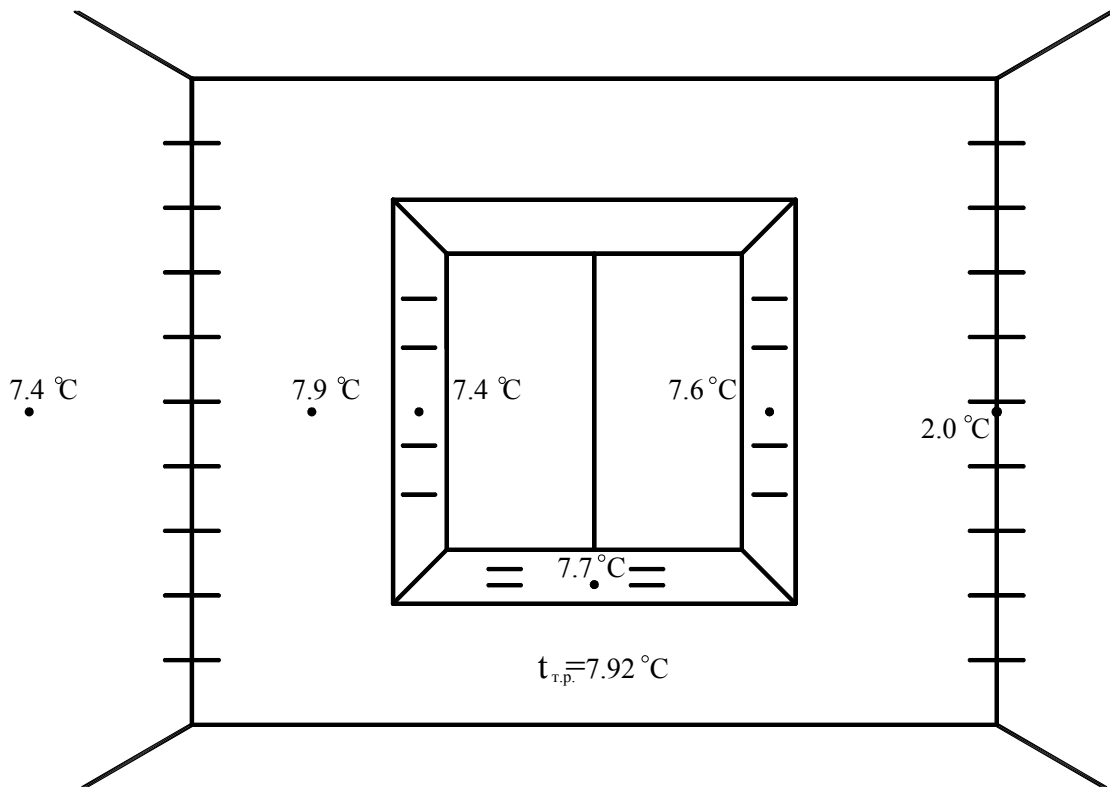


Рис.2.4. Места расположения увлажненных участков стен и значения температуры на внутренней поверхности наружных стен в квартире № 210, 4 этаж при температуре и относительной влажности внутреннего воздуха соответственно 9.9 °C и 85 %

### 2.2.2. Выводы по результатам натурального исследования

Перечисленные строительные недоделки значительно снижают теплозащитную функцию дополнительного утепления. Через тонкий слой штукатурки масса холодного воздуха при воздействии ветра инфильтрируется в горизонтальные и вертикальные швы плит пенополистирола и поступает в воздушные прослойки между основной стеной и конструкцией утепления, вызывая дополнительное охлаждение наружного ограждения здания (рис.2.1).

Массовый характер «пустошовки» в наружных кирпичных стенах



существенно снижает уровень тепловой защиты обследованного дома, что связано с большой разницей сопротивлений воздухопроницанию кирпичной кладки и кладочного раствора. Действительно, кирпичные стены на кладочном растворе имеют сравнительно небольшую величину сопротивления воздухопроницанию  $R_{и}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}$ . Для кирпичной кладки толщиной 52 см на использованном цементно-песчаном растворе показатель  $R_{и}$  составил величину, равную 18, а для слоя цементно-песчаной штукатурки толщиной 15 мм – 373. Таким образом, незаполненность швов кирпичной кладки наружной стены стала одной из главных причин повышенной воздухопроницаемости наружного ограждения.

Обследование выявило неплотное примыкание плит пенополистирола к стене и между собой. Это и явилось основной причиной появления конденсационной влаги и изморози на откосах и внутренней поверхности стен (температура их поверхности в результате инфильтрации холодного воздуха через швы значительно снижается и становится равной или ниже температуры точки росы)

В зимний период эксплуатации при остужающем воздействии ветра в массив такой стены через открытые пустоты в швах пенополистирольных плит и кирпичной кладки инфильтрируется большое количество холодного воздуха, вызывая ряд неблагоприятных эффектов теплоэнергетического и санитарно-гигиенического характера (повышенные тепловые потери, охлаждение массива кладки и смещение плоскости конденсации водяного пара по направлению к внутренней поверхности). На многих участках внутренней поверхности наружных стен, в том числе на откосах оконных проемов, был замечен конденсат. При значительной «пустошовке» возникло сквозное промерзание кирпичной кладки, которое наблюдалось на откосах проемов и на внутренней поверхности стен.

Замена одной конструкции окон из стеклопакетов (трёхкамерные) на другую (двухкамерные) снижает их теплозащитные качества, а изменение

месторасположения окон привело к тому, что охлажденный в зимнее время массив кладки остается, в основном, с внутренней стороны откосов оконного проемов. Это повысило вероятность снижения температуры откосов до температуры точки росы, что и вызвало выпадение конденсированной влаги на их поверхностях.

Высокая воздухопроницаемость наружных ограждений обследованного здания и повышенная герметичность стеклопакетов приводят к неконтролируемому воздухообмену, влекущему за собой ухудшение внутреннего микроклимата.

Одним из путей формирования контролируемой воздухопроницаемости наружной оболочки здания является разработка конструктивного решения наружной стены, обладающего свойствами пропускания через свою структуру приточного воздуха в объемах, соответствующих нормативным значениям, что не вызовет повышенных теплопотерь и не ухудшит экологическую среду помещения. Решение этой проблемы является одной из поставленных задач диссертационного исследования.

### 2.2.3. Натурное исследование двух 10–этажных домов по сериям 90 и 101 и 5–этажного дома по серии 101 в г.Пенза

Основным направлением данного натурального исследования тепловой защиты двух 10–этажных домов по сериям 90 и 101 и 5–этажного дома по серии 101 являлось определение плотности, коэффициента теплопроводности, степени увлажнения материала наружных стен, установлении причин неэффективной работы системы естественной вентиляции.

Натурные обследования и инструментальные измерения проводились в

помещениях квартир, в которых был замечен неблагоприятный влажностный режим наружных стен и сопутствующие ему проявления на стенах в виде плесени, пятен от влаги, конденсата. Влажность поверхностных участков материала наружных стен измерялось с помощью электронного измерителя влажности «Влагомер - МГ4У». Отбор проб материала по толщине этих стен производился также со стороны помещений на участках ограждений, подверженных наиболее интенсивному увлажнению или отсыреванию в зимнее время эксплуатации. Образцы материала высверливались с помощью коронок, имеющих победитовые наконечники с внутренним диаметром 100 и 60 мм на глубину 65-70 мм от поверхности конструкции. Пробы материала отбирались во всех трех жилых зданиях.

Проектным решением предусматривалось использование в наружных стеновых панелях керамзитобетона со средней плотностью 900 и 1050 кг/м<sup>3</sup>. Во всех зданиях панели имеют однослойную конструкцию толщиной 400 мм.

Измерения влажности поверхностного слоя и результаты лабораторных испытаний проб стенового материала показали, что для домов серии 101 во всех случаях фактическая плотность основного теплоизоляционного материала - керамзитобетона - превосходит проектное значение плотности. В доме серии 90 только в 50% случаев плотность материала проб превосходит проектное значение (табл.2.3).

Таблица 2.3

Обследование дома	Серия	Величина плотности, кг/м <sup>3</sup>			
		по проекту	Фактическая		
			макси- мальная	мини- мальная	среднее значение
10-этажный дом	101	900	1563	950	1367
10-этажный дом	90	до 1050	1435	950	1131
5-этажный дом	101	900	1450	1366	1402

Результаты натурных обследований состояния внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций и замеров параметров микроклимата помещений квартир показали, что с наступлением холодного периода на наружных стенах целого ряда квартир во всех трех обследуемых домах наблюдаются последствия интенсивного поверхностного увлажнения конструкций: пятна сырости, плесень, вздутие обоев или краски на намокшей поверхности ограждения.

Из всех обследованных наружных конструкций этих зданий наихудшими теплотехническими качествами отличались торцевые стены. Помимо периодически увлажняемой поверхности торцевых стен, плесенью и пятнами сырости покрыта также поверхность продольных стен некоторых жилых комнат.

Средняя величина влажности образцов материала наружных стен составила 6,1% по весу, что на 20% превышает предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги для керамзитобетона.

Натурное обследование состояния наружной поверхности стен двух жилых домов по ул. Кулибина выявило сильное разрушение отдельных участков стен со стороны наружной поверхности. Это объясняется двумя причинами: периодическим её увлажнением атмосферной влагой, падающей с продырявленных желобов кровли, а также поступлением парообразной влаги в виде интенсивного диффузионного потока водяного пара со стороны мокрых помещений (постирочной, душевых). Нарушение структуры кирпичной кладки происходило под воздействием последующих циклов оттаивания–промерзания материала (рис.2.5).

Учитывая, что температурно–влажностные параметры внутренней воздушной среды и влажностное состояние поверхности наружных стен тесно связаны с процессом воздухообмена в помещениях квартир, выполнялось обследование "теплых" чердаков зданий. Практика эксплуатации "теплых" чердаков показывает, что в отличие от "холодных" чердаков, отдельные строительные недоделки в чердачном пространстве могут значительно ухудшить

процесс вентиляции и микроклимат помещений квартир, особенно тех, которые расположены на верхних этажах. Исключением не являются и чердаки обследованных зданий.

Как известно, пространство "теплого" чердака, в которое попадают вентиляционные выбросы из помещений, представляет собой камеру статического давления, очень чутко реагирующую на неплотности или отверстия в ограждающих конструкциях чердака. В двух из трех обследованных чердаков был замечен целый ряд строительных недоделок, нарушающих герметичность чердачного пространства в целом и герметичность каждой секции (в чердаке нет разделительных стен между жилыми секциями дома, в светопроемах из стеклоблоков фризových панелей чердака имеются многочисленные щели, отдельные стеклоблоки отсутствуют, входные люки в чердак и из чердака на крышу не имеют плотного притвора и уплотнительных прокладок и др).



Рис.2.5. Разрушение кирпичной кладки вследствие промерзания увлажненного слоя

#### 2.2.4. Выводы по результатам натурного исследования

На влажностное состояние стен и микроклимат помещений квартир негативное влияние оказывает недостаточно хорошо работающая система естественной вентиляции всех трех зданий. Это подтверждается данными измерений скорости движения воздуха, осмотром состояния элементов системы вентиляции.

Причин такой работы системы вентиляции несколько. Прежде всего, это строительные недоделки в конструкциях чердаков, некачественное выполнение вентиляционных блоков, выпускающих отработанной воздух в чердачное пространство, неграмотная эксплуатация жильцами квартир системы естественной вентиляции.

Установленная завышенная величина плотности материала обуславливают увеличение его коэффициента теплопроводности, что является одной из основных причин увлажнения наружных стен конденсационной влагой, покрытия их плесенью, ухудшения микроклимата помещений.

Кроме потери механических свойств такие стены испытывают повышенные тепловые потери, величина которых зависит также от степени увлажнения и промерзания материала конструкции.

Поиск и анализ этой зависимости представляет определенный теоретический и практический интерес и поэтому является одной из задач диссертационного исследования, изложенного в главе 3.

## 2.2.5. Исследование взаимосвязи естественной вентиляции с микроклиматом помещений многоэтажного жилого здания как единой энергетической и экологической системы

Предметом данного исследования является микроклимат и система естественной вентиляции двух 10-этажных жилых домов, на улицах Лядова, 16а (рис.2.6), Онежская, 21а (рис.2.7) и одного 10-этажного жилого дома на ул. Антонова, 70. Натурное исследование зданий было проведено в феврале - марте 2013 г.

Работа по обследованию системы естественной вентиляции многоэтажных зданий проводилась по просьбе головного городского заказчика по строительству жилья МУП "Пензастройзаказчик" и проектной организации ОАО «Приволжское конструкторское бюро по архитектурно-строительным системам и новым технологиям имени А.А. Якушева» г. Пензы. Причина проведения работ – жалобы жильцов квартир 3 – 10 этажей на обратную тягу в вентиляционных каналах и на увлажнённые стенки вентканалов в сильные морозы и плесень на откосах окон (рис.2.8, а, б).

Наружные стены зданий имеют многослойную конструкцию (силикатный кирпич полнотелый, утеплитель (пенополистирол), силикатный кирпич пустотелый и кирпич керамический пустотелый утолщённый). Чердак зданий - холодный. Конструкция окон – стеклопакеты.

В зданиях по проекту предусмотрена естественная приточно-вытяжная вентиляция с учётом неорганизованного поступления наружного воздуха в жилые помещения через створки стеклопакетов и организованного удаления воздуха из кухонь и санузлов с выбросом воздуха выше кровли. Транспортировка вытяжного воздуха осуществляется через вентиляционные блоки заводского изготовления со сборными магистральными и перепускными каналами.



Рис.2.6. Дом, расположенный по адресу ул. Лядова 16а



Рис.2.7. Дом, расположенный по адресу ул. Онежская, 21а

Обследование показало, что зимой при закрытых окнах в помещениях тяга в вентиляционных каналах практически отсутствует, тёплый воздух из помещений не попадает в вентиляционные каналы, а более тяжёлый наружный воздух опускается по ним и через входы в вентканалы (решётки) попадает в квартиры. Этот процесс может усиливаться действием ветра. В результате проникновения холодного наружного воздуха стенки вентиляционных блоков квартир периодически имеют температуру поверхности более низкую, чем в комнате. Отсутствие заглушек (отсечек) в каналах вентблоков оказывает сильное влияние на появление обратной тяги.

Визуальный осмотр показал, что на входе в вытяжные каналы в некоторых помещениях санузлов установлены канальные или осевые вентиляторы, что препятствует естественной вентиляции помещений, так как при этом значительно снижается пропускная способность вентканалов. При неработающем вентиляторе вытяжка воздуха в помещениях практически не будет функционировать или она будет недостаточной (рис.2.9,а,б).

Двупольные стальные двери, установленные на входах в лестничные клетки, и деревянные двери в двойных тамбурах не уплотнены в притворах.



Измерения проводились в феврале 2013 г. в квартирах домов при неработающих газовых плитах, температурах наружного воздуха от минус 5°C до минус 8°C в условиях сильного ветра северного направления. Результаты измерений в одном из домов показаны в таблице 2.4.



а)

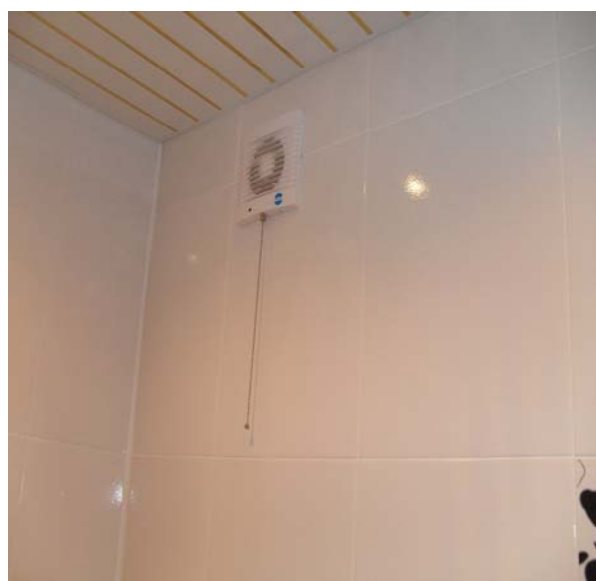


б)

Рис.2.8.а,б. Плесень в местах примыкания стеклопакетов к откосам



а)



б)

Рис.2.9.а,б. Каналы естественной вытяжки заблокированы периодически работающими вытяжным зонтом кухонной плиты и электровентилятором.

Таблица 2.4

Сводные данные по результатам обследования квартир дома по ул. Лядова,16а

Секция	Левая				Правая							
	5	8	8	9	3	3	6	9	9	1	1	1
Этаж										0	0	0
№№ квартир.	25	39	40	45	63	64	78	91	95	98	99	100
Число комнат	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2
«Зонт» над газовой плитой	+	+	-	+	+		+	-		-	-	-
Вентиляторы в вент. каналах		+	+									
Температура воздуха, °С	24,3	25,2	24,2	22,0			23,7	23,0		24,2	23,7	23,6
Относительная влажность, %	38	52	52	60			42	19		31	30	32
Проблема (письменная жалоба жильца)	Обратная тяга	Мокнет стенка вентканала	Мокнет стенка вентканала	Мокнет стенка вентканала	Обратная тяга	Обратная тяга	Мокнет стенка вентканала	Мокнет стенка вентканала	Обратная тяга	Мокнет стенка вентканала	Обратная тяга	Обратная тяга
По данным замеров скорость движения воздуха у входа в вытяжной канал кухни, м/с, при: -закрытых окнах 0,02–0,05; -микрощелевом проветривании 0,4 – 0,6; -открытых окнах 0,6–0,8.												

В обследуемых домах большинство квартир – это однокомнатные и двухкомнатные квартиры общей площадью, соответственно, 36 м<sup>2</sup> и 42 м<sup>2</sup>. Тогда по норме притока (3 м<sup>3</sup>/ч на каждый 1м<sup>2</sup> жилой площади) должно быть обеспечено поступление 108 м<sup>3</sup>/час и 126 м<sup>3</sup>/час свежего воздуха. Фактически, на вытяжку постоянно работает только один канал вблизи кухни, так как двери в ванную и туалет открываются эпизодически (по данным визуального осмотра и опросов жильцов) и имеют плотный притвор. По результатам замеров это обеспечивает следующую смену воздуха (табл.2.5).

Таблица 2.5

## Воздухообмен в помещениях квартир по результатам замеров

Положение створки окна	Фактическая величина воздухообмена, м <sup>3</sup> /час	В процентах от нормативного значения	
		1– комнатная квартира	2–комнатная квартира
при закрытых створках окон	1,44 – 3,6;	1,3 – 3,3	1,14 – 2,9
при микрощелевом проветривании	28,8 – 43,2;	26,7 – 40,0	22,9 – 34,3
при открытии до упора на горизонтальной оси	43,3 – 57,6	40,1 – 53,3	34,4 – 45,7

Приведенные в таблице результаты замеров оценивают воздухообмен в помещениях квартир при условии постоянного или длительного положения створок окон во всех квартирах, имеющих один магистральный канал в вентблоке по высоте здания.

Однако, натурные обследования и расспросы жильцов указали на то, что регулирование притока воздуха путем установки створок окон на микрощелевое проветривание и на положение створки до упора происходит скорее не систематически, а эпизодически в разное время разными квартирами, составляющими упомянутый ряд квартир. Это приводит к снижению скорости и даже блокировке тяги в вентблоках.

Инструментальные замеры подтвердили наличие обратной тяги в вытяжных каналах. Осмотр проектного решения и фактического исполнения вентблоков указал на одну из причин образования обратной тяги – вытяжные каналы в ряде квартир проделаны в вентблоках не на своем, а на «проходящем» канале, удаляющем воздух из других квартир. На нижних этажах эта проблема еще не так заметна, а вот на верхних этажах, если вытяжное отверстие проделано на таком транзитном канале, поток воздуха, поднимаясь по каналу и циркулируя

мимо входа в канал, либо будет давать обратную тягу, либо будет сильно препятствовать удалению воздуха из квартиры.

Квартиры присоединены к такой системе вентиляции «в разбежку». Вентблоки отлиты на заводе ЖБИ таким образом, что каналы спутники (они же – разгонные участки) сообщаются с общей шахтой окошками через каждые 2,5 метра.

Однако, опыт строительства показывает, что при монтаже таких блоков часто допускаются нарушения технологического процесса.

В ряде квартир 8, 9, 10 этажей были зафиксированы температуры поверхностей вентиляционных блоков заметно более низкие, чем температуры воздуха в помещениях, что указывает на проникновение в вентиляционные каналы холодного наружного воздуха и на возможность увлажнения этих поверхностей при достижении температуры точки росы.

При открытых на «микропроветривание» окнах в вентиляционных каналах исследованных квартир обратной тяги не наблюдалось.

Теплотехнический расчет показал, что в помещениях квартир возникает возможность увлажнения поверхности блока конденсационной влагой (при понижении температуры наружного воздуха ниже  $-6^{\circ}\text{C}$ , а также при увеличении значения относительной влажности внутреннего воздуха более 52%, что достаточно быстро достигается при горении бытового газа и выделении в результате этого в воздух помещения большого количества влаги).

В целях энергосбережения в настоящее время наружные ограждения часто проектируют в виде многослойных конструкций с повышенными сопротивлениями теплопередаче и воздухопроницанию, практически исключая инфильтрацию наружного воздуха, что приводит к созданию герметично-замкнутого пространства.

Расчет на воздухопроницаемость наружных стен обследованных зданий по разработанной в [12,73] методике показал, что даже при максимальном перепаде давлений воздуха, характерном для стен первого этажа, через  $1 \text{ м}^2$  ее конструкции

за 1 час инфильтруется всего  $0,056 \text{ м}^3$  воздуха (при температуре наружного воздуха минус  $29^\circ\text{C}$ ), что составляет всего  $1,87\%$  от нормативного значения (для  $1 \text{ м}^2$  помещения). По функции воздухопроницаемости эти стены, конструктивное решение которых описано в начале раздела 2.2.3, противопоставлены тем конструкциям стен, которые считаются "дышащими".

Инфильтрация холодного воздуха не учитывается в должной мере и при оценке теплопотерь через наружные ограждающие конструкции.

Действительно, для нормируемого воздухообмена в 2-х комнатной квартире упомянутой площади ( $42 \text{ м}^2$ ) в холодный период года должно подаваться  $126 \text{ м}^3/\text{час}$  наружного воздуха. Для нагрева такого количества холодного воздуха с температурой  $-29^\circ\text{C}$  необходимо затратить энергии в количестве  $2,5 \text{ кВт}$ .

Можно полагать, что это количество тепла нормативами не учитывается в полной мере при определении тепловой мощности системы отопления, в результате чего при открытии створки окна для проветривания на продолжительное время может возникнуть переохлаждение комнат и дискомфорт. Это и вызывает у многих жильцов психологическое неприятие даже периодического проветривания помещений.

Следовательно, на этапе проектирования необходимо комплексное решение задачи по разработке конструктивного решения энергосберегающего наружного ограждения и организации воздухообмена помещений.

#### 2.2.6. Выводы по результатам натурного исследования

Результаты обследований и инструментальных замеров показали следующее.

Фактический воздухообмен в помещениях квартир составляет только часть

(не более 46%) от требуемого значения по нормам при условии одновременного и долговременного открытия створок окон в квартирах, расположенных по высоте здания, с одним и тем же магистральным вытяжным каналом. Соблюдение этого условия по ряду причин представляется маловероятным.

Высокая герметичность ограждающих конструкций приводит к уменьшению естественного воздухообмена помещений и, как следствие, к повышению содержания вредных, в том числе токсических, веществ в воздухе, а также к повышению его относительной влажности.

Таким образом, имеются веские основания считать, что обследованные здания имеют все признаки упомянутого в начале главы синдрома "больного" здания ("Sick building").

Пути решения этой проблемы заключаются в обеспечении достаточного притока воздуха за счет установки специальных приточных вентиляционных устройств в стенах или оконных конструкциях, либо в использовании механических систем вентиляции, а также в применении инновационных решений по регулированию воздухопроницаемости капиллярно-пористой структуры материала наружного ограждения, позволяющих создать конструкцию "дышащей" стены.

Разработка упомянутого инновационного решения является одной из поставленных задач диссертационного исследования.

#### 2.2.7. Анализ климатограмм для Пензенского и других регионов 2-го климатического района

Для выполнения второй поставленной задачи диссертационной работы по учету воздействия климатических факторов на процессы тепломассопереноса через наружные ограждения был выполнен анализ климатограмм для

Пензенского и ряда других регионов 2-го климатического района (рис.2.10-2.21).

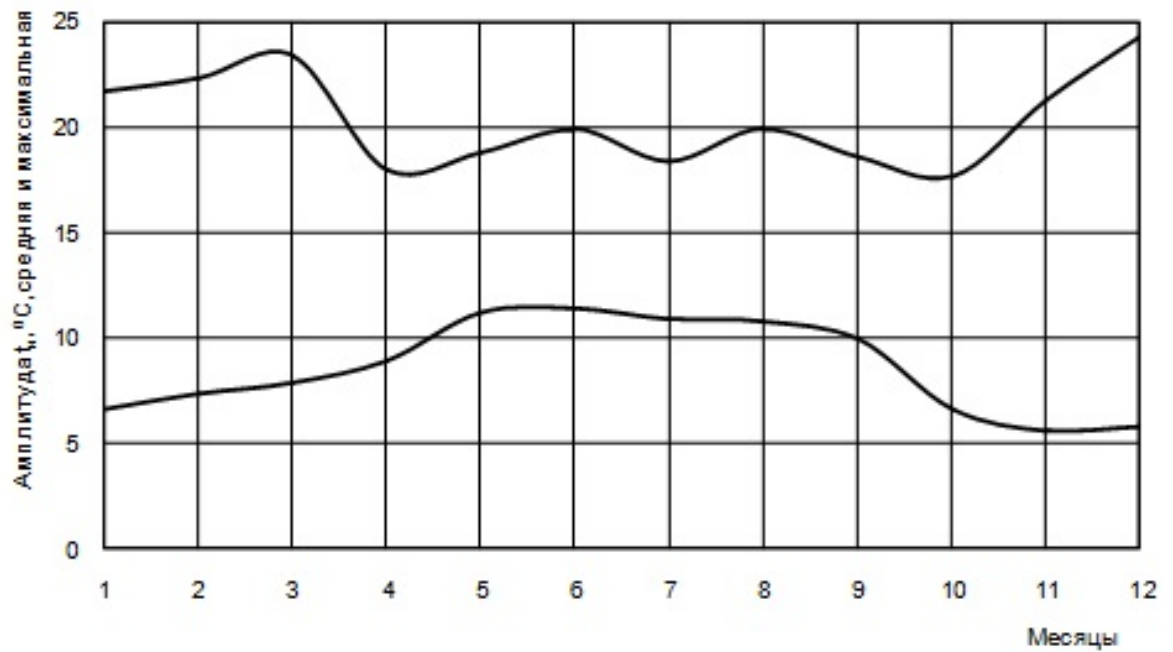


Рис.2.10. Амплитуда колебаний температуры наружного воздуха (г.Пенза)

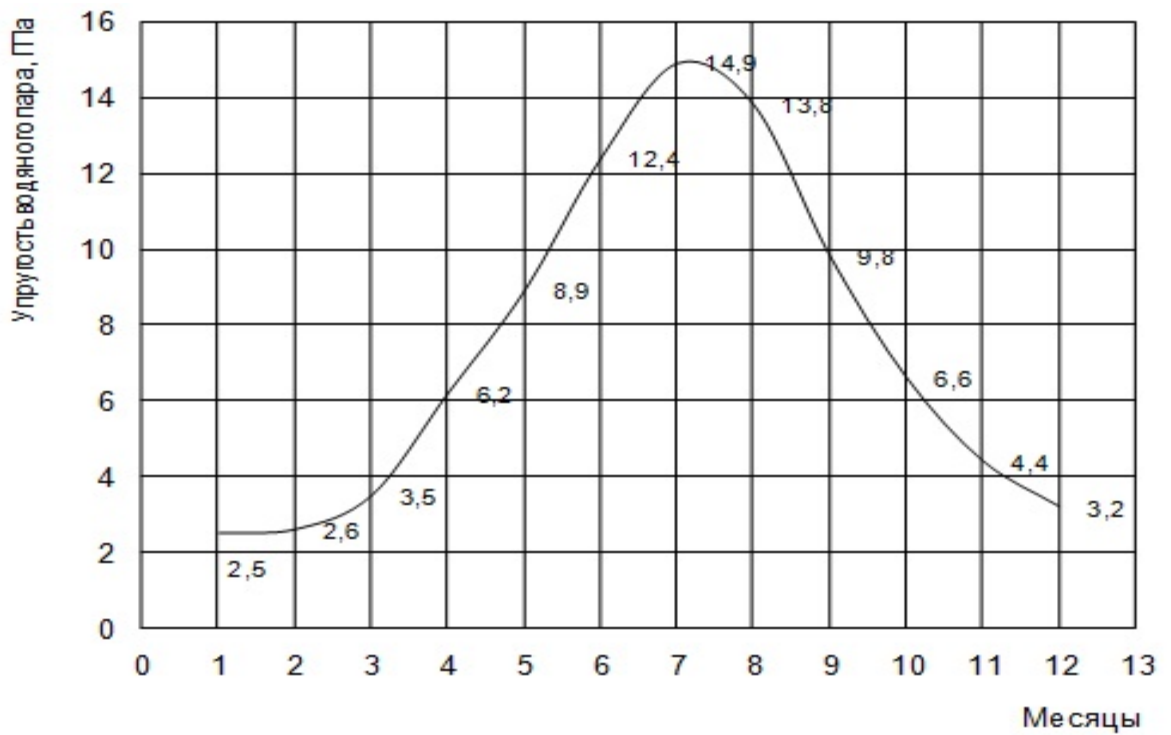


Рис.2.11. Упругость водяного пара наружного воздуха (г.Пенза)

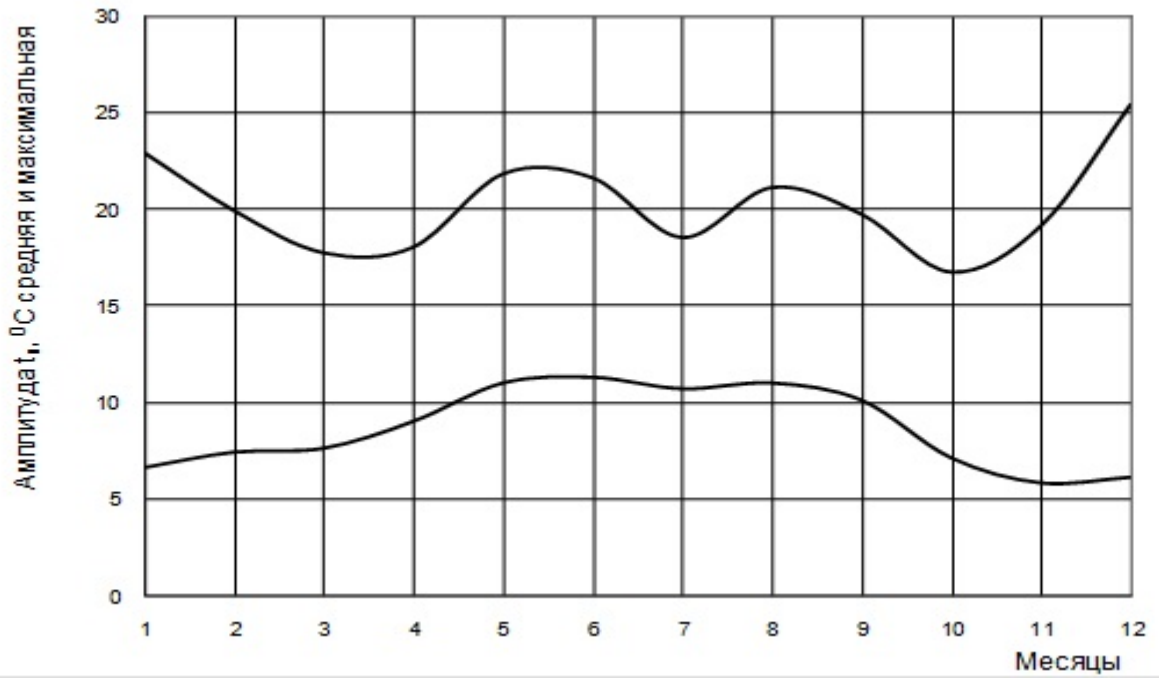


Рис.2.12. Амплитуда колебаний температуры наружного воздуха (г.Самара)

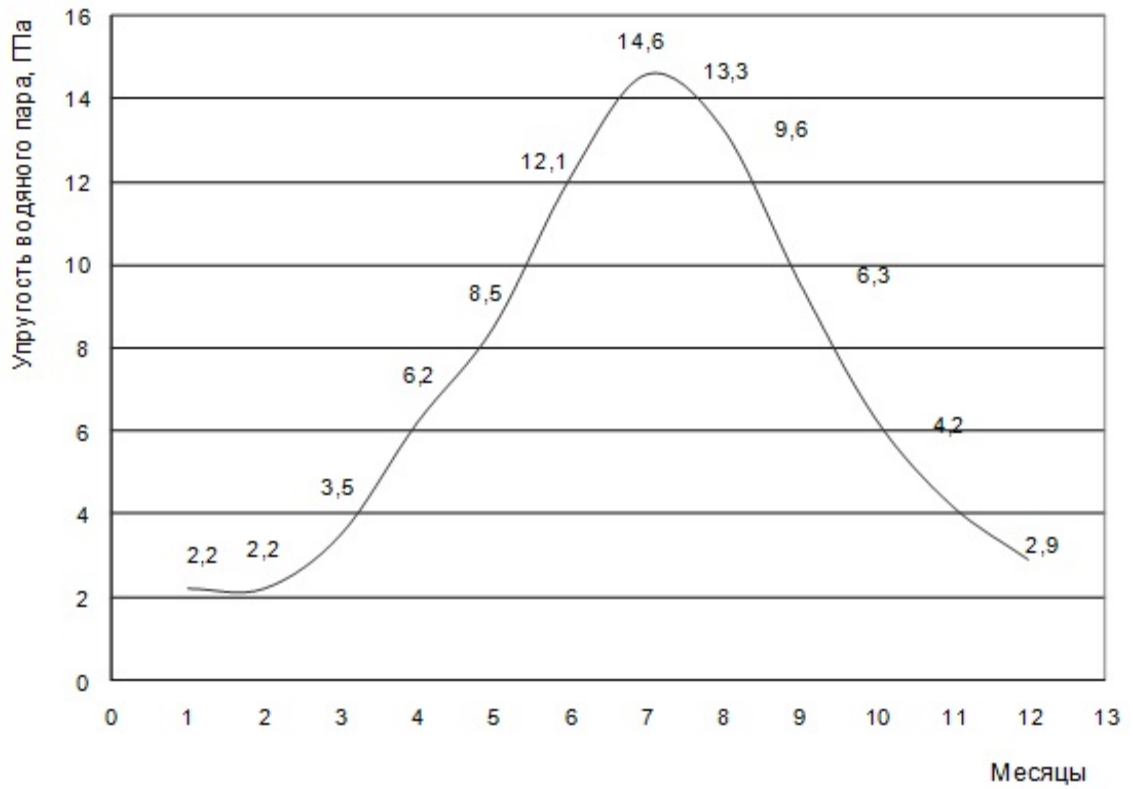


Рис.2.13. Упругость водяного пара наружного воздуха (г.Самара)



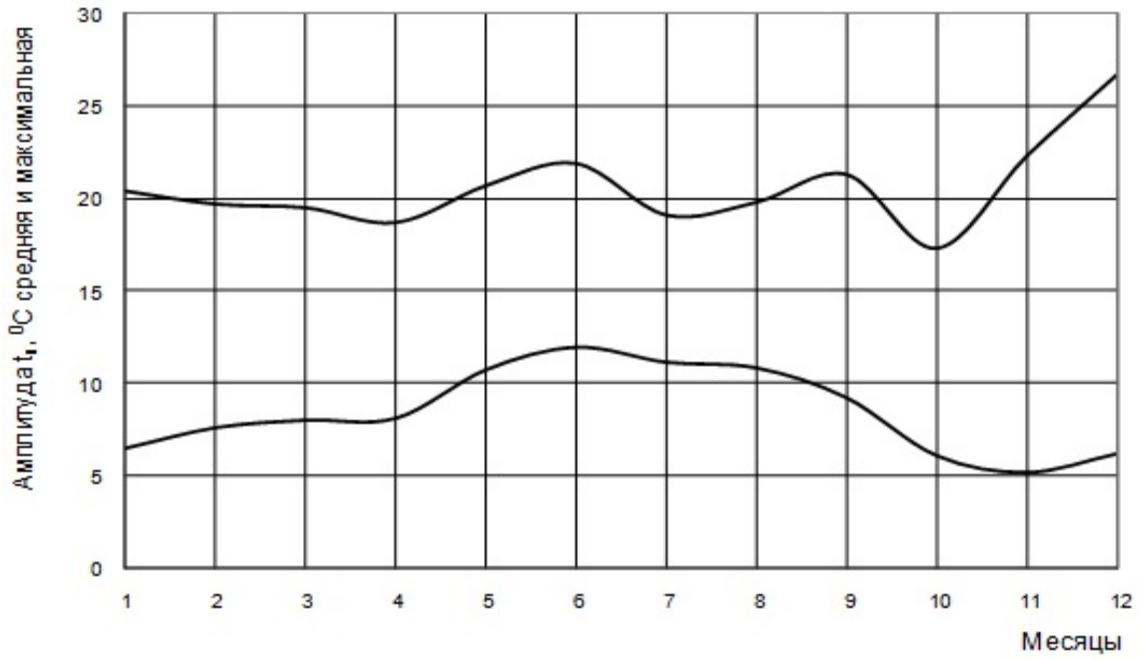


Рис.2.14. Амплитуда колебаний температуры наружного воздуха (г.Казань)

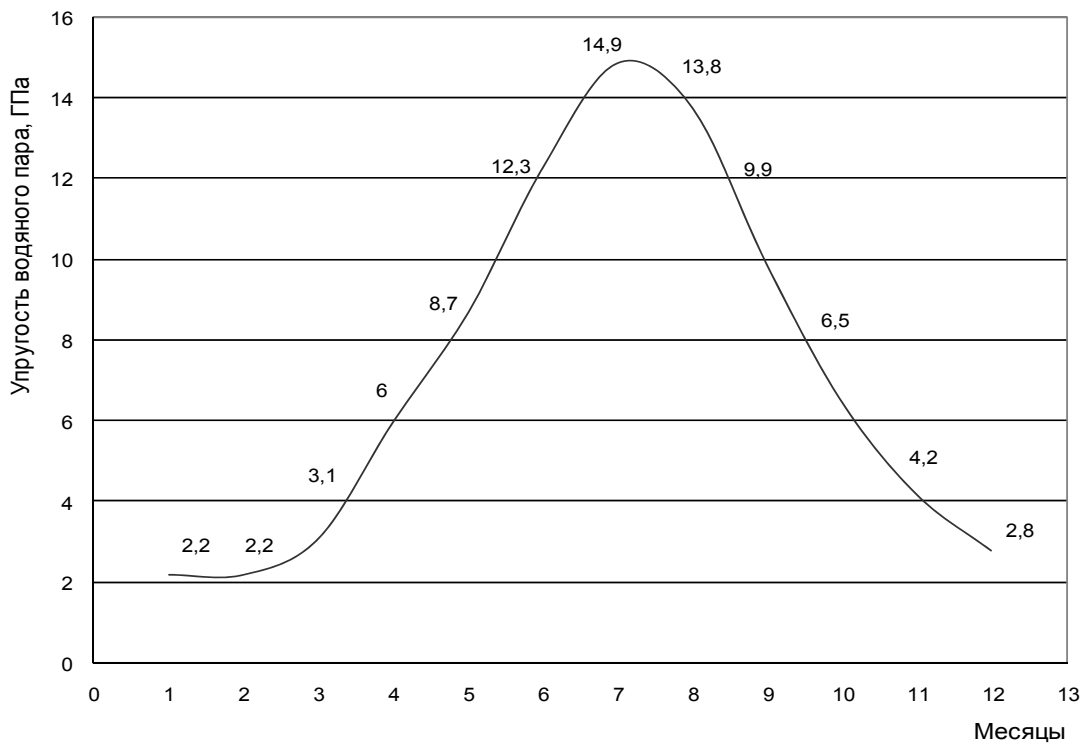


Рис.2.15. Упругость водяного пара наружного воздуха (г.Казань)

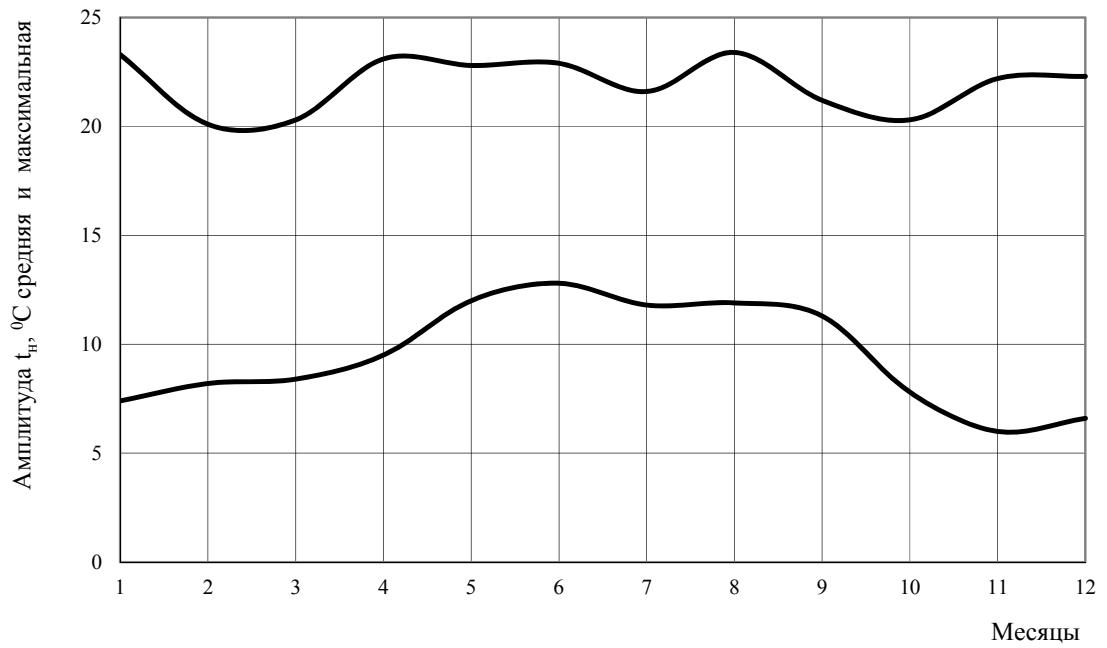


Рис.2.16. Амплитуда колебаний температуры наружного воздуха (г.Ульяновск)

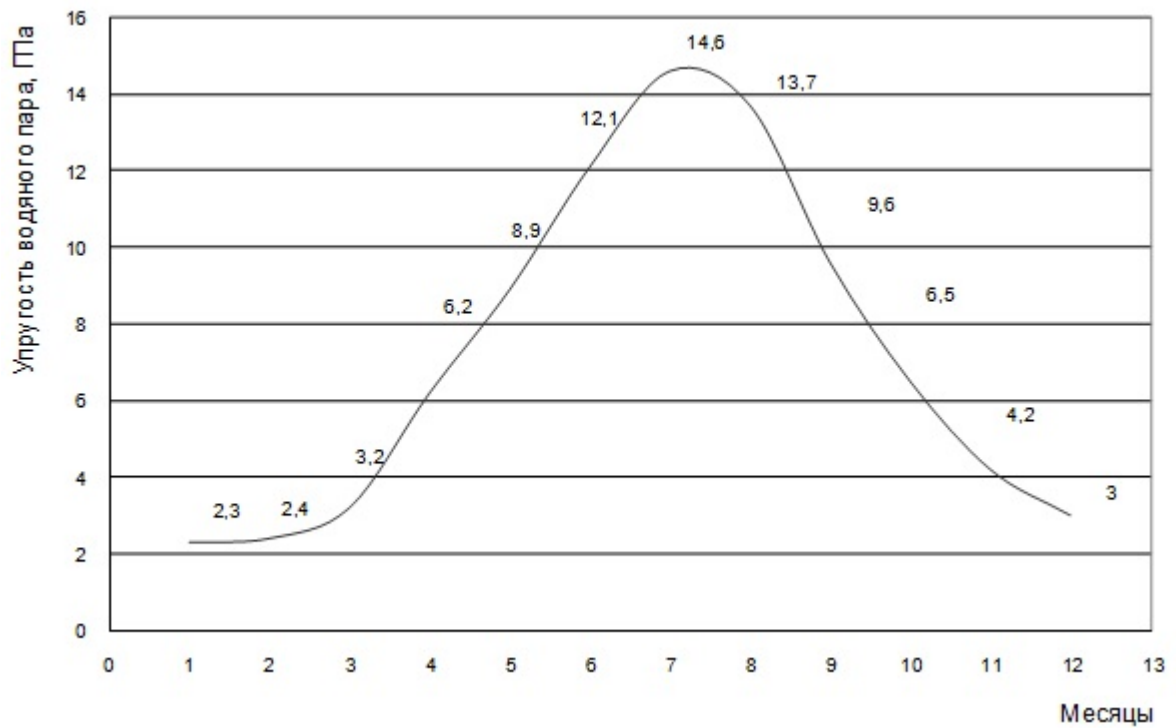


Рис.2.17. Упругость водяного пара наружного воздуха (г.Ульяновск)

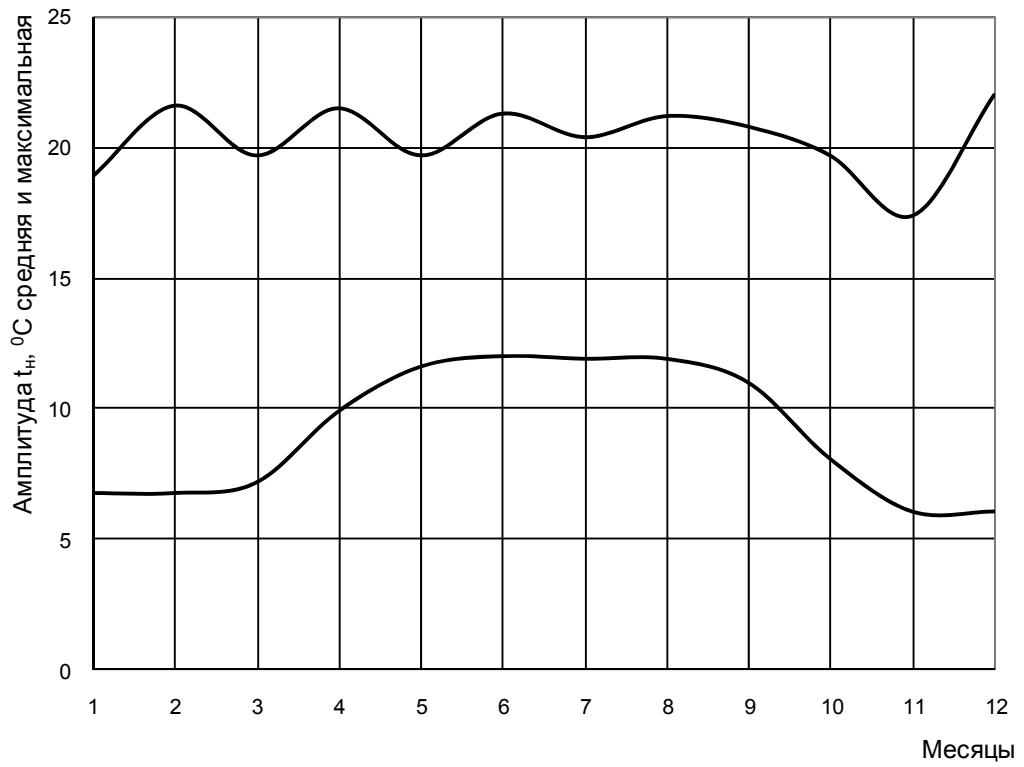


Рис.2.18. Амплитуда колебаний температуры наружного воздуха (г.Саратов)

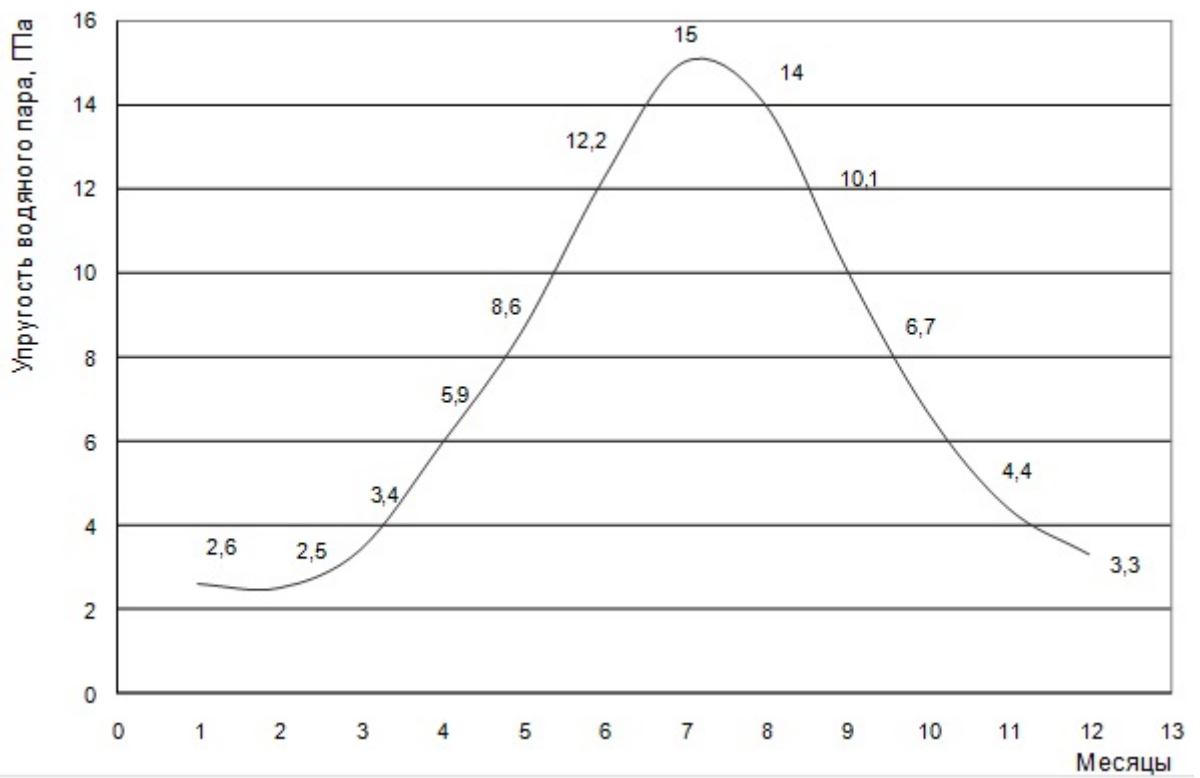


Рис.2.19. Упругость водяного пара наружного воздуха (г.Саратов)

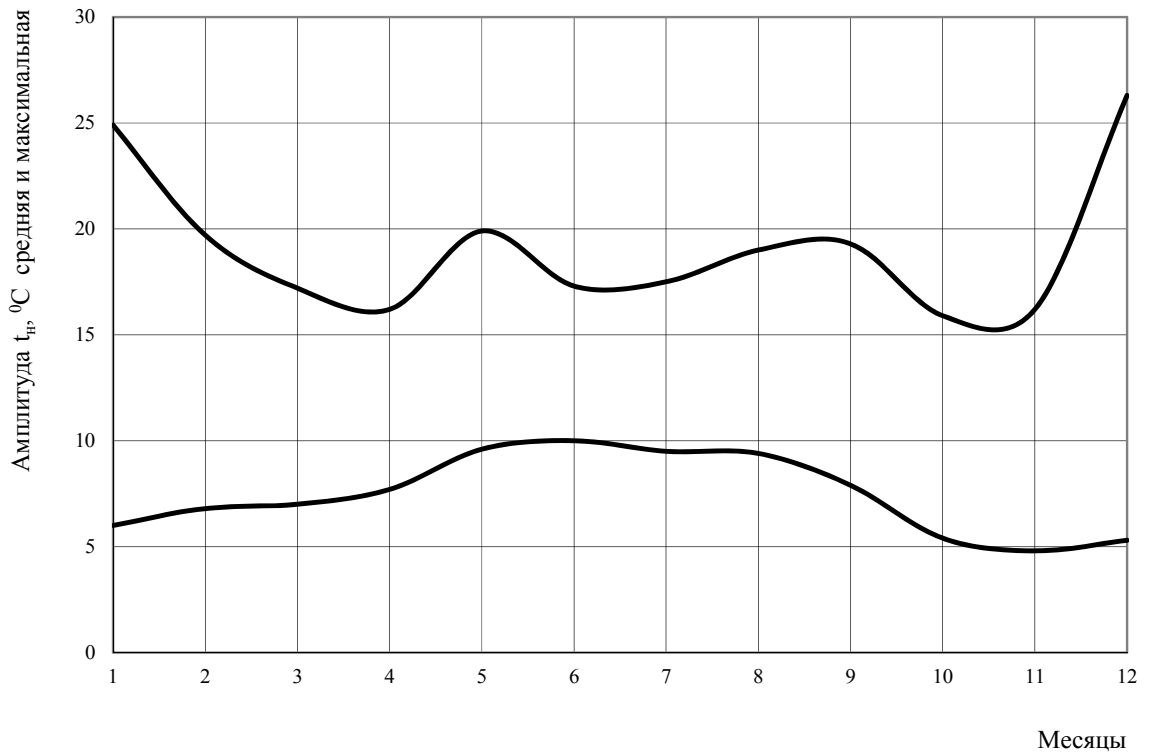


Рис.2.20. Амплитуда колебаний температуры наружного воздуха (г.Нижний Новгород)

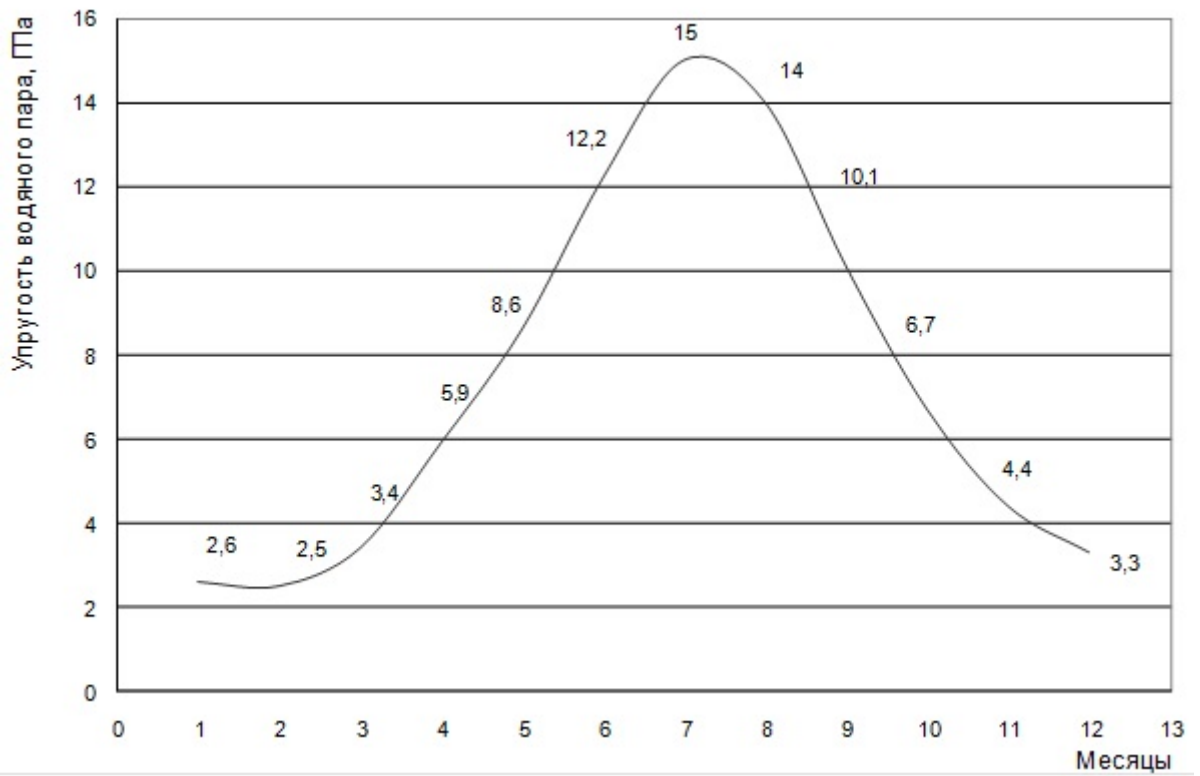


Рис.2.21. Упругость водяного пара наружного воздуха (г.Нижний Новгород)

Таким образом, анализ климатограмм, представленных на рис.2.10-2.21, показал, что на указанных территориях отмечаются значительные колебания амплитуды температуры наружного воздуха и упругостей водяного пара воздушных сред по обе стороны наружного ограждения (например, для г. Пенза в январе разница между средней и максимальной температурой составляет 16°C, в г. Нижний Новгород 20 °С, а упругость водяного пара в наружном воздухе этих городов почти в 10 раз меньше, чем в воздухе помещения). Это указывает на возможность интенсивной передачи, а в ряде случаев и накопления парообразной влаги в толще ограждения, а также на вероятность фазовых переходов влаги в структуре материала ограждения со стороны наружной поверхности.

## ГЛАВА 3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УВЛАЖНЕНИЯ И ПРОМЕРЗАНИЯ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПРИМЕНЯЕМОГО МАТЕРИАЛА

### 3.1. Постановка задачи исследования

В строительных нормах и правилах по теплотехническому проектированию наружных ограждающих конструкций теплопроводность материала определяют по условиям эксплуатации А или Б [125], которые устанавливаются раз и навсегда на весь длительный период эксплуатации здания и практически не оценивают теплопроводность переувлажненного материала, а также ее зависимость от фазовых превращений влаги в его капиллярно–пористой структуре при тепломассопереносе. К переувлажнению материала ограждающих конструкций приводят ошибки на этапах проектирования, строительства и эксплуатации зданий (недостаточный учет климатических факторов строительства, дефекты по устройству системы наружного водоотвода с крыш, пароизоляционного слоя в наружных ограждающих конструкциях, нарушение сроков ремонта элементов и конструктивных слоев, влияющих на влажностное состояние наружных ограждений, и др.).

С наступлением периода низких температур наружный слой увлажненных конструкций ограждений подвергается промерзанию на определенную толщину  $\delta_z$ , которая меняется во времени. Процессы теплообмена в таких конструкциях связаны с фазовыми превращениями влаги (льдообразованием, таянием, испарением, конденсацией). Это вызывает заметные изменения теплофизических показателей материалов, теплового баланса в ограждении, постепенное снижение прочностных характеристик конструкции.

В ограждающих конструкциях, утепленных снаружи, слой теплоизоляции

позволяет удерживать основной массив стены в зоне положительных температур. Однако в однослойных однородных ограждениях влага, содержащаяся в капиллярах и порах материала, может подвергаться замерзанию при достаточно длительном воздействии низких температур до границы, где линия падения температуры по толщине конструкции опускается ниже нуля.

В постановленной задаче исследования последовательно решались следующие этапы:

1. Оценка теплопроводности увлажнённого материала наружного ограждения в конструктивном слое с отрицательной температурой.

2. Выявление в процентном соотношении отклонения расчётного значения коэффициента теплопроводности материала в зоне его промерзания  $\lambda_z$ , определённого по (3.5), от экспериментального значения  $\lambda_z^{\text{эк}}$ , принятого в соответствии с [139].

3. Определение термического сопротивления и тепловых потерь наружной стены с учётом промерзания материала и сравнение их со значениями, рассчитанными без учёта промерзания;

4. Установление области применения расчётной модели.

### 3.2. Теоретическое исследование и методика оценки тепловых потерь через наружное ограждение с увлажнёнными конструктивными слоями при фазовых переходах влаги

В процессе тепломассопереноса в однослойном наружном ограждении при отрицательной температуре и при отсутствии фильтрационного движения потенциалом переноса пара является градиент температуры  $\nabla t$ , а влаги – градиент влагосодержания  $\nabla u_{\text{ж}}$ , что справедливо при любых температурах тела [72]:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \operatorname{div}(a_m \cdot \nabla u_{\text{ж}} + a_m \cdot \delta \cdot \nabla t) \quad (3.1)$$

где  $a_m$  – коэффициент потенциалопроводности суммарного переноса пара и жидкости;  $\delta$  – суммарный термоградиентный коэффициент:

$$\delta = \frac{(a_{\text{мп}} \cdot \delta_{\text{п}} + a_{\text{мж}} \cdot \delta_{\text{жс}})}{a_m}$$

Когда вся вода в наружном слое ограждения превращается в лед, то:

$$\frac{\partial u_{\text{л}}}{\partial z} = \operatorname{div}(a_{\text{мп}} \cdot \delta_{\text{п}} \cdot \nabla t) \quad (3.2)$$

где  $a_{\text{мп}}$  – коэффициент потенциалопроводности переноса пара;  $\delta_{\text{п}}$  – термоградиентный коэффициент переноса пара.

Определение теплопроводности для решения практических задач с учетом фазовых превращений влаги и скорости их прохождения по толщине наружного ограждения в реальных (нестационарных) условиях эксплуатации с использованием уравнений (3.1,3.2) представляет известные математические трудности. Рассмотрим более простую модель, которая учитывает только промерзание увлажненного материала и позволяет оценить изменение его коэффициента теплопроводности. При этом примем следующие допущения:

1.С наступлением долговременного периода сильного похолодания температура на наружной поверхности ограждения  $t_{\text{н}}$  понизилась до постоянной отрицательной величины.

2.В толще ограждения на подвижной границе промерзания сохраняется температура начала промерзания влаги  $t_3$ .

3.В мерзлой и во влажной зонах ограждения температура изменяется по линейному закону.

В соответствии с уравнением теплового баланса на границе промерзания конструкции [19], в капиллярах и порах материала выделяется тепло льдообразования



$$r \cdot i \cdot u_{\text{ж}} \cdot \gamma_0 \cdot \frac{d\delta_3}{dz} = \lambda_3 \cdot \frac{\partial t_3}{\partial x} - \lambda_{\text{в}} \cdot \frac{\partial t_{\text{в}}}{\partial x} \quad (3.3)$$

где  $\lambda_3$ ,  $\lambda_{\text{в}}$ ,  $t_3$ ,  $t_{\text{в}}$  – соответственно коэффициенты теплопроводности материала и его температура в мерзлой и влажной зонах наружного ограждения;  $u_{\text{ж}}$  – влажность материала;  $i$  – доля замерзающей влаги;  $\gamma_0$  – плотность материала в сухом состоянии.

Для продолжительного и медленного характера изменения низких температур скорость продвижения границы промерзания  $\frac{\partial \delta_3}{\partial z} \rightarrow 0$ , а величина  $r$  пренебрежительно мала. Тогда уравнение (3.3) теплового баланса на границе мерзлой и влажной зон можно представить исходя из условий стационарной теплопередачи [19,10]:

$$\lambda_3 \cdot \frac{t_3 - t_{\text{н}}}{\delta_3} - \lambda_{\text{в}} \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_3}{\delta - \delta_3} = 0 \quad (3.4)$$

где  $t_3$  – температура начала замерзания влаги, °С;  $\delta_3$  – глубина промерзшей зоны ограждения, м.

Из уравнения (3.4) коэффициент теплопроводности материала в зоне промерзания конструкции для однослойной однородной конструкции ограждения составит величину:

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_{\text{в}} (t_{\text{в}} - t_3) \cdot \delta_3}{(t_3 - t_{\text{н}}) \cdot (\delta - \delta_3)} \quad (3.5)$$

Значение коэффициента теплопроводности материала влажной зоны  $\lambda_{\text{в}}$  в уравнении (3.5) может быть найдено по известной зависимости:

$$\lambda_{\text{в}} = \lambda_{\text{с}} \left( 1 + \omega_0 \cdot \frac{\delta_{\omega}}{100} \right) \quad (3.6)$$

где  $\lambda_{\text{с}}$  – коэффициент теплопроводности сухого материала;  $\omega_0$  – влажность материала, % по объему;  $\delta_{\omega}$  – прирост коэффициента теплопроводности на 1% объемной влажности материала. Величина  $\delta_{\omega}$  зависит от вида капиллярно-пористого материала, его плотности и трудно поддается систематизации для

получения общей зависимости теплопроводности материала от его влажности. Поэтому более точное значение коэффициента  $\lambda_v$  материала ограждений было принято по результатам экспериментальных исследований зависимости  $\lambda_v = f(\omega_0)$ , выполненных Франчуком А.У.[139] в НИИ строительной физики. В этих исследованиях экспериментально измерялась теплопроводность материала для трех влажностных состояний, которые характерны для долговременной эксплуатации наружных ограждений зданий: стабильное состояние сорбционной влажности, предельно допустимое ее значение  $\omega_{пр}^{сорб}$  за счет увеличения сорбционной влажности к концу отопительного периода, сверхсорбционная влажность материала при воздействии капельно–жидкой влаги.

Как известно, в конструкциях наружных ограждений с капиллярно–пористой структурой материала температура начала замерзания основной массы свободной влаги колеблется в диапазоне  $-1...-3^{\circ}\text{C}$ . В рассматриваемой модели принята максимально возможная величина  $\delta_z$ , находящаяся у границы нулевого значения температуры на линии ее распределения по толщине конструкции. Толщина зоны промерзания  $\delta_z$  находилась графо–аналитическим способом при стационарных условиях теплопередачи.

Исследование влияния увлажнения и промерзания материала проводилось для ограждений, выполненных из местных материалов: шлакобетона, пенобетона, керамзитобетона, пеносиликальцита различных плотностей.

### 3.3. Определение теплоэнергетических параметров увлажнённого и промерзшего слоёв конструкции по этапам исследования в численном эксперименте

Рассмотрена однослойная наружная стена, выполненная из шлакобетона плотностью  $1300 \text{ кг/м}^3$  при влажности материала 20%. Приняты следующие

условия:

1. Толщину ограждающей конструкции  $\delta$  определяем с учётом термического сопротивления, характерного для стен, возведённых до 1995 г.

2. С наступлением долговременного периода сильного похолодания температура на наружной поверхности ограждения понизилась до постоянной отрицательной величины  $t_n = -25^\circ\text{C}$ .

3. В мерзлой и во влажной зонах ограждения температура изменяется по линейному закону.

4. Значения  $\lambda_b$  для рассматриваемых материалов принимаем в соответствии с экспериментальными исследованиями [139].

5. В конструкции стены предусмотрена штукатурка с внутренней и наружной стороны толщиной  $\delta_{шт} = 2$  см ((её коэффициент теплопроводности  $\lambda_{шт} = 0,93$  Вт/(м<sup>2</sup> °С) принимаем для условий Б[125]). Для стен, выполненных из пеносиликальцита, штукатурка предусмотрена только с внутренней стороны.

6. Температура внутреннего воздуха  $t_b = 20^\circ\text{C}$ .

7. Коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей ограждения соответственно 8,7 и 23 Вт/м<sup>2</sup> °С.

8. Термосопротивление стены  $R = 1$  м<sup>2</sup> °С / Вт.

Тогда:

$$1 = 1/8,7 + 0,02/0,93 + \delta/0,561 + 0,02/0,93 + 1/23,$$

Откуда  $\delta = 0,45$  м.

Толщина слоя  $\delta_0$ , находящегося в зоне положительных температур:

$$\delta_0 = \lambda_b \cdot (t_b \cdot R / (t_b - t_n) - 1/\alpha_b - \delta_{шт}/\lambda_{шт}),$$

$$\delta_0 = 0,561 \cdot (20 \cdot 1,003 / (20 + 25) - 1/8,7 - 0,02/0,93) = 0,173 \text{ м.}$$

Толщина слоя  $\delta_3$ , находящегося в зоне отрицательных температур:

$$\delta_3 = \delta - \delta_0 = 0,45 - 0,173 = 0,277 \text{ м.}$$

Расчётное значение коэффициента теплопроводности  $\lambda_3$  по (3.5):

$$\lambda_3 = \frac{0,561(20 - (-2)) \cdot 0,277}{(-2 - (-25)) \cdot (0,45 - 0,277)} = 0,861 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

После сравнения полученного значения с экспериментальным  $\lambda_3^{\text{ЭК}}$ [139] выявлено отклонение  $\Delta, \%$ :

$$\Delta = \frac{0,930 - 0,861}{0,861} \cdot 100\% = 7,4\%$$

В таблице 3.1 и на рис.3.1-3.4 представлены значения  $\lambda_3$ ,  $\lambda_3^{\text{ЭК}}$  и их зависимости от влажности и плотности материалов.

Таблица 3.1

Значения расчётных  $\lambda_3$  и экспериментальных  $\lambda_3^{\text{ЭК}}$  коэффициентов теплопроводности для различных материалов, находящихся в зоне отрицательных температур

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влажность $\omega, \%$	$\lambda_3$ , Вт/(м <sup>2</sup> °С)	$\lambda_3^{\text{ЭК}}$ , Вт/(м <sup>2</sup> °С)	$\Delta$ , %
Шлакобетон	1300	10	0,720	0,663	8,6
		15	0,791	0,797	0,7
		20	0,861	0,930	7,4
	1600	10	0,940	0,866	8,5
		15	1,013	1,000	1,3
		20	1,079	1,134	4,9
		25	1,148	1,268	9,5
Пенобетон	1200	10	0,608	0,605	0,5
		15	0,687	0,739	7
		20	0,767	0,871	11,9
Керамзитовый бетон	1400	10	0,687	0,651	5,5
		15	0,753	0,780	3,5
		20	0,822	0,900	8,7
	1600	10	0,825	0,756	9,1
		15	0,886	0,826	7,3
		20	0,956	0,936	2,1
		25	1,026	1,047	2
Пеносиликальцит	1200	10	0,633	0,605	4,6
		15	0,709	0,733	3,3
		20	0,786	0,861	8,7



Рис.3.1. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности и плотности для шлакобетона

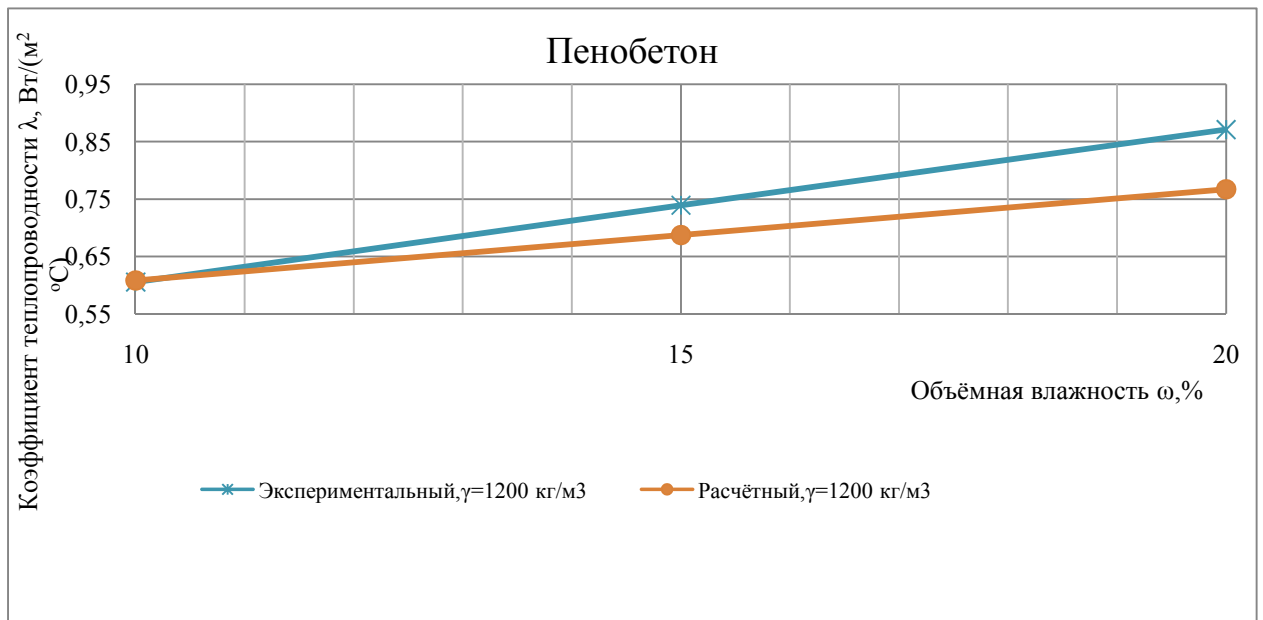


Рис.3.2. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности и плотности для пенобетона

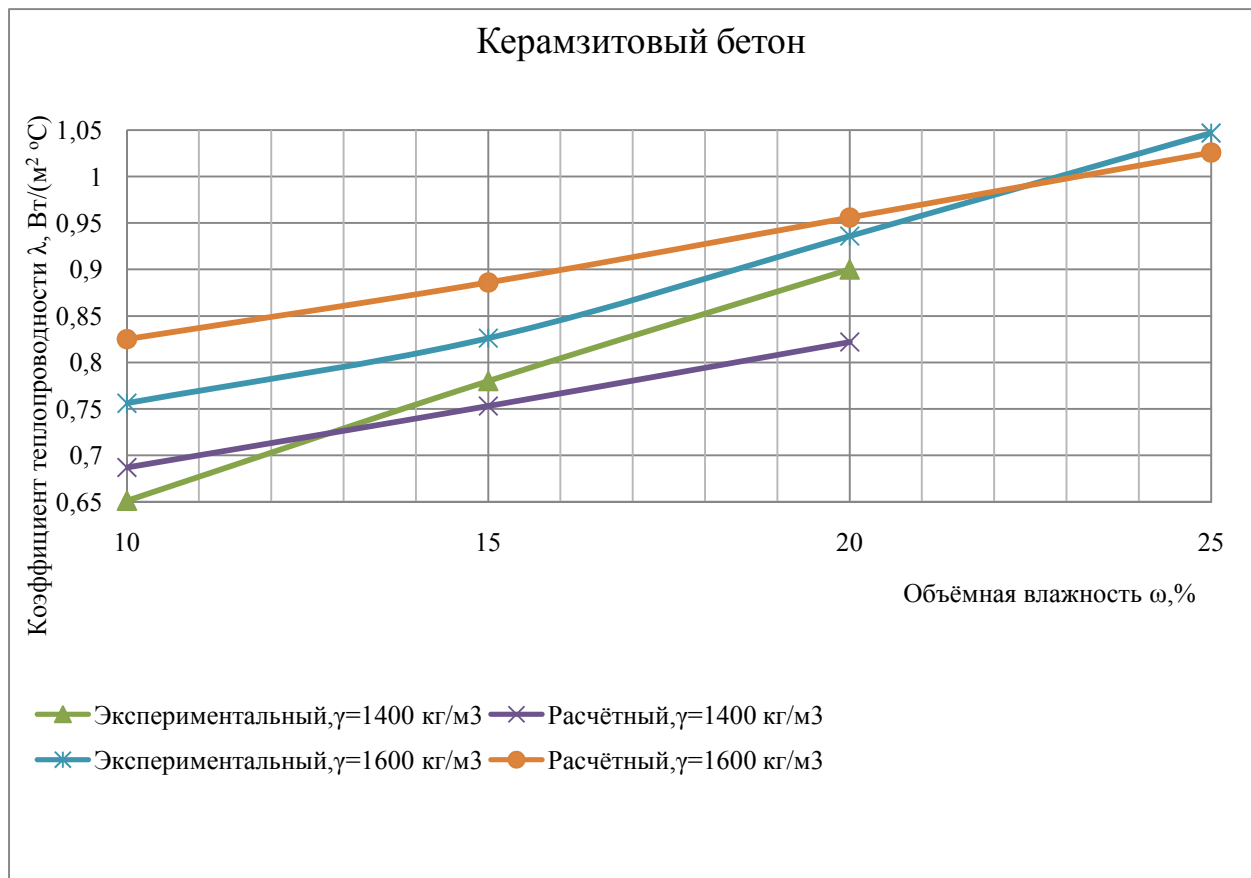


Рис.3.3. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности и плотности для керамзитового бетона

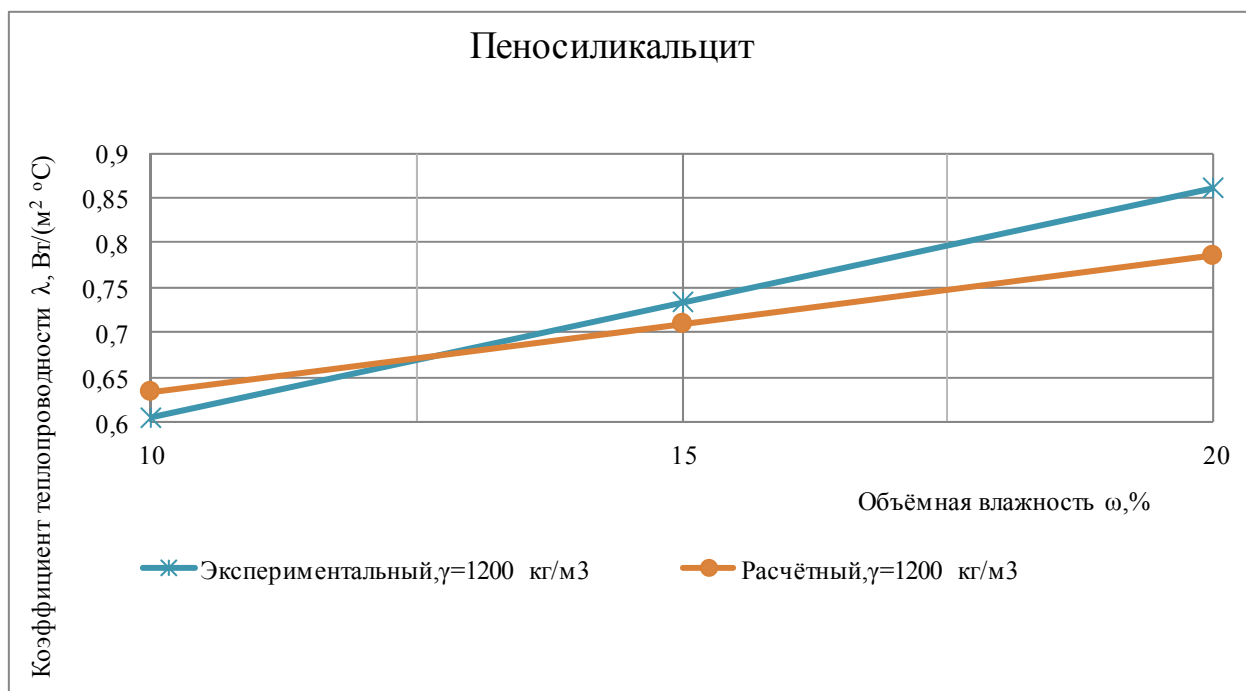


Рис.3.4. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности и плотности для пеносиликальцита

Выполняя дальнейший анализ расчетной модели в соответствии с поставленной задачей этого исследования, определили и сравнили следующие теплоэнергетические показатели: термическое сопротивление наружного ограждения без учёта промерзания стены ( $R$ ) и с учётом промерзания стены ( $R_c$ ) как для расчётного значения коэффициента теплопроводности  $\lambda_3$ , так и для его экспериментального значения  $\lambda_3^{\text{ЭК}}(R_{c^{\text{ЭК}}})$ , значения тепловых потерь  $Q$  через  $1 \text{ м}^2$  конструкции стены. В качестве примера принята вышеупомянутая стена из шлакобетона.

1. Тепловые потери через  $1 \text{ м}^2$  данной конструкции без учёта промерзания стены:

$$Q = (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) / R = (20 - (-25)) / 1,003 = 44,87 \text{ Вт.}$$

2. Термическое сопротивление с учётом промерзания стены для расчётного значения коэффициента теплопроводности:

$$R_c = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{ум}}}{\lambda_{\text{ум}}} + \frac{\delta_0}{\lambda_0} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{\text{ум}}}{\lambda_{\text{ум}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,173}{0,561} + \frac{0,277}{0,861} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{23} =$$

$$= 0,832 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт.}$$

3. Тепловые потери через  $1 \text{ м}^2$  данной конструкции с учётом промерзания стены для расчётного значения коэффициента теплопроводности:

$$Q_c = (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) / R_c = (20 - (-25)) / 0,832 = 54,09 \text{ Вт.}$$

4. Расхождение тепловых потерь  $\Delta Q_1$  через наружное ограждение с учётом и без учёта промерзания участка стены относительно расчётного значения коэффициента теплопроводности:

$$\Delta Q_1 = \frac{Q_c - Q}{Q} \cdot 100\% = \frac{54,09 - 44,87}{44,87} \cdot 100\% = 20,5\%.$$

5. Термическое сопротивление с учётом промерзания стены для экспериментального значения коэффициента теплопроводности:

$$R_c^{\text{ЭК}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{ум}}}{\lambda_{\text{ум}}} + \frac{\delta_0}{\lambda_0} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{\text{ум}}}{\lambda_{\text{ум}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,173}{0,561} + \frac{0,277}{0,93} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{23} =$$

$$= 0,808 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт.}$$

6. Тепловые потери через  $1\text{ м}^2$  данной конструкции с учётом промерзания стены для экспериментального значения коэффициента теплопроводности:

$$Q_{c}^{\text{ЭК}} = (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}}) / R_{c}^{\text{ЭК}} = (20 - (-25)) / 0,808 = 55,69 \text{ Вт.}$$

7. Расхождение тепловых потерь  $\Delta Q_2$  через наружное ограждение с учётом и без учёта промерзания участка стены относительно экспериментального значения коэффициента теплопроводности:

$$\Delta Q_2 = \frac{Q_{c}^{\text{ЭК}} - Q}{Q} \cdot 100\% = \frac{55,69 - 44,87}{44,87} \cdot 100\% = 24,1\%$$

8. Расхождение тепловых потерь  $\Delta Q_3$  через наружное ограждение с учётом промерзания для расчётного и экспериментального значений коэффициента теплопроводности:

$$\Delta Q_3 = \frac{Q_{c}^{\text{ЭК}} - Q_{c}}{Q_{c}} \cdot 100\% = \frac{55,69 - 54,09}{55,69} \cdot 100\% = 2,9\%$$

Подобные расчёты были произведены для выбранных материалов и полученные значения сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Значения термического сопротивления  $R$ , тепловых потерь  $Q$  для материалов с учётом и без учёта влияния промерзания стены

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влажность, $\omega$ , %	$R$ , м <sup>2</sup> °C /Вт	$R_c$ , м <sup>2</sup> °C/Вт	$R_{c}^{\text{ЭК}}$ , м <sup>2</sup> °C/Вт	$Q$ , Вт	$Q_c$ , Вт	$Q_{c}^{\text{ЭК}}$ , Вт	$\Delta Q_1$ , %	$\Delta Q_2$ , %	$\Delta Q_3$ , %
Шлакобетон	1300	10	1,124	0,944	0,977	40,04	47,67	46,06	19,1	15	3,5
		15	1,058	0,883	0,880	42,53	50,96	51,14	19,8	20,2	0,4
		20	1,003	0,832	0,808	44,87	54,09	55,69	20,5	24,1	2,9
	1600	10	1,207	1,018	1,054	37,28	44,20	42,69	18,6	14,5	3,5
		15	1,147	0,963	0,968	39,23	46,73	46,49	19,1	18,5	0,5
		20	1,095	0,918	0,900	41,10	49,02	50	19,3	21,7	2
	25	1,052	0,879	0,846	42,78	51,19	53,19	19,7	24,3	3,8	
Пенобетон	1200	10	1,166	0,981	0,983	38,59	45,87	45,78	18,9	18,6	0,2
		15	1,073	0,897	0,872	41,94	50,17	51,61	19,6	23,1	2,8
		20	0,999	0,830	0,791	45,05	54,22	56,89	20,4	26,3	4,7



Керамзитовый бетон	1400	10	1,246	1,057	1,081	36,12	42,57	41,63	17,9	15,3	2,3
		15	1,171	0,987	0,973	38,43	45,59	46,25	18,6	20,3	1,4
		20	1,105	0,926	0,894	40,72	48,60	50,34	19,4	23,6	3,5
	1600	10	1,245	1,055	1,095	36,14	42,65	41,10	18	13,7	3,8
		15	1,187	1,002	1,031	37,91	44,91	43,65	18,5	15,1	2,9
		20	1,128	0,947	0,955	39,89	47,52	47,12	19,1	18,1	0,8
		25	1,077	0,900	0,893	41,78	50	50,39	19,7	20,6	0,8
Пеносиликатит	1200	10	1,146	0,941	0,959	39,27	47,82	46,92	21,8	19,5	1,9
		15	1,061	0,865	0,853	42,41	52,02	52,76	22,7	24,4	1,4
		20	0,991	0,802	0,774	45,41	56,11	58,14	23,6	28	3,5

Из таблицы 3.2 следует, что при учёте промерзания влаги в наружном ограждении снижается значение термосопротивления, что вызывает увеличение тепловых потерь. Так, для расчётного коэффициента теплопроводности  $\lambda_3$  данное увеличение находится в пределах от 17,9% до 23,6, а для экспериментального коэффициента теплопроводности  $\lambda_3^{\text{эк}}$  - от 13,7% до 28%. При этом отклонение значения тепловых потерь при использовании расчётного коэффициента теплопроводности от тепловых потерь при использовании экспериментального коэффициента теплопроводности находится в пределах 0,2-4,7%, что подтверждает возможность использования разработанной расчётной модели.

На рис.3.5 представлены зависимости теплотерь через 1 м<sup>2</sup> ограждения от объёмной влажности при отрицательных температурах для шлакобетона плотностью 1600 кг/м<sup>3</sup>, пенобетона плотностью 1200 кг/м<sup>3</sup> и керамзитового бетона плотностью 1400 кг/м<sup>3</sup>.

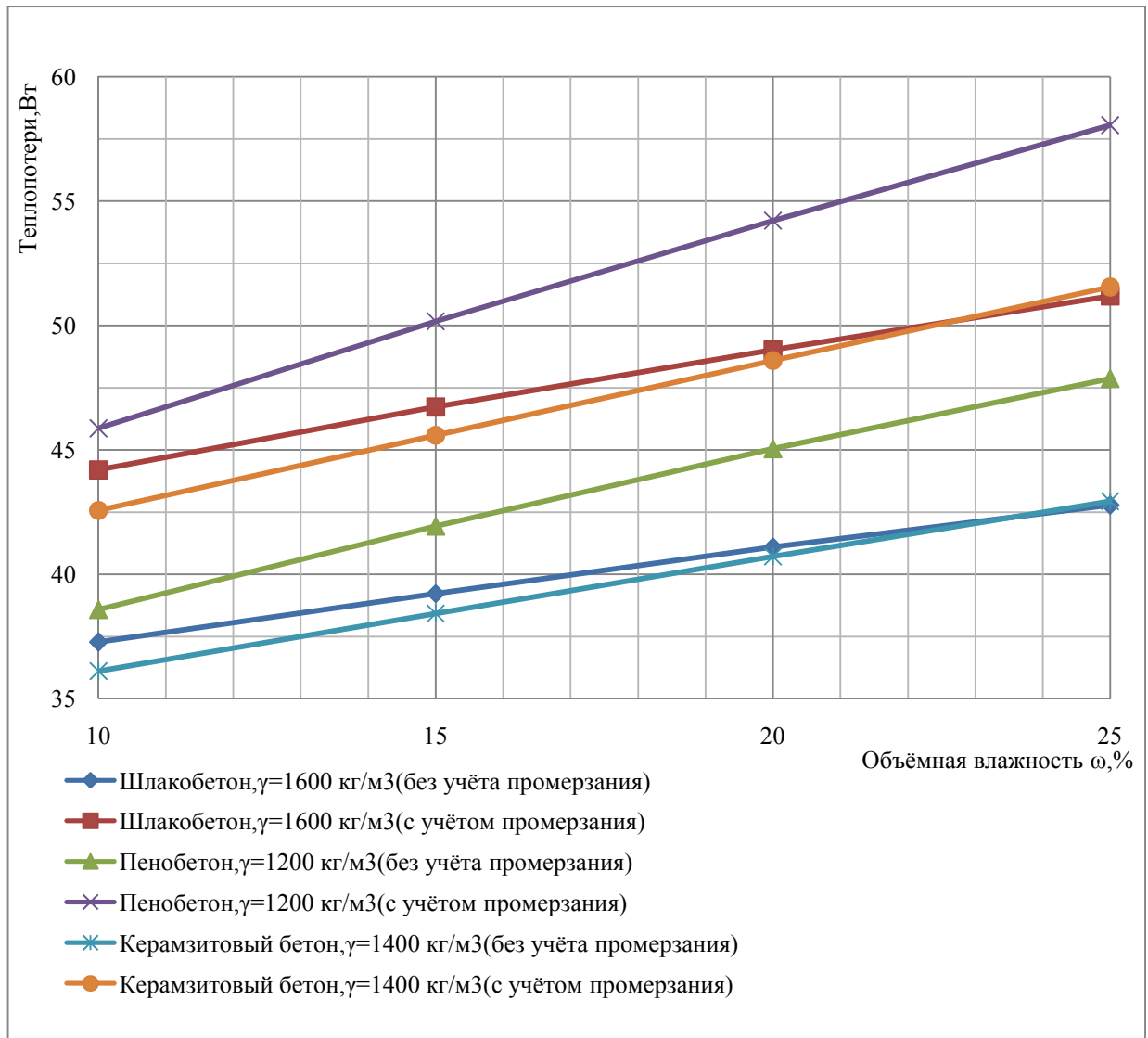


Рис.3.5. Зависимость теплопотерь от объёмной влажности и плотности для шлакобетона, пенобетона, керамзитового бетона.

Анализ таблицы 3.1 указывает на заметное возрастание расхождений расчётных и экспериментальных значений коэффициента теплопроводности  $\lambda_3$  и  $\lambda_3^{\text{ЭК}}$  в области значений объёмной влажности материала более 15-20%. Можно полагать, что это объясняется сложностью физических процессов воздействия фазовых переходов влаги из жидкого в твёрдое состояние на теплоперенос через капиллярно-пористую структуру материалов.

Отсюда можно сделать вывод, что разработанная расчётная модель не будет универсальной для всех рассмотренных материалов. Учитывая это, были введены для этих материалов поправочные коэффициенты. Введение

поправочных коэффициентов позволило расширить область применения разработанной расчётной модели, что отражено в таблице 3.3, где представлены поправочные коэффициенты  $k$ , расчётные коэффициенты теплопроводности  $\lambda_3^p$  более широкого спектра материалов с учётом поправочного коэффициента, экспериментальные коэффициенты теплопроводности  $\lambda_3^{эк}$ , отклонение расчётного коэффициента теплопроводности от экспериментального  $\Delta$ .

Таблица 3.3

Значения расчётных  $\lambda_3^p$  и экспериментальных  $\lambda_3^{эк}$  коэффициентов теплопроводности для различных материалов, находящихся в зоне отрицательных температур, с учётом поправочного коэффициента  $k$

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влажность $\omega$ , %	Поправочный коэффициент $k$	$\lambda_3^p$ , Вт/(м <sup>2</sup> °С)	$\lambda_3^{эк}$ , Вт/(м <sup>2</sup> °С)	$\Delta$ , %
Шлакобетон	900	10	1,2	0,534	0,487	9,7
		15		0,604	0,608	1,2
		20		0,666	0,729	8,6
	1300	10	1	0,720	0,663	8,6
		15		0,791	0,797	0,7
		20		0,861	0,930	7,4
	1600	10	1	0,940	0,866	8,5
		15		1,013	1,000	1,3
		20		1,079	1,134	4,9
25		1,148		1,268	9,5	
Пенобетон	300	10	1,35	0,36	0,334	7,8
		15		0,436	0,430	1,4
		20		0,505	0,515	1,9
		25		0,572	0,600	4,7
	800	10	1,25	0,523	0,476	10
		15		0,63	0,606	4
		20		0,729	0,735	0,8
		25		0,818	0,863	5,2
	1200	10	1,25	0,669	0,605	10,6
		15		0,756	0,739	2,3
		20		0,844	0,871	3,1
		25		0,931	1,003	7,2

Керамзитовый бетон	1200	10	1,1	0,602	0,566	6,4
		15		0,668	0,687	2,8
		20		0,728	0,807	9,8
	1400	10	1	0,687	0,651	5,5
		15		0,753	0,780	3,5
		20		0,822	0,900	8,7
	1600	10	1	0,825	0,756	9,1
		15		0,886	0,826	7,3
		20		0,956	0,936	2,1
		25		1,026	1,047	2
Пеносиликальцит	400	10	1,2	0,344	0,320	7,5
		15		0,427	0,418	2,2
		20		0,5	0,538	7,1
		25		0,587	0,636	7,7
		30		0,676	0,733	7,8
	800	10	1,15	0,493	0,454	8,6
		15		0,582	0,576	1
		20		0,683	0,698	2,1
		25		0,777	0,820	5,2
		30		0,876	0,942	7
	1200	10	1,05	0,665	0,605	9,9
		15		0,744	0,733	1,5
		20		0,825	0,861	4,2
		25		0,908	0,989	8,2
		30		1,007	1,116	9,8
Кирпич силикатный	1700	5	0,75	0,869	0,808	7,5
		10		0,938	0,948	1,1
		15		1,015	1,076	5,7
	1800	5	0,7	0,917	0,913	0,4
		10		1,006	1,041	3,4
		15		1,093	1,180	7,4
	2000	5	0,6	1,065	1,093	2,6
		10		1,243	1,210	2,7
Кирпич красный	1700	5	0,8	0,726	0,698	4
		10		0,841	0,843	0,2
		15		0,942	0,989	4,8
		20		1,054	1,134	7
	1800	5	0,8	0,801	0,756	6
		10		0,902	0,901	0,1

		15		1,005	1,047	4
		20		1,098	1,192	7,9
	1900	5	0,8	0,894	0,826	8,2
		10		0,991	0,977	1,4
		15		1,090	1,128	3,4
		20		1,193	1,279	6,7

На рис. 3.6-3.11 представлены зависимости коэффициента теплопроводности от объёмной влажности и плотности с учётом поправочного коэффициента.

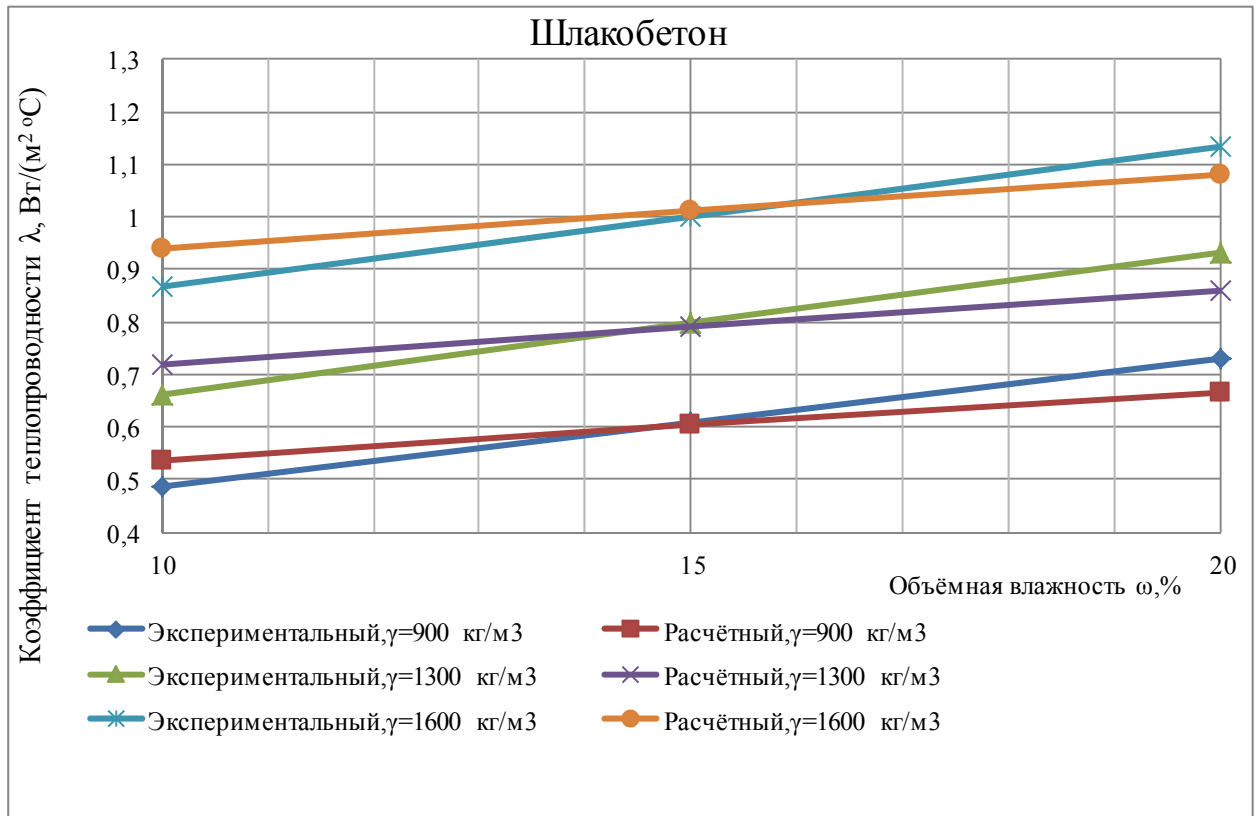


Рис.3.6. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности и плотности для шлакобетона

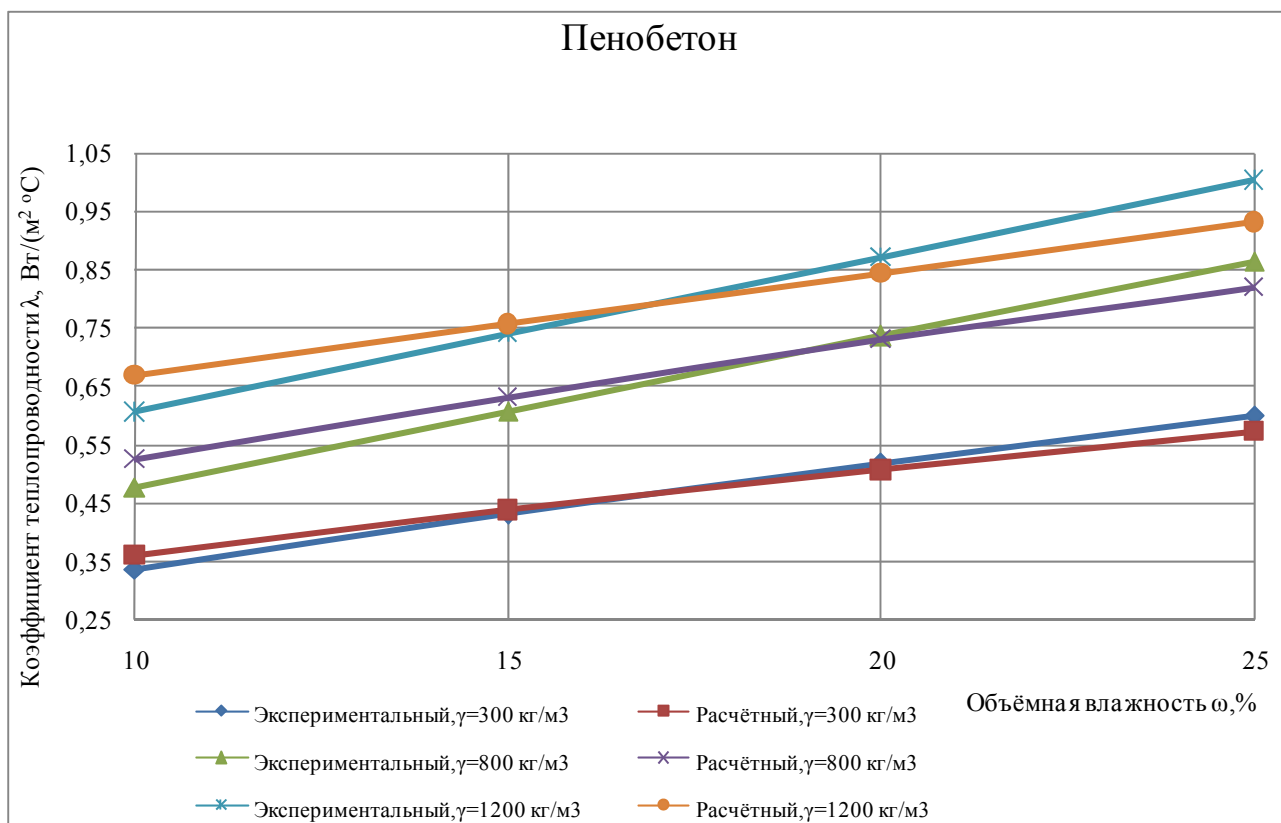


Рис.3.7. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности и плотности для пенобетона

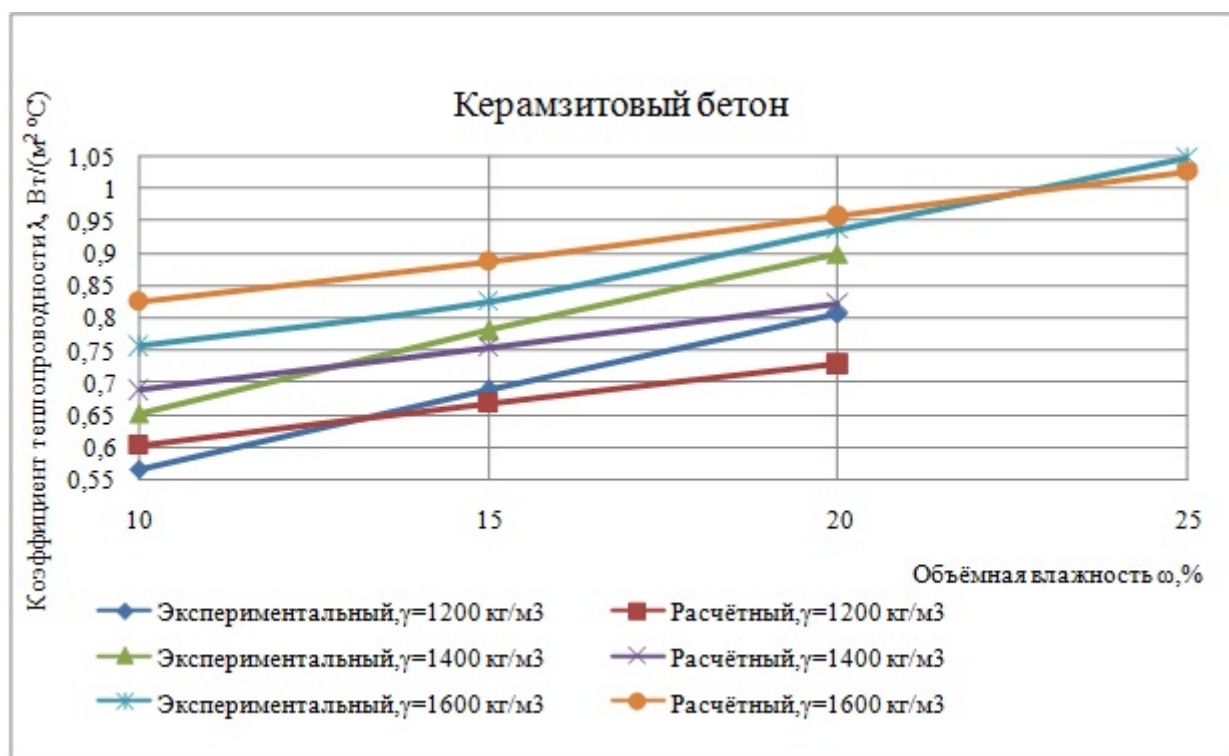


Рис.3.8. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности и плотности для керамзитового бетона

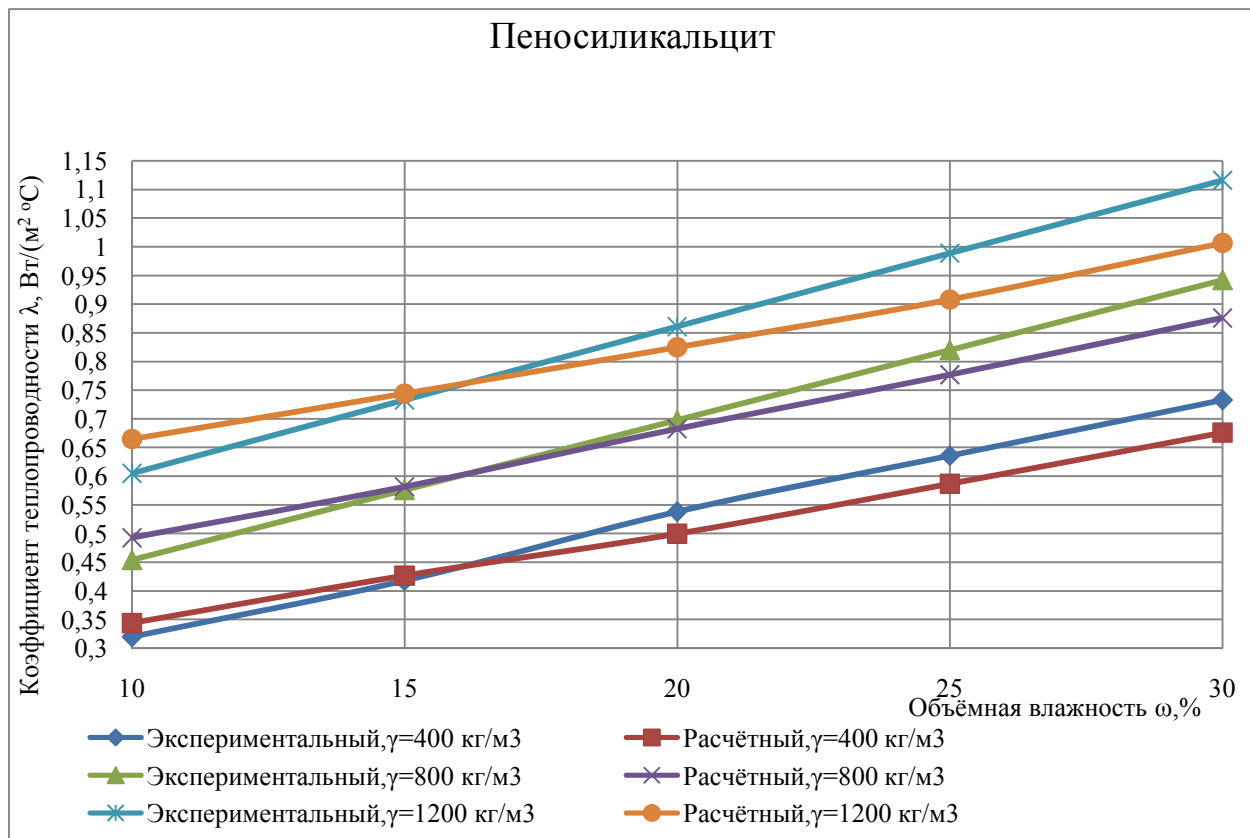


Рис.3.9. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности и плотности для пеносиликальцита

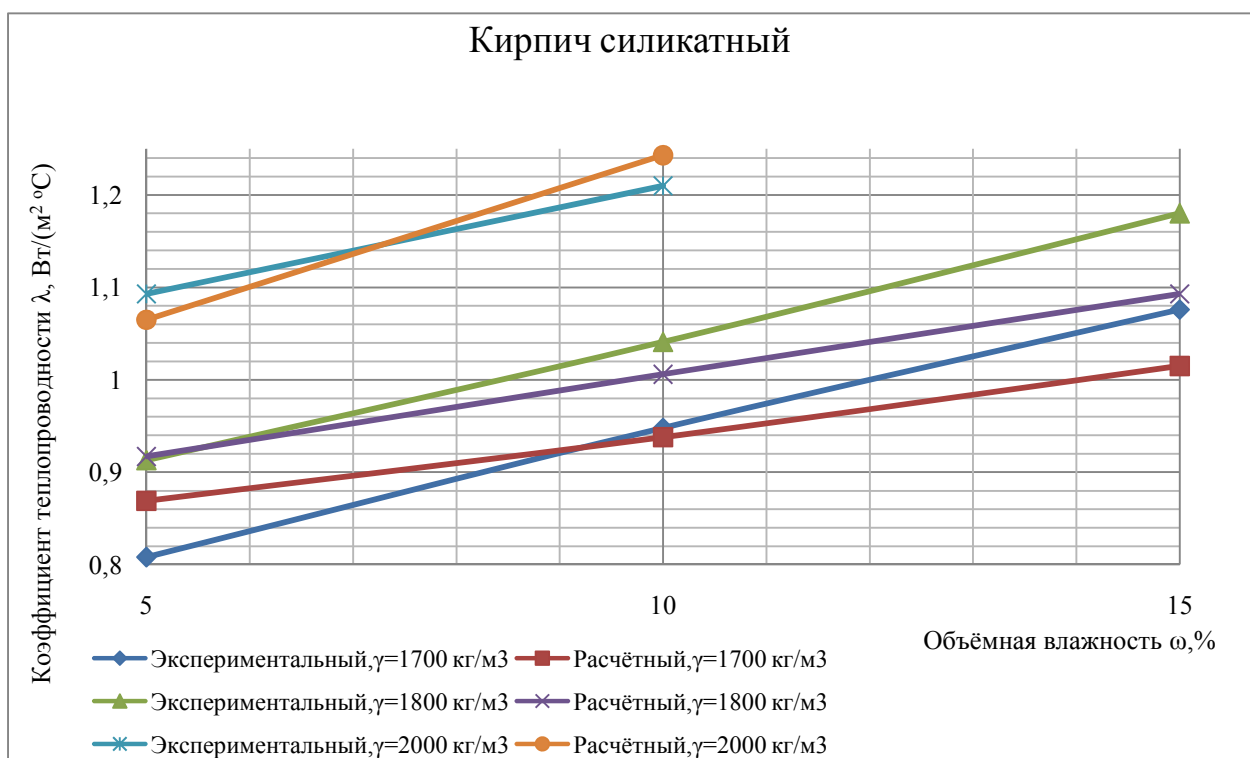


Рис.3.10. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности и плотности для силикатного кирпича

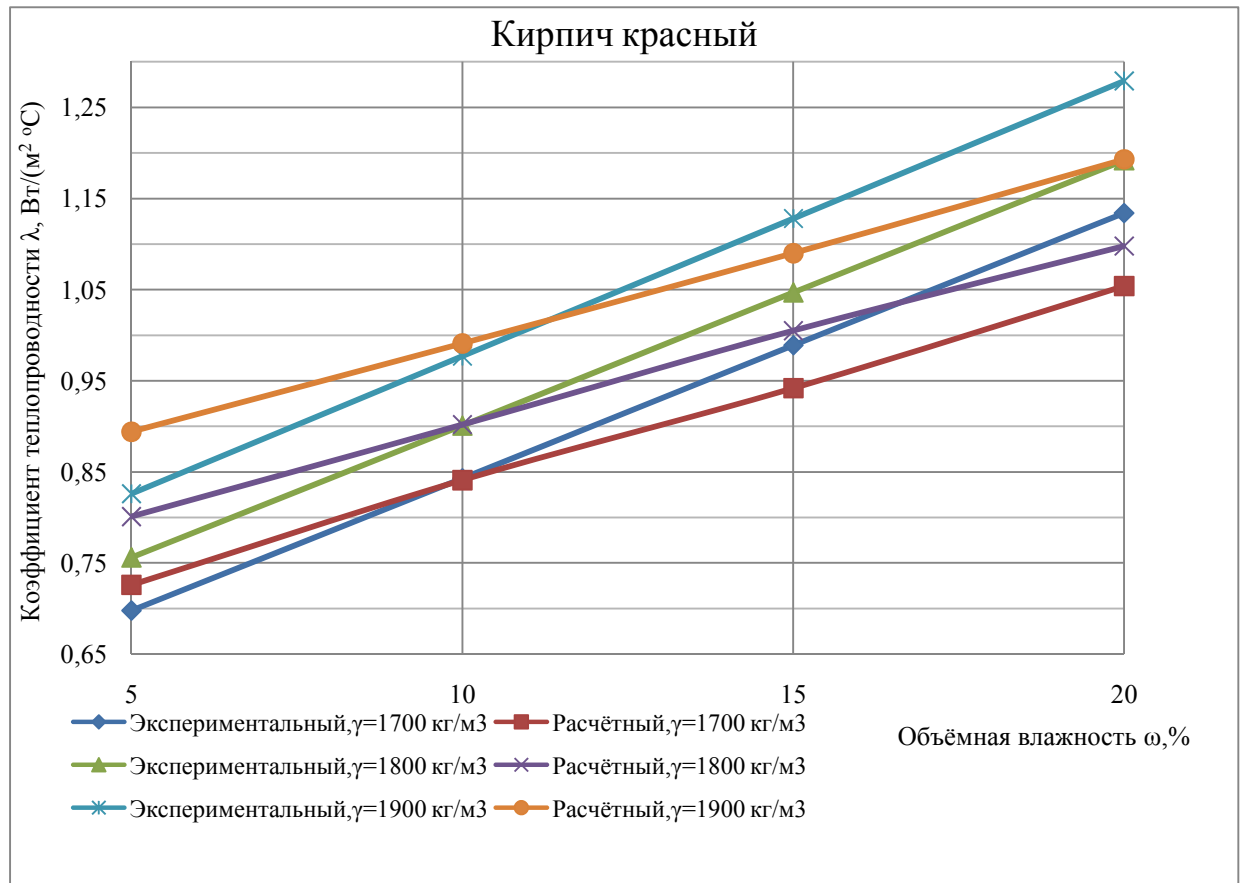


Рис.3.11. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности и плотности для красного кирпича

Для более широкой области применения разработанной модели после введения поправочного коэффициента  $k$  были определены:  $R$ - термическое сопротивление без учёта промерзания стены,  $R_c$ - термическое сопротивление с учётом промерзания стены для расчётного значения коэффициента теплопроводности,  $R_c^{эк}$ - термическое сопротивление с учётом промерзания стены для экспериментального значения коэффициента теплопроводности,  $Q$  - тепловые потери через  $1\text{ м}^2$  конструкции без учёта промерзания стены,  $Q_c$  - тепловые потери через  $1\text{ м}^2$  конструкции с учётом промерзания стены для расчётного значения коэффициента теплопроводности,  $Q_c^{эк}$  - тепловые потери через  $1\text{ м}^2$  конструкции с учётом промерзания стены для экспериментального значения коэффициента теплопроводности,  $\Delta Q_1$  - расхождение тепловых потерь  $\Delta Q_1$  через наружное ограждение с учётом и без учёта промерзания участка стены относительно



расчётного значения коэффициента теплопроводности,  $\Delta Q_2$  - расхождение тепловых потерь  $\Delta Q_2$  через наружное ограждение с учётом и без учёта промерзания участка стены относительно экспериментального значения коэффициента теплопроводности,  $\Delta Q_3$  - расхождение тепловых потерь  $\Delta Q_3$  через наружное ограждение с учётом промерзания для расчётного и экспериментального значений коэффициента теплопроводности. Полученные значения представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Значения термического сопротивления  $R$ , тепловых потерь  $Q$  для материалов с учётом и без учёта влияния промерзания стены при введении поправочного коэффициента  $k$

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влажность, ω, %	$R$ , м <sup>2</sup> °C /Вт	$R_c$ , м <sup>2</sup> °C/Вт	$R_{c}^{ЭК}$ , м <sup>2</sup> °C/Вт	$Q$ , Вт	$Q_c$ , Вт	$Q_c^{ЭК}$ , Вт	$\Delta Q_1$ , %	$\Delta Q_2$ , %	$\Delta Q_3$ , %
Шлакобетон	900	10	1,182	0,930	0,963	38,07	48,39	46,73	27,1	22,7	3,6
		15	1,095	0,853	0,851	41,10	52,75	52,88	28,4	28,7	0,2
		20	1,022	0,795	0,771	44,03	56,60	58,37	28,6	32,6	3,0
	1300	10	1,124	0,944	0,977	40,04	47,67	46,06	19,1	15	3,4
		15	1,058	0,883	0,880	42,53	50,96	51,14	19,8	20,2	3,5
		20	1,003	0,832	0,808	44,87	54,09	55,69	20,5	24,1	2,9
	1600	10	1,207	1,018	1,054	37,28	44,20	42,69	18,6	14,5	3,5
		15	1,147	0,963	0,968	39,23	46,73	46,49	19,1	18,5	0,5
		20	1,095	0,918	0,900	41,10	49,02	50	19,3	21,7	2
	25	1,052	0,879	0,846	42,78	51,19	53,19	19,7	24,3	3,8	
Пенобетон	300	10	1,277	0,965	0,991	35,24	46,63	45,41	32,3	28,9	2,7
		15	1,128	0,842	0,847	39,89	53,44	53,13	34	33,19	0,6
		20	1,018	0,760	0,755	44,20	59,21	59,60	34	34,8	0,7
		25	0,937	0,698	0,688	48,03	64,47	65,41	34,2	36,2	1,4
	800	10	1,229	0,957	0,991	36,62	47,02	45,41	28,4	24	3,5
		15	1,092	0,839	0,851	41,21	53,64	52,88	30,2	28,3	1,4
		20	0,994	0,759	0,757	45,27	59,29	59,45	31	31,3	0,3
		25	0,918	0,701	0,690	49,02	64,19	65,22	31	33	1,6
	1200	10	1,166	0,945	0,983	38,59	47,62	45,78	23,4	18,6	4
		15	1,073	0,865	0,872	41,94	52,02	51,61	24	23,1	0,8

		20	0,999	0,800	0,791	45,05	56,25	56,89	24,9	26,3	1,1
		25	0,940	0,748	0,730	47,87	60,16	61,64	25,7	28,8	2,4
Керамзитовый бетон	1200	10	1,252	1,021	1,046	35,94	44,07	43,02	22,6	19,7	2,4
		15	1,168	0,946	0,936	38,53	47,57	48,08	23,5	24,8	1,1
		20	1,097	0,887	0,854	41,02	50,73	52,69	23,7	28,4	3,7
	1400	10	1,246	1,057	1,081	36,12	42,57	41,63	17,9	15,3	2,3
		15	1,171	0,987	0,973	38,43	45,59	46,25	18,6	20,3	1,4
		20	1,105	0,926	0,894	40,72	48,60	50,34	19,3	23,6	3,5
	1600	10	1,245	1,055	1,095	36,14	42,65	41,10	18	13,7	3,8
		15	1,187	1,002	1,031	37,91	44,91	43,65	18,5	15,1	2,9
		20	1,128	0,947	0,955	39,89	47,52	47,12	19,1	18,1	0,8
		25	1,077	0,900	0,893	41,78	50	50,39	19,7	20,6	0,8
Пеносиликатцит	400	10	1,430	1,116	1,149	31,47	40,32	39,16	28,1	24,4	3
		15	1,239	0,949	0,957	36,32	47,42	47,02	30,6	29,5	0,9
		20	1,099	0,841	0,819	40,95	53,51	54,95	30,7	34,19	2,6
		25	0,992	0,751	0,730	45,36	59,92	61,64	32,1	35,9	2,8
		30	0,909	0,682	0,664	49,51	65,98	67,77	33,3	36,9	2,6
	800	10	1,225	0,959	0,991	36,73	46,92	45,41	27,8	23,6	3,1
		15	1,092	0,848	0,851	41,21	53,07	52,88	28,8	28,3	0,4
		20	0,991	0,758	0,752	45,41	59,37	59,84	30,7	31,8	0,8
		25	0,913	0,694	0,681	49,29	64,84	66,08	31,6	34,1	1,9
		30	0,850	0,640	0,625	52,94	70,31	72	32,8	36	2,3
	1200	10	1,146	0,922	0,959	39,27	48,81	46,92	24,3	19,5	4
		15	1,061	0,848	0,853	42,41	53,07	52,76	25,1	24,4	0,6
		20	0,991	0,787	0,774	45,41	57,18	58,14	25,9	28	1,7
		25	0,933	0,737	0,714	48,23	61,06	63,03	26,6	30,7	3,1
		30	0,882	0,687	0,662	51,02	65,50	67,98	28,4	33,2	3,6
	Кирпич силикатный	1700	5	1,048	0,966	0,998	42,94	46,58	45,09	8,5	5
		10	0,995	0,912	0,908	45,23	49,34	49,56	9,1	9,6	0,4
		15	0,949	0,862	0,840	47,42	52,20	53,57	10,1	13	2,6
1800		5	0,969	0,911	0,913	46,44	49,40	49,29	6,4	6,1	0,2
		10	0,914	0,852	0,838	49,23	52,82	53,70	7,3	9,1	1,6
		15	0,870	0,803	0,776	51,72	56,04	57,99	8,4	12,1	3,4
2000		5	0,804	0,786	0,776	55,97	57,25	57,99	2,3	3,6	1,3
		10	0,744	0,712	0,721	60,48	63,20	62,41	4,5	3,2	1,3
Кирпич красный	1700	5	1,221	1,138	1,160	36,86	39,54	38,79	7,3	5,2	1,9
		10	1,105	1,019	1,017	40,72	44,16	44,25	8,5	8,7	0,2
		15	1,024	0,936	0,916	43,95	48,08	49,13	9,4	11,8	2,1
		20	0,956	0,865	0,838	47,07	52,02	53,70	10,5	14,1	3,1

	1800	5	1,143	1,057	1,086	39,37	42,57	41,44	8,1	5,3	2,7
		10	1,055	0,967	0,968	42,65	46,53	46,49	9,1	9	0,1
		15	0,982	0,894	0,878	45,82	50,34	51,25	9,9	11,9	1,8
		20	0,931	0,841	0,812	48,34	53,51	55,42	10,7	14,6	3,4
	1900	5	1,062	0,974	1,010	42,37	46,20	44,55	9	5,1	3,7
		10	0,993	0,904	0,909	45,32	49,78	49,51	9,8	9,2	0,5
		15	0,936	0,845	0,833	48,08	53,25	54,02	10,8	12,4	1,4
		20	0,886	0,794	0,772	50,79	56,68	58,29	11,6	14,8	2,8

Анализ таблицы 3.4 показал, что для расчётного коэффициента теплопроводности  $\lambda_3$  увеличение тепловых потерь находится в пределах от 2,3% до 34,2; отклонение значения тепловых потерь при использовании расчётного коэффициента теплопроводности от тепловых потерь при использовании экспериментального коэффициента теплопроводности находится в пределах 0,1-4%. В целом, можно заключить, что введение поправочных коэффициентов позволяет достигнуть наименьших отклонений в расчётах для нижеперечисленного более широкого круга материалов:

1. Шлакобетон:

-для объёмной влажности от 10 до 20%;

2. Пенобетон:

-для объёмной влажности от 10 до 25%;

3. Керамзитовый бетон:

-плотностью 1200,1400кг/м<sup>3</sup>- для объёмной влажности от 10 до 20%;

-плотностью 1600 кг/м<sup>3</sup>- для объёмной влажности от 10 до 25%;

4. Пеносиликальцит:

-для объёмной влажности от 10 до 30%;

5. Кирпич силикатный:

-плотностью 1700,1800кг/м<sup>3</sup>- для объёмной влажности от 5 до 15%;

-плотностью 2000 кг/м<sup>3</sup>- для объёмной влажности от 5 до 10%;

6. Кирпич красный:

-для объёмной влажности от 5 до 20%.

На основе разработанной модели и методики создан программный продукт «Теплопроводность увлажнённого материала при отрицательных температурах» на языке Visual Basic.

### 3.4. Выводы по результатам исследования

Таким образом, в результате проведенного исследования:

-установлены зависимости коэффициента теплопроводности ряда материалов в зоне промерзания ограждающей конструкции от влажности и плотности этих материалов;

-разработана подробная методика оценки теплопроводности увлажненного наружного ограждения, материал которого подвергся промерзанию на определенную глубину в период резкого похолодания;

-на основе разработанной методики был создан программный продукт «Теплопроводность увлажнённого материала при отрицательных температурах», который в настоящее время внедрён в учебный процесс по направлению «Строительство» в Пензенском ГУАСе (см. раздел «Внедрение результатов исследований»).

## ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКОНОМАЙЗЕРНОГО ЭФФЕКТА В НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ

### 4.1. Постановка задачи исследования

Проведенное натурное исследование многоэтажных домов показало, что в них нарушена одна из основных функций энергоэффективного здания - необходимость обеспечения комфортного микроклимата помещений по причине установки герметичных стеклопакетов, высокого сопротивления воздухопроницанию конструкций наружных стен и плохой работы системы естественной вентиляции. В таких условиях появляется необходимость в поисках архитектурно-конструктивного решения наружных ограждений, позволяющего увеличить объёмы приточного вентиляционного воздуха и снизить затраты энергии на его обогрев в холодное время года при минимальных расходах материально-технических ресурсов.

Поэтому разработка инновационного решения по регулированию процесса теплопереноса, в том числе воздухопроницания через наружное ограждение, позволяющего создать конструкцию "дышащей" стены, и была поставлена в качестве одной из задач диссертационного исследования.

В данной главе диссертации на основании проведённых исследований экономайзерного эффекта, возникающего в наружных стенах, разработана его физико-математическая модель, позволяющая дать приближённую оценку экономии тепловой энергии в помещении за счёт уменьшения объёма холодного приточного воздуха и количества тепла на его подогрев.

Значимость любого исследования по созданию экологически чистых и эффективных по теплотехническим свойствам строительных материалов в

немалой мере зависит от соответствия его результатов концептуальным основам создания "здорового" и энергоэффективного здания ("healthy" and energy efficiency building). В последние годы ученым–материаловедам удалось значительно понизить плотность некоторых экологически чистых неорганических материалов (пенокерамобетоны, газо– и пенобетоны и др.), что позволило рассматривать их как энергоэффективные материалы.

При инфильтрации наружного воздуха с поверхности однородных ограждений из этих материалов в воздушную среду помещений не выделяются вредные для здоровья продукты распада полимерных материалов в отличие от слоистых конструкций с использованием вспученных пластмасс. Такие наружные ограждения с упорядоченной капиллярно-пористой структурой представляют собой по сути "дышащие" конструкции, способствующие улучшению микроклимата помещений. К тому же они обладают способностью к самоочищению от агрессивных веществ путем выноса их в диффундирующем потоке водяного пара к наружной поверхности и затем в атмосферу.

В современных зданиях часто отмечается воздухообмен значительно меньше нормируемого значения. Это было подтверждено проведёнными нами натурными исследованиями.

В таких условиях появляется необходимость в поисках решений, позволяющих увеличить объёмы вентиляционного воздуха за счёт регулирования его притока через капиллярно-пористую структуру наружного ограждения. Поиск такого решения и привёл к созданию модели экономайзерного эффекта и методики оптимизации процесса инфильтрации, упомянутой в задаче №5 диссертационного исследования.

Перед началом этой работы предполагалось, что искомая методика оптимизации инфильтрации позволит повысить энергосберегающую функцию наружных ограждений определённого типа с относительно воздухопроницаемой капиллярно-пористой структурой. Как отмечается в [158], главным преимуществом таких конструкций является их воздухопроницаемость,

способствующая стабильному воздухообмену помещений и благоприятным экологическим параметрам внутренней среды проживания без использования специальных приточных отверстий.

#### 4.2. Теоретическое исследование и методика оценки энергосбережения при экономайзерном эффекте

Молярный перенос воздуха через толщу наружного ограждения к внутренней поверхности имеет все признаки гидродинамического потока в пористых средах. Он возникает при давлении наружного воздуха, превышающем давление внутреннего:

$$\Delta P = P_n - P_v$$

При этом процесс инфильтрации воздуха усиливается с наветренной стороны здания, а также в нижних этажах из-за гравитационного давления за счет разности температур по высоте здания. В процессе противоточного движения теплового потока из отапливаемого помещения в пористой структуре ограждающей конструкции возникает экономайзерный эффект, при котором часть трансмиссионного тепла помещения передается встречному воздушному потоку. Оценка точной величины этого эффекта представляется сложной математической задачей, связанной с решением полной системы дифференциальных уравнений теплопереноса и определением потенциалов переноса тепла и массы.

Ниже рассмотрена упрощенная модель экономайзерного эффекта в процессе инфильтрации воздуха через пористое ограждение, позволяющая дать приближенную оценку возникающему при этом эффекту энергосбережения [12]. При этом были приняты следующие допущения:

1. Из-за очень медленного движения воздуха через капиллярно-пористую структуру материала температура во всех сечениях ограждения

практически равна температуре воздуха.

2. В материале наружного ограждения содержится небольшое количество влаги в жидкой фазе, которое недостаточно для закупорки его пор и капилляров и которое не влияет на его воздухопроницаемость при малой разности давлений воздуха по обе стороны конструкции.

3. Не учитывается влияние на тепло–массоперенос конденсации водяного пара в процессе инфильтрации воздуха ввиду очень малого содержания пара в порах по сравнению с содержанием жидкости.

По [72] дифференциальное уравнение переноса тепла для одномерной задачи в отсутствии источников и стоков в стационарном состоянии при движении фильтрационного потока влажного воздуха имеет вид:

$$\frac{d^2 t}{dx^2} - w \cdot c_B \cdot \frac{dt}{dx} = 0, \quad (4.1)$$

$$\text{где } t = A_1 \cdot \exp \cdot (c_B \cdot w/\lambda) \cdot x + A_2$$

Постоянные  $A_1$  и  $A_2$  находятся из граничных условий  $t = t_H$  при  $R = 0$  и  $t = t_B$  при  $R = R_0$ ,

где  $R_0$  и  $R$  – соответственно общее сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции и то же сопротивление без учета сопротивления внутренней поверхности ограждения,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

По [135] формула (4.1) для определения температуры  $t_B$  и теплового потока  $q_B$  на внутренней поверхности ограждения при инфильтрации с учетом граничных условий и после преобразований имеет вид:

$$t_B = t_H + (t_B - t_H) \cdot \frac{e^{c_B \cdot w \cdot R} - 1}{e^{c_B \cdot w \cdot R_0} - 1} \quad (4.2)$$

$$q_u = \frac{c_B \cdot w \cdot e^{c_B \cdot w \cdot R}}{e^{c_B \cdot w \cdot R_0} - 1} \cdot (t_B - t_H) \quad (4.3)$$

Тепловой поток  $q_u$ , входящий из помещения в ограждение, является расчетным при определении теплопотерь.



В формулах (4.2) и (4.3)  $t_n$  и  $t_b$  - наружная и внутренняя температура воздуха;  $c_b$  - удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг·°С;  $w$  - расход воздуха, кг/м<sup>2</sup>·ч. Приближенное значение разницы давлений воздуха по обе стороны ограждения с наветренной стороны ниже нейтральной зоны здания определили по формуле [138]:

$$\Delta P = -0,8 \cdot \left[ -g \cdot (\gamma_n - \gamma_b) \cdot H - 0,6 \frac{(0,6 \cdot v)^2 \cdot \gamma_n}{2} \right], \quad (4.4)$$

где  $H$  - расстояние по высоте от середины этажа до нейтральной зоны, м;  $v$  - расчетная скорость ветра, м/с.

В процессе вентиляции помещения на подогрев наружного холодного воздуха, компенсирующего расчетный расход воздуха  $W_{\text{вент}}$ , м<sup>3</sup> / ч, удаляемого из помещения вытяжной вентиляцией, затрачивается количество тепла, равное:

$$Q_{\text{вент}} = 0,28 \cdot w_{\text{вент}} \cdot \gamma_n \cdot (t_b - t_n) \quad (4.5)$$

где для жилых зданий удельный расход воздуха нормируется в объеме 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади помещения и кухни.

Подогретый в результате экономайзерного эффекта при инфильтрации воздух в количестве  $w_{\text{вент}}$ , кг/м<sup>2</sup> ·ч, уменьшает как необходимое количество наружного воздуха в системе вентиляции здания на величину  $\Delta w_{\text{вент}}$ , кг/м<sup>2</sup> ·ч, так и количество тепла на его подогрев:

$$\Delta Q_{\text{вент}} = 0,28 \cdot \Delta w_{\text{вент}} \cdot \gamma_n \cdot (t_b - t_n) \quad (4.6)$$

Количество инфильтрующегося воздуха  $w_{\text{инф}}$ , кг/м<sup>2</sup> ·ч, равно:

$$w_{\text{инф}} = \Delta P / \sum R_{\text{и}} \quad (4.7)$$

где  $\Delta P$  - разность давлений воздуха с внешней и внутренней стороны ограждения, Па;  $\sum R_{\text{и}}$  - сумма сопротивлений воздухопроницанию всех слоев ограждения, м<sup>2</sup>·ч·Па/кг.

Поступающий с внутренней поверхности ограждения воздух будет иметь температуру гораздо выше температуры приточного воздуха в системе естественной вентиляции, но ниже температуры внутреннего воздуха:  $t_n < t_{\text{инф}} < t_b$

Можно полагать, что при большом количестве инфильтрующегося воздуха через пористую структуру наружного ограждения минимизируются тепловые потери помещения, так как уходящий тепловой поток через эту конструкцию в основном используется на нагрев наружного холодного воздуха. Учет такого эффекта "проветривания" через пористую структуру наружного ограждения позволяет экономить тепловую энергию, поскольку при традиционном способе вентиляции помещений наружный воздух или забирает тепло внутренней воздушной среды, или может предварительно подогреваться в случае механической приточной системы.

#### 4.3. Определение уровня энергосбережения, возникающего при экономайзерном эффекте, в численном эксперименте

Оценку экономайзерного эффекта проводили на примере помещения площадью  $12 \text{ м}^2$ , расположенного на первых этажах 2-х и 12-и этажных жилых домов с высотой этажа, имеющих длительный срок эксплуатации.

Было принято: температура внутреннего и наружного воздуха соответственно  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $-29 \text{ }^\circ\text{C}$ , скорость ветра  $5,6 \text{ м/с}$ . Конструкция наружной стены площадью  $S_{\text{ст}} = 8,8 \text{ м}^2$  изготовлена из крупнопористого керамзитобетона плотностью  $900 \text{ кг/ м}^3$  с внутренним отделочным слоем из листов сухой штукатурки, установленных с заделкой швов.

Сопротивление воздухопроницанию ограждения:

$$\sum R_{\text{и}} = R_{\text{к}} + R_{\text{ш}} = 15 + 20 = 35 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$$

Общее сопротивление теплопередаче:

$$R_0 = 1/8,7 + 0,4/0,28 + 0,015/0,6 + 1/23 = 1,6 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Сопротивление теплопередаче ограждения на границе у внутренней поверхности:

$$R = R_0 - 1/8,7 = 1,485 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

Разность давлений воздуха с наветренной стороны:

для 2-х этажного дома:

$$\Delta P = -0,8 \{ [-9,81(1,42 - 1,2)(0,7 \cdot 3 \cdot 2 - 1,5) - 0,6[(0,6 \cdot 5,6)^2 \cdot 1,42/2] \} = 8,51$$

Па;

для 12-и этажного дома:

$$\Delta P = -0,8 \{ [-9,81(1,42 - 1,2)(0,7 \cdot 3 \cdot 12 - 1,5) - 4,81] = 44,77 \text{ Па};$$

Количество инфильтрующегося воздуха:

$$\text{2-х этажный дом: } w_{\text{инф}} = 8,51/35 = 0,243 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч},$$

$$\text{или } 0,243 \cdot 8,8 = 2,14 \text{ кг/ч} = 2,14 / 1,42 = 1,51 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$\text{12-и этажный дом: } w_{\text{инф}} = 44,77 / 35 = 1,28 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч},$$

$$\text{или } 1,28 \cdot 8,8 = 12,56 \text{ кг/ч} = 12,56 / 1,42 = 7,93 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Температура внутренней поверхности ограждения:

2-х этажный дом:

$$\tau_{\text{в}} = -29 + 49 \cdot (e^{0,28 \cdot 0,243 \cdot 1,485} - 1) / (e^{0,28 \cdot 0,243 \cdot 1,6} - 1) = -29 + 49 \cdot 0,92 = 16,16$$

°С

12-и этажный дом:

$$\tau_{\text{в}} = -29 + 49 \cdot (e^{0,28 \cdot 1,28 \cdot 1,485} - 1) / (e^{0,28 \cdot 1,28 \cdot 1,6} - 1) = -29 + 49 \cdot 0,896 =$$

15,51°С.

Величина теплового потока на внутренней поверхности наружного ограждения при инфильтрации:

2-х этажный дом:

$$q_{\text{инф}} = [0,28 \cdot 0,243 \cdot e^{0,28 \cdot 0,243 \cdot 1,485} / (e^{0,28 \cdot 0,243 \cdot 1,485} - 1)] \cdot 49 = 31,03 \text{ Вт/м}^2;$$

12-и этажный дом:

$$q_{\text{инф}} = [0,28 \cdot 1,28 \cdot e^{0,28 \cdot 1,28 \cdot 1,485} / (e^{0,28 \cdot 1,28 \cdot 1,6} - 1)] \cdot 49 = 38,64 \text{ Вт/м}^2;$$

Та же величина при отсутствии инфильтрации:

$$q = (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) / R_0 = 49 / 1,6 = 30,63 \text{ Вт/м}^2$$

Дополнительные теплотери при наличии инфильтрации:

$$q_{\text{доп}} = q_{\text{инф}} - q$$

2-х этажный дом:

$$q_{\text{доп}} = 31,03 - 30,63 = 0,4 \text{ Вт/м}^2;$$

12-и этажный дом:

$$q_{\text{доп}} = 38,64 - 30,63 = 8,01 \text{ Вт/м}^2.$$

Расход тепла на подогрев необходимого количества вентиляционного воздуха:

$$Q_{\text{вен}} = 0,28 \cdot 3 \cdot 12 \cdot 1,42 \cdot 49 = 701,37 \text{ Вт}$$

Поступивший при инфильтрации через всю поверхность наружной стены объем воздуха уменьшает потребность помещения в вентиляционном воздухе на величину:

$$\Delta W_{\text{вен}} = W_{\text{вен}} - W_{\text{инф}}.$$

На подогрев поступившего при инфильтрации объема воздуха от температуры

$t_{\text{н}} = -29 \text{ }^\circ\text{C}$  до температуры  $t_{\text{в}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  потребовалось бы следующее количество тепла, которое представляет собой величину сэкономленного тепла с учетом ряда поправок:

$$\text{2-х этажный дом: } Q_{W_{\text{инф}}} = 0,28 \cdot 1,51 \cdot 1,42(20 + 29) = 29,36 \text{ Вт,}$$

$$\text{12-и этажный дом: } Q_{W_{\text{инф}}} = 0,28 \cdot 7,93 \cdot 1,42(20 + 29) = 154,50 \text{ Вт.}$$

Первую поправку введем как часть трансмиссионного тепла, затрачиваемого на обогрев инфильтрующегося воздуха в поровом пространстве конструкции:

$$Q^{\text{1п}}_{W_{\text{инф}}} = q_{\text{доп}} \cdot S_{\text{ст.}}$$

$$\text{2-х этажный дом: } Q^{\text{1п}}_{W_{\text{инф}}} = 0,4 \cdot 8,8 = 3,52 \text{ Вт,}$$

$$\text{12-и этажный дом: } Q^{\text{1п}}_{W_{\text{инф}}} = 8,01 \cdot 8,8 = 70,40 \text{ Вт.}$$

Вторую поправку введем на дополнительное тепло, которое потребуется на подогрев инфильтрационного объема воздуха, имеющего температуру, равную температуре внутренней поверхности, до температуры воздуха помещения  $t_{\text{в}}$ :

$$\text{2-х этажный дом: } Q^{\text{2п}}_{W_{\text{инф}}} = 0,28 \cdot 1,51 \cdot 1,22(20 - 16,16) = 1,98 \text{ Вт.}$$

$$\text{12-и этажный дом: } Q^{\text{2п}}_{W_{\text{инф}}} = 0,28 \cdot 7,93 \cdot 1,22(20 - 15,51) = 12,16 \text{ Вт.}$$

где  $1,22$  – плотность воздуха при температуре внутренней поверхности  $\tau_b = 16,16$  °C и  $15,51$  °C.

Тогда с учетом двух поправок расход тепла на нагревание необходимого объема воздуха в данном помещении составит:

$$\text{2-х этажный дом: } Q_o = 701,37 - 29,36 + 3,52 + 1,98 = 677,51 \text{ Вт,}$$

$$\text{12-и этажный дом: } Q_o = 701,37 - 154,50 + 70,40 + 12,16 = 629,43 \text{ Вт.}$$

Эффект экономии тепла при инфильтрации воздуха через данное ограждение будет равен:

$$\text{2-х этажный дом: } (701,37 - 677,51) \cdot 100 / 701,37 = 3,40 \%,$$

$$\text{12-и этажный дом: } (701,37 - 629,43) \cdot 100 / 701,37 = 10,26 \%. .$$

Выполненные расчеты показывают, что экономайзерный эффект повышается с увеличением высоты здания, а также с уменьшением сопротивления воздухопроницанию  $R_{и}$  ограждения. Однако при большой величине  $R_{и}$  для упомянутой выше конструкции наружной стены из керамзитобетона даже в 18 этажном доме этот эффект практически неощутим. Например, при  $R_{и}=490$  м<sup>2</sup>·ч·Па / кг керамзитобетона плотностью 1100 кг/м<sup>3</sup> данный эффект составляет всего 1,3%)

Результаты аналогичных расчётов, выполненных для конструкций наружных стен из таких пористых материалов как шлакопемзобетон ( $R_{и}=20,3$  м<sup>2</sup>·ч·Па/кг) и кирпичной кладки на цементно-шлаковом растворе с использованием листов сухой штукатурки, установленных с заделкой швов ( $R_{и}=29$  м<sup>2</sup>·ч· Па/кг), показали, что данный эффект составляет 18% и 13% соответственно.

#### 4.4. Основные закономерности, выявленные в ходе исследования экономайзерного эффекта

Анализ основных факторов влияния на процессы теплообмена позволил установить основные закономерности протекания экономайзерного эффекта в капиллярно-пористой структуре материала наружной стены при инфильтрации воздуха. Количественные зависимости этих факторов влияния показаны на рис.4.1-4.10.

На рис.4.1 представлена зависимость перепада давлений  $\Delta P$  от этажности. При этом значение  $\Delta P$  определялось в соответствии с формулой (4.4) в интервале 5-12 этажей. Перепад давлений представлен для различных скоростей ветра.

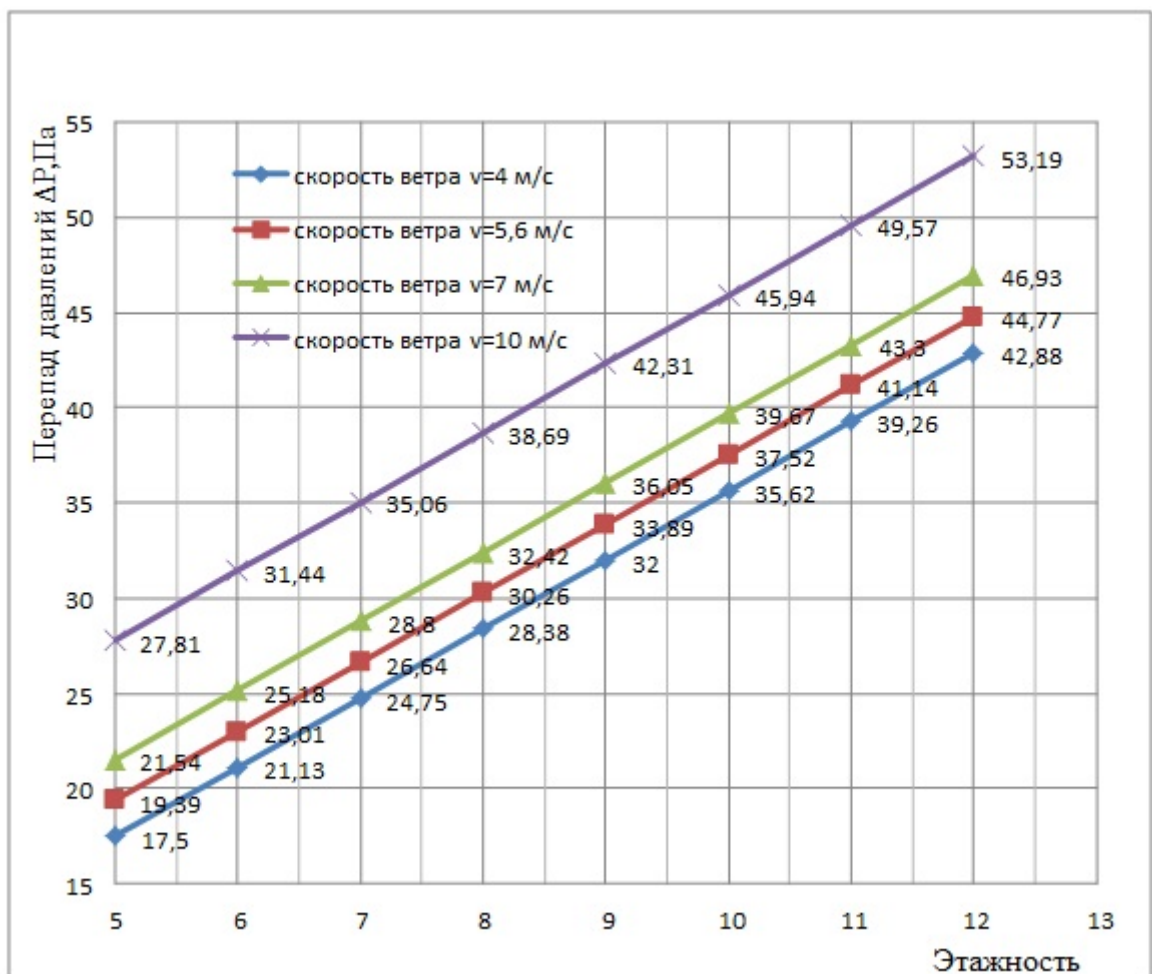


Рис.4.1. Зависимость перепада давлений от этажности

Из рис.21 видно, что с увеличением этажности и скорости ветра увеличивается перепад давлений в здании, что вызывает увеличение количества инфильтрующегося воздуха в помещениях нижних этажей многоэтажного здания. Одним из основных факторов, способствующих увеличению количества инфильтрующегося воздуха является сопротивление воздухопроницанию материала наружных ограждений. Зависимость количества инфильтрующегося воздуха  $w_{инф}$  от сопротивления воздухопроницанию представлена на рис.4.2 для 5-и, 6-и, 9-и, 10-и, 12-и этажных зданий с высотой этажа 3 м.

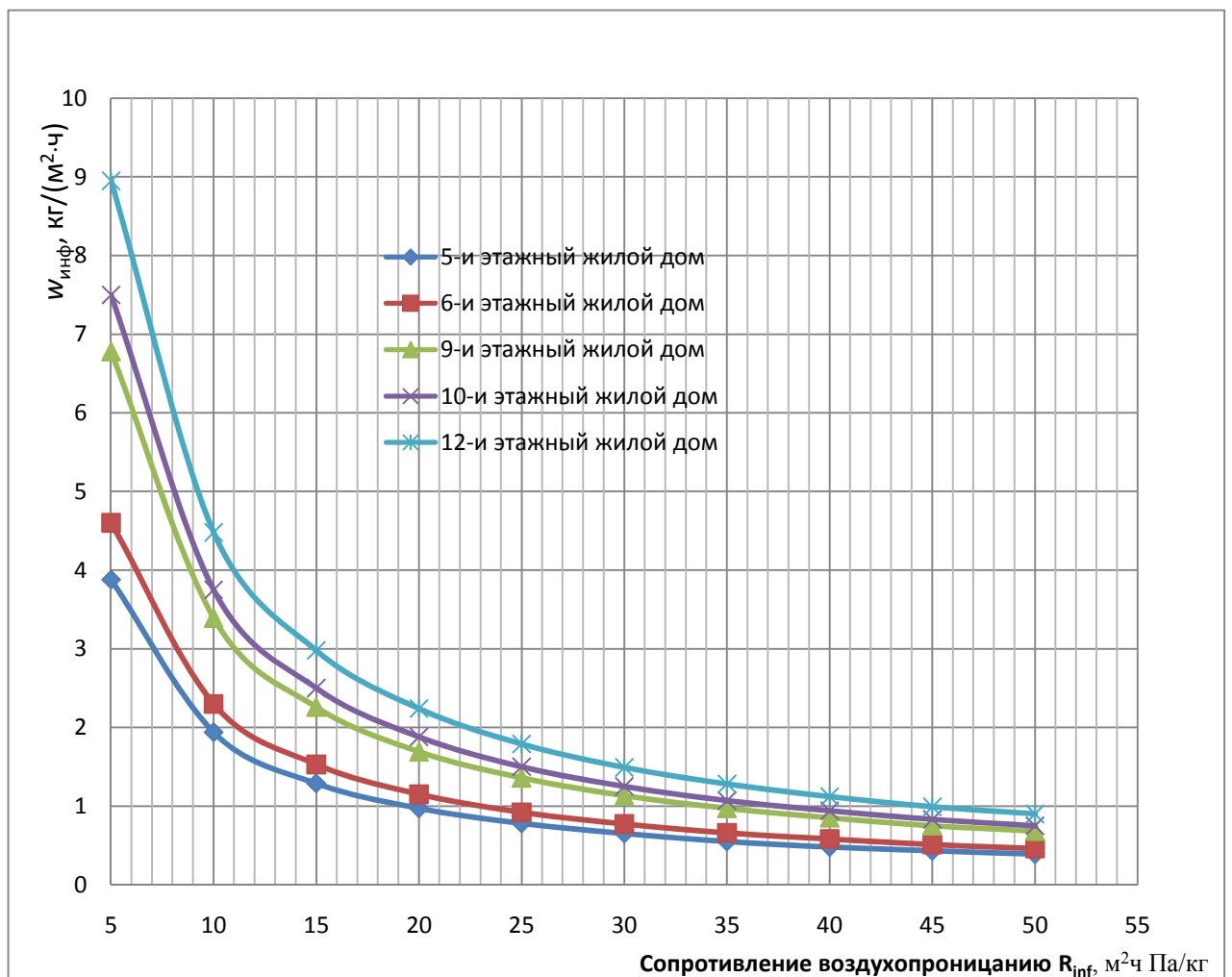


Рис.4.2. Зависимость количества инфильтрующегося воздуха  $w_{инф}$  от сопротивления воздухопроницанию

С увеличением сопротивления воздухопроницанию снижается количество инфильтрующегося воздуха.

Значение температуры на внутренней поверхности наружной стены  $\tau_v$  при инфильтрации изменяется в зависимости от ряда параметров, в том числе от количества инфильтрующегося воздуха  $w_{инф}$ , общего термосопротивления наружной стены  $R_0$  и термосопротивления наружной стены  $R$  на границе у внутренней поверхности. Данная зависимость представлена на рис.4.3.

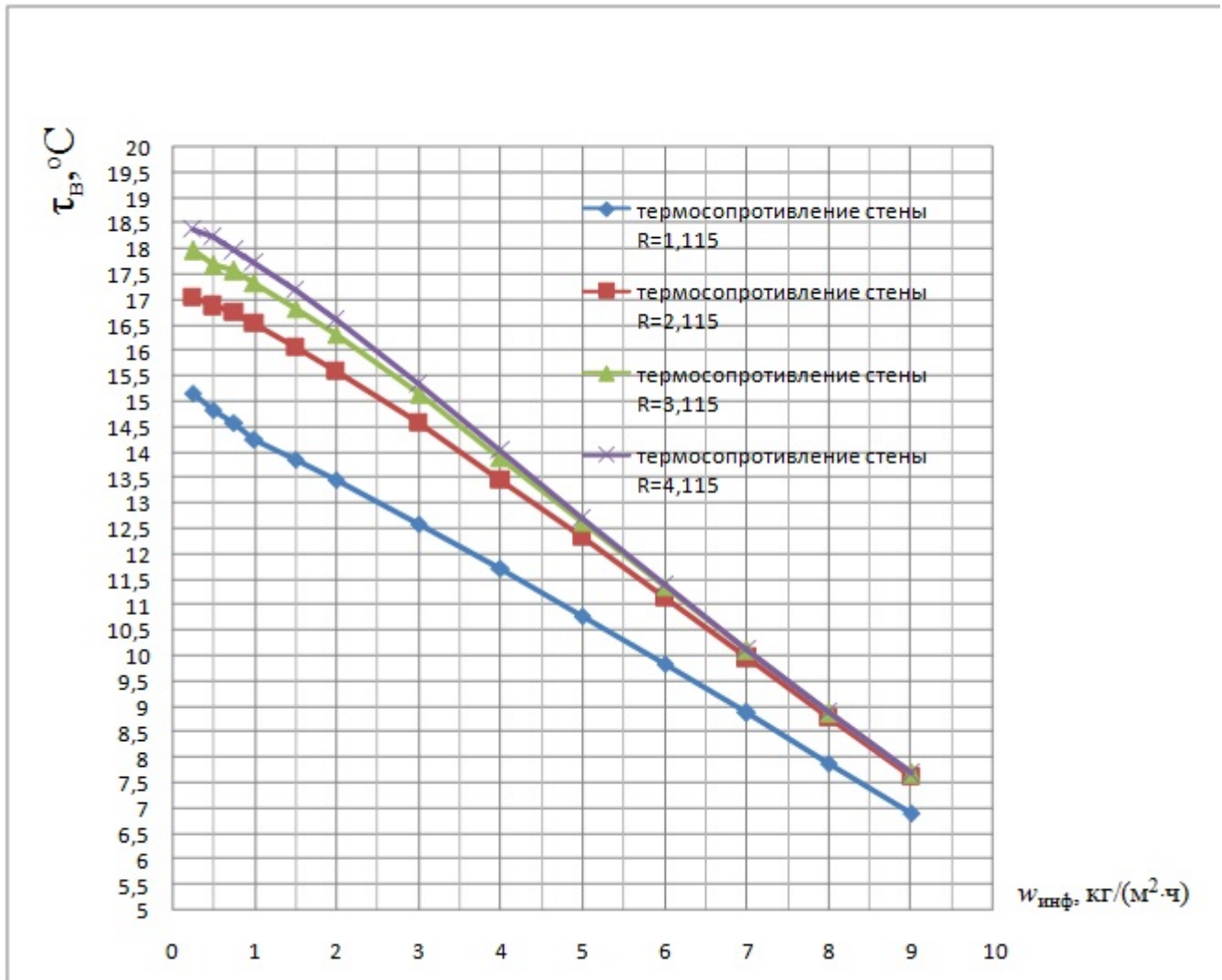


Рис.4.3. Зависимость температуры на внутренней поверхности наружной стены  $\tau_v$  от количества инфильтрующегося воздуха  $w_{инф}$  при различных значениях общего термосопротивления стены  $R_0$ , м<sup>2</sup>·°C/Вт

С увеличением термосопротивления выше 2 м<sup>2</sup>·°C/Вт значения температуры на внутренней поверхности наружной стены  $\tau_v$  отличаются незначительно, особенно при увеличении количества инфильтрующегося воздуха  $w_{инф}$ . С увеличением значения  $w_{инф}$  температура на внутренней поверхности



наружной стены  $\tau_v$  существенно уменьшается.

От вышеупомянутых параметров ( $w_{инф}$ ,  $R_0$ , и  $R$ ) зависит и величина теплового потока  $q_{инф}$  на внутренней поверхности наружной стены при инфильтрации, что представлено на рис.4.4. Расчёты проводились для значений внутренней температуры  $t_v=20\text{ }^\circ\text{C}$  и наружной  $t_n=-29\text{ }^\circ\text{C}$ .

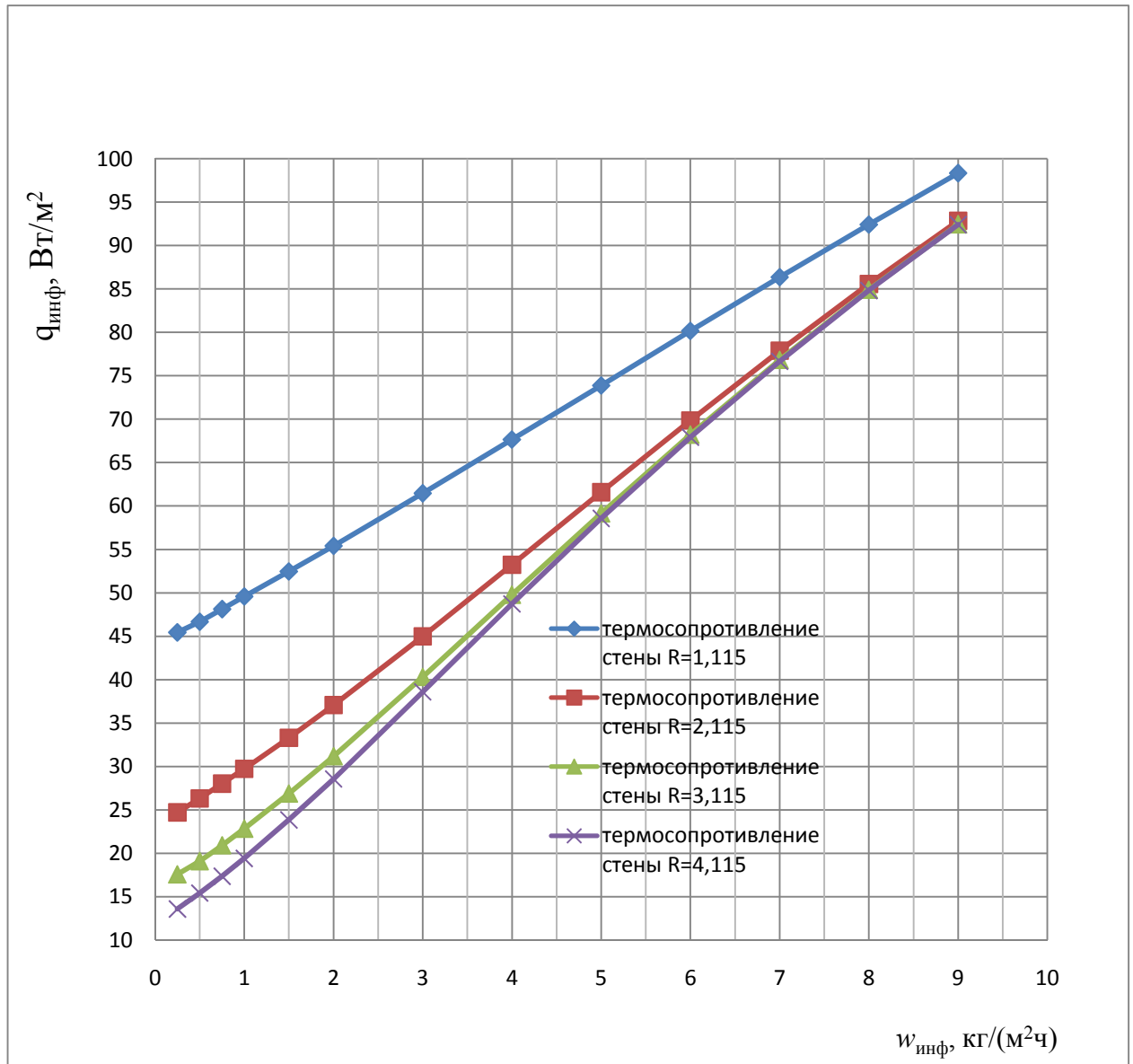


Рис.4.4. Зависимость теплового потока на внутренней поверхности наружной стены  $q_{инф}$  от количества инфилирующего воздуха

С увеличением количества инфилирующего воздуха на внутренней поверхности наружной стены возрастает величина теплового потока, характеризующего тепловые потери помещения. Для рассмотренных значений

термосопротивления более  $2 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$  тепловой поток уменьшается незначительно, однако уже при величине  $R$ , близкой к единице, тепловой поток резко возрастает.

Анализ формулы (4.3) показывает, что значение  $q_{\text{инф}}$  будет всегда больше по сравнению с тепловым потоком  $q$ , не учитывающим инфильтрацию. Зависимость дополнительных теплотерь при инфильтрации ( $q_{\text{доп}}=q_{\text{инф}}-q$ ) от количества инфилирующего воздуха и от термосопротивления наружных стен представлена на рис.4.5.

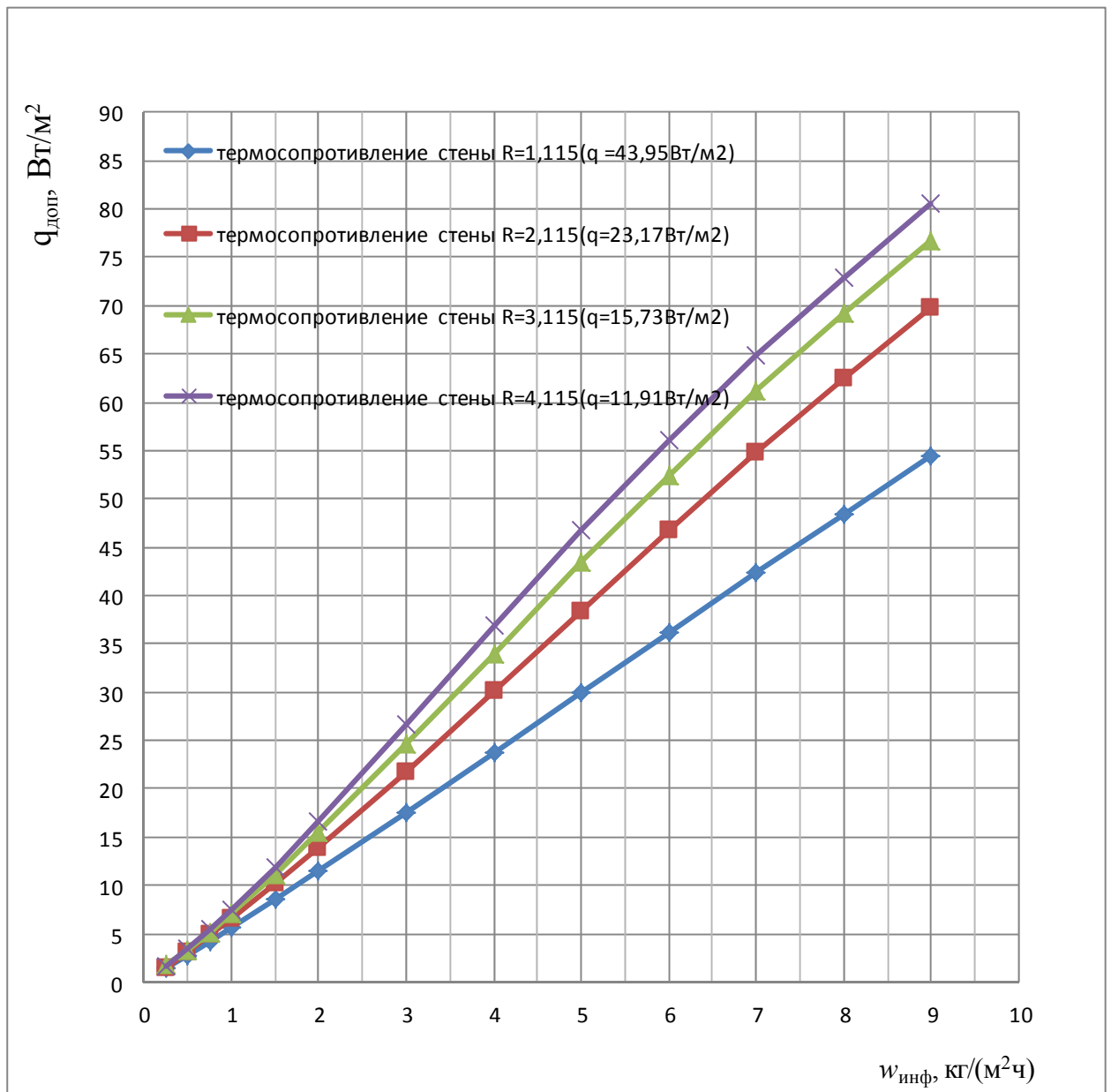


Рис.4.5. Зависимость дополнительных теплотерь при инфильтрации  $q_{\text{доп}}$  от количества инфилирующего воздуха

С увеличением количества инфильтрующегося воздуха возрастают и дополнительные теплопотери. Следует отметить главную особенность зависимости дополнительных теплопотерь от термосопротивления. С увеличением термосопротивления наружной стены возрастают дополнительные теплопотери при инфильтрации, что объясняется следующим. При высоких значениях термосопротивления тепловой поток на внутренней поверхности наружной стены имеет небольшую величину без учёта инфильтрации, тогда как при инфильтрации его величина гораздо больше. В качестве примера были определены дополнительные тепловые потери для термосопротивления  $1,115 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$  и  $4,115 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$  при количестве инфильтрующегося воздуха  $8 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{ч})$ . Тепловой поток без инфильтрации для термосопротивления  $1,115 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$  равен  $43,95 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , с учётом инфильтрации -  $92,44 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , следовательно тепловые теплопотери составят  $48,49 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Тепловой поток без инфильтрации для термосопротивления  $4,115 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$  равен  $11,91 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , с учётом инфильтрации -  $84,84 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , следовательно теплопотери составят  $72,93 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

Зависимость количества тепла  $Q_{w \text{ инф}}$ , которое потребуется на подогрев вентиляционного воздуха в объёме  $w_{\text{инф}}$ , поступившего через традиционные приточные устройства, представлена на рис.4.6. При прохождении и подогреве того же объёма в наружном ограждении при инфильтрации эта величина будет являться сэкономленной тепловой энергией.

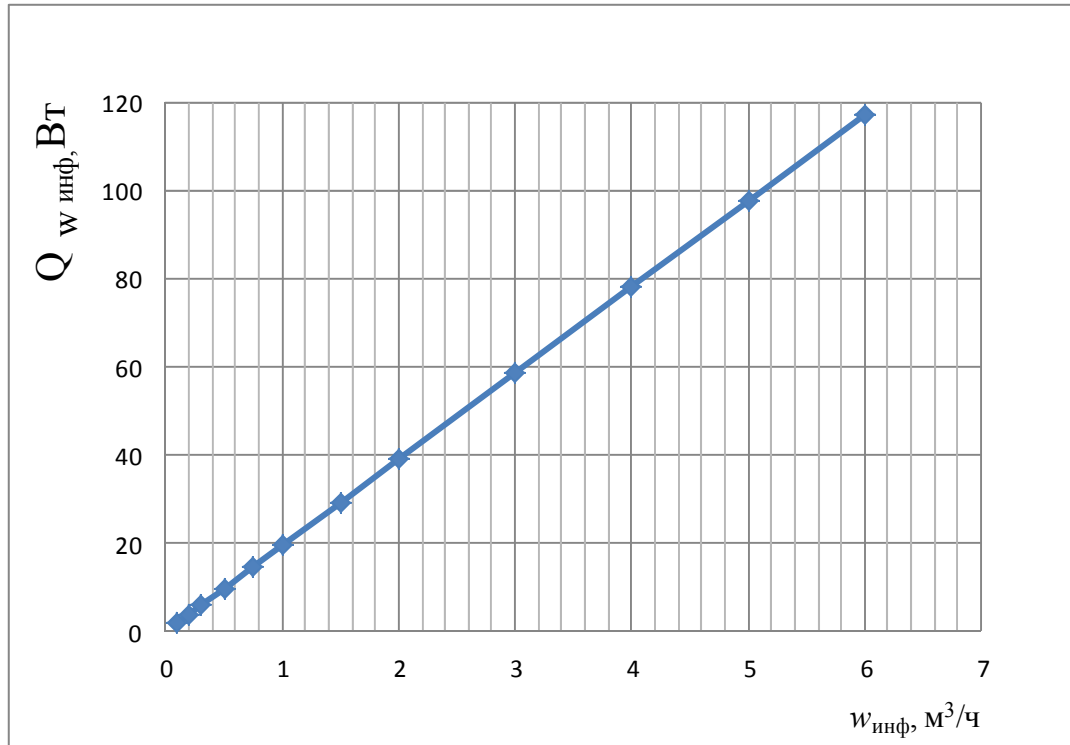


Рис.4.6. Зависимость сэкономленного количества тепла  $Q_{w_{инф}}$  от величины поступившего при инфильтрации объема воздуха  $w_{инф}$

При прохождении через капиллярно-пористую структуру наружного ограждения холодный атмосферный воздух постепенно прогревается и на выходе в помещение имеет температуру, равную температуре внутренней поверхности стены  $\tau_{в}$ . Поступая в помещение, воздух прогревается до комнатной температуры и на это затрачивается количество тепла  $Q_{w_{инф}}^{2п}$ . Из рис.4.3 видно, что с увеличением количества инфильтрующегося воздуха температура внутренней поверхности наружного ограждения уменьшается, следовательно уменьшается и температура приграничных к этой поверхности конвективных воздушных струй, что приводит к увеличению количества тепла на подогрев воздуха до температуры помещения. Для различных термосопротивлений конструкции ограждения рассмотрена зависимость количества тепла  $Q_{w_{инф}}^{2п}$ , затрачиваемого на подогрев инфильтрационного воздуха до температуры воздуха помещения, от количества поступающего при инфильтрации воздуха через  $1 \text{ м}^2$  внутренней поверхности стены(рис.4.7).

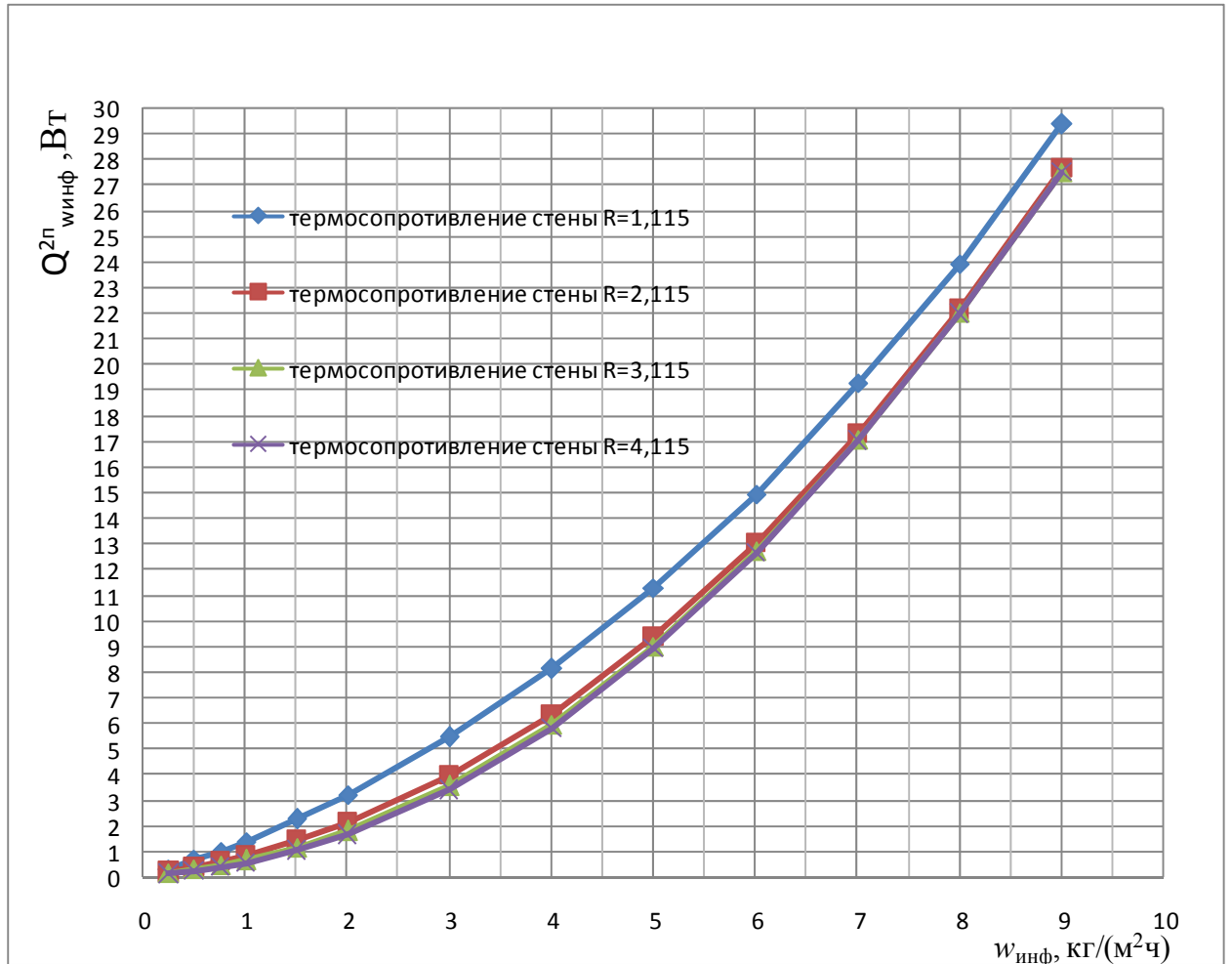


Рис.4.7. Зависимость количества тепла  $Q^{2п}_{\text{винф}}$ , затрачиваемого на подогрев инфильтрационного воздуха до температуры воздуха помещения, от количества инфильтрующегося воздуха через 1 м<sup>2</sup> наружной стены

Для всех рассмотренных случаев характерно увеличение количества тепла  $Q^{2п}_{\text{винф}}$  на подогрев инфильтрационного воздуха до температуры воздуха помещения с ростом объёма инфильтрующегося воздуха.

Дальнейшее исследование закономерностей экономайзерного эффекта позволило выявить ряд других факторов влияния. Из рис.4.8. видно, что с увеличением количества инфильтрующегося воздуха  $W_{\text{инф}}$  возрастает и экономайзерный эффект  $\Delta$ , %.

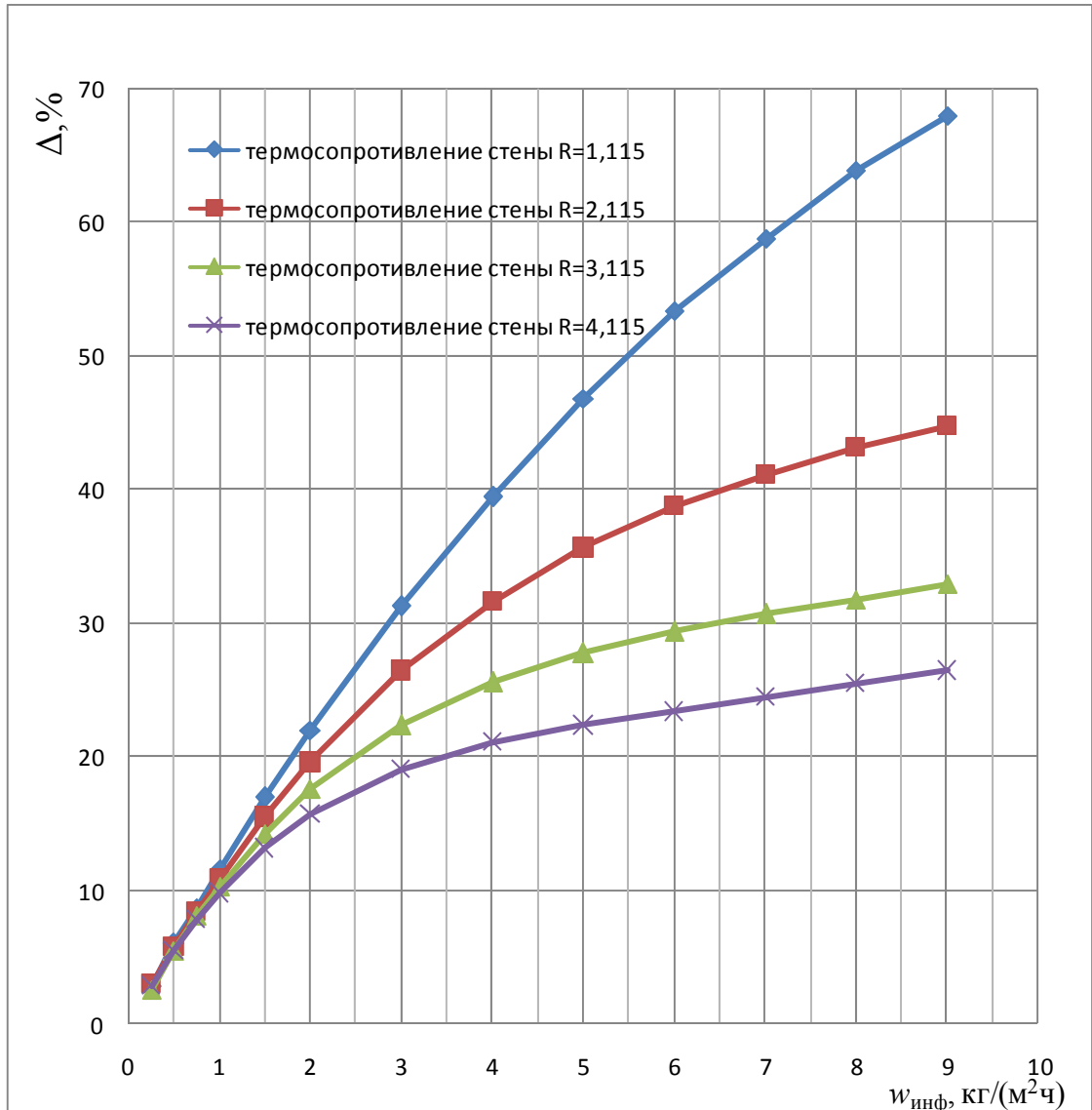


Рис.4.8. Зависимость экономайзерного эффекта от количества инфильтрующегося воздуха

На рис.4.9 рассмотрен такой фактор влияния, как отношение площади помещения  $S_{пом}$  к площади наружного ограждения  $S_{инф}$  при определённом термосопротивлении стены (здесь  $R_{ст}=3,115 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ). Экономайзерный эффект возрастает с уменьшением этого отношения. Так, например, при увеличении отношения с 0,5 до 2 при количестве инфильтрующегося воздуха, равном 7, эффект уменьшился с 61,2% до 15,3%.

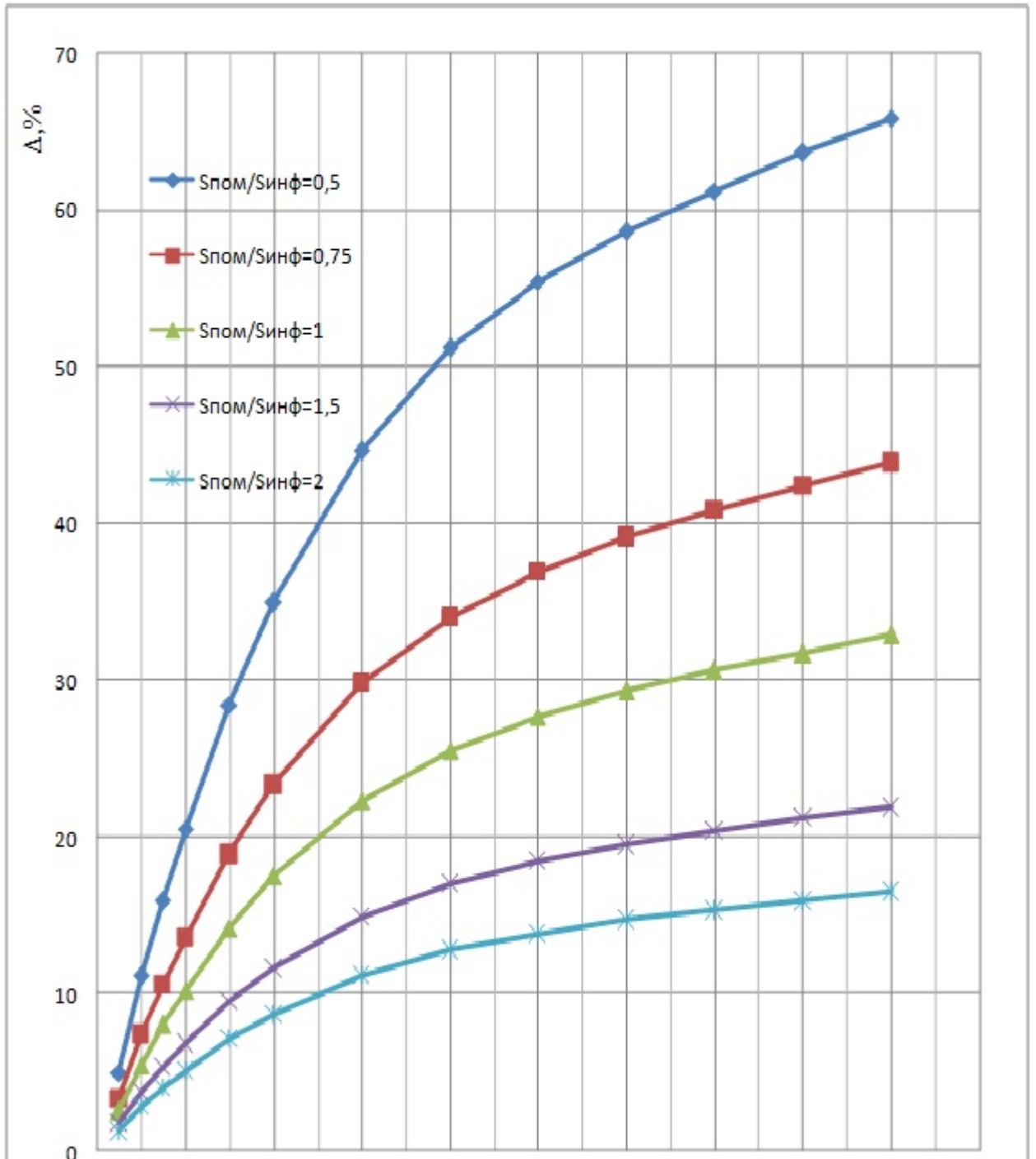


Рис.4.9. Зависимость экономайзерного эффекта от количества инфильтрующегося воздуха при различных отношениях  $S_{\text{пом}}/S_{\text{инф}}$ .

При анализе такого фактора влияния, как высота здания, было установлено, что данный эффект уменьшается снизу вверх по мере приближения к нейтральной оси здания. Так, для вышеупомянутого 12-и этажного здания

нейтральная ось при тех же принятых условиях проходит на высоте 23,7 м; следовательно, при высоте этажа 3 м экономайзерный эффект будет наблюдаться в той или иной степени на восьми этажах. Из рис.4.9 видно, что наибольших значений он достигает на нижних этажах (на первом этаже 10,26%, на восьмом 2,2%). Среднее значение экономайзерного эффекта для восьми помещений, расположенных с 1 по 8 этаж составляет 6,3%. Расчёт показывает, что для этих помещений расход тепла на подогрев необходимого количества вентиляционного воздуха без учёта инфильтрации составит 5610,96 Вт, тогда как с её учётом - 5258,24 Вт. На рис.4.10 представлены значения экономайзерного эффекта, рассчитанные также для наружных стен, выполненных из шлакопемзобетона и кирпичной кладки на цементно-шлаковом растворе.

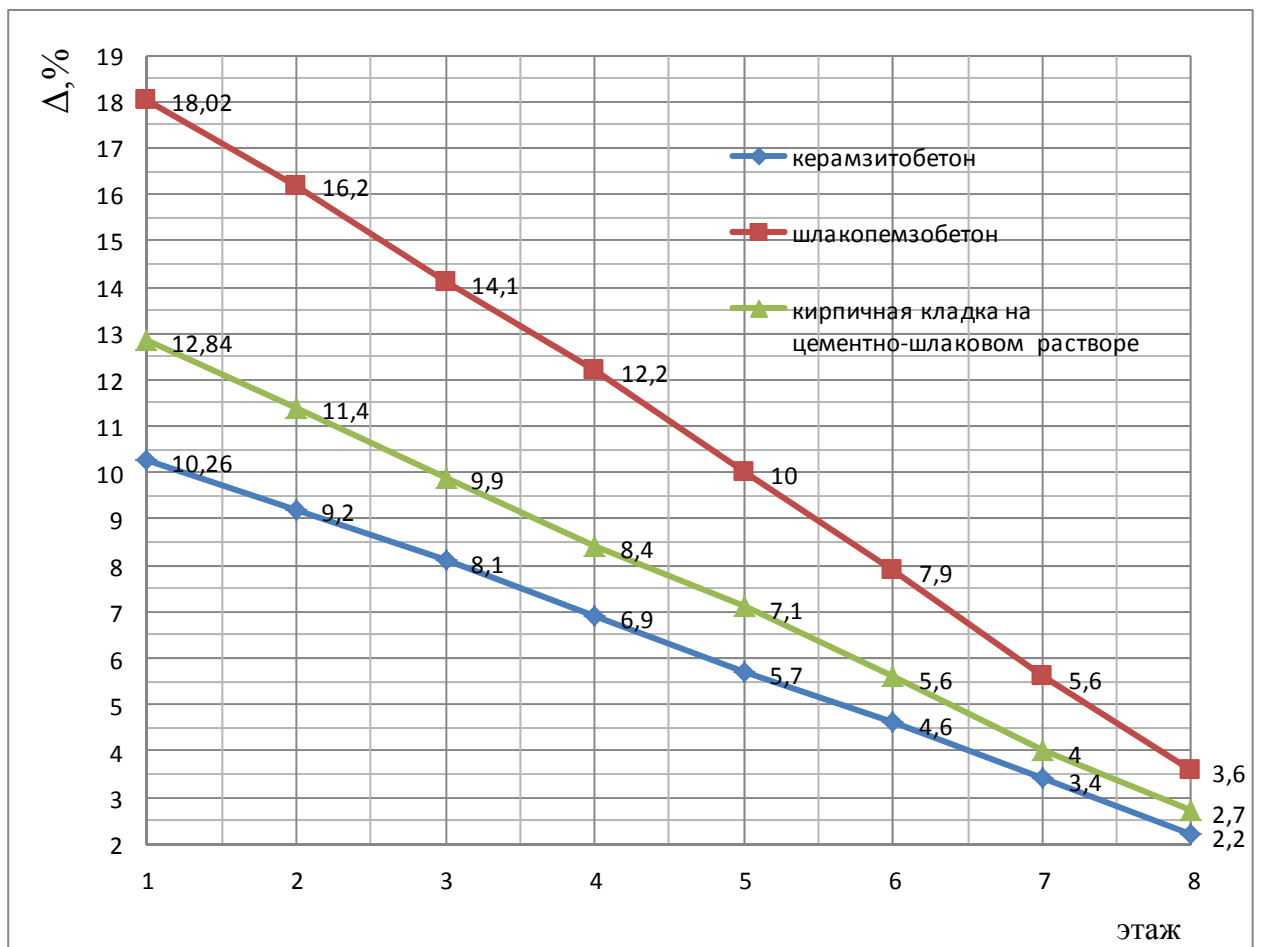


Рис.4.10.Зависимость экономайзерного эффекта по высоте 12-этажного здания



Рассмотренный в данном исследовании способ энергосбережения основан на использовании в наружных ограждениях материалов, отличающихся повышенной воздухопроницаемостью.

#### 4.5. Выводы по результатам исследования

В процессе решения этой задачи была разработана расчетная модель и методика оценки энергосбережения, основанная на экономайзерном эффекте.

Как показал численный эксперимент, экономия тепла при возникновении экономайзерного эффекта на первом этаже многоэтажного дома может достигать 10, 13 и 18% при использовании в наружном ограждении соответственно керамзитобетона ( $\gamma=900 \text{ кг/м}^3$ ), кирпичной кладки на цементно-шлаковом растворе с использованием листов сухой штукатурки и шлакопемзобетона.

Рассмотренный способ энергосбережения основан на использовании в наружных ограждениях относительно воздухопроницаемых материалов. Меньшая чем у стен с эффективными утеплителями теплоизолирующая способность, во-первых, окупается в этих ограждающих конструкциях более низкими затратами на их капитальный и текущий ремонт, поскольку они отличаются большими сроками службы, а, во-вторых, компенсируется комплексом эксплуатационных свойств, позволяющих формировать экологически чистую и комфортную среду проживания. Главным преимуществом таких конструкций является возможность регулирования их воздухопроницаемости, что способствует стабильному воздухообмену помещений и благоприятным экологическим параметрам внутренней среды проживания без постоянного использования специальных приточных отверстий, подающих холодный зимой воздух, отбирающий тепло внутренней воздушной среды.

## ГЛАВА 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ С ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

В данной главе представлена физико-математическая модель по утилизации части теплового потока, проходящего через наружное ограждение и рассмотрен вариант подогрева приточного воздуха в наружной стене, имеющей вентилируемую прослойку в своей конструкции.

### 5.1. Постановка задачи исследования

При проектировании и строительстве зданий используются различные способы энергосбережения, такие как применение эффективных теплоизоляционных материалов, рекуператоров тепла, гелиоустановок и т.д. Подобные мероприятия, как правило, отличаются высокой стоимостью, поэтому поиски более дешёвых и эффективных энергосберегающих решений – одна из главных задач, решаемых в процессе проектирования энергоэффективного здания.

Опыт эксплуатации зданий показывает, что наружные ограждения с вентилируемыми воздушными прослойками превосходят сплошные конструкции по энергоэффективности и к тому же имеют меньшую массу.

Ещё в 70-е годы прошлого столетия ЦНИИЭПжилища разработал ограждающие конструкции с однократным и многократным движением воздуха, двухслойные керамзитобетонные панели с вентилируемым крупнопористым слоем, легкие навесные панели с вентилируемой прослойкой. Последняя в этих и других подобных конструкциях обычно располагается в её толще и может вентилироваться наружным воздухом с выходом в помещение. При этом происходит утилизация части теплового потока и возникает энергосберегающий

эффект, величина которого зависит от целого ряда геометрических и теплоэнергетических параметров (поперечного сечения и длины прослойки, её месторасположения в конструкции, температуры наружного и внутреннего воздуха, скорости его движения, коэффициента теплообмена и др.).

Такая задача нестационарной теплопередачи через наружное ограждение с вентилируемой воздушной прослойкой решается сложным путём на основе дифференциальных уравнений теплопроводности с использованием метода конечных разностей. Эта задача была значительно упрощена Богословским В.Н., который решил систему уравнений теплового баланса для элемента  $dx$  наружного ограждения, ввёл понятие среднесуточных значений температуры воздуха  $t_x$  в сечении  $x$  прослойки для совмещенного покрытия здания и разработал соответствующую расчетную модель [19].

С учётом понятия величины  $t_x$  была составлена методика по утилизации тепла верхних слоёв земли в вентилируемых подземных каналах[11].

## 5.2. Методика оценки энергосберегающего эффекта при утилизации части теплового потока наружным ограждением, имеющим вентилируемую прослойку в своей конструкции

Выполненный нами анализ месторасположения воздушной прослойки показал, что более интенсивный теплообмен между воздухом помещения и прослойки будет происходить при её размещении со стороны внутренней поверхности наружного ограждения, где тепловой поток наибольший, а термосопротивление разделяющей перегородки незначительное. С целью его минимизации конструкцию перегородки целесообразно принять в виде тонкой пластины.

Поступивший в прослойку наружный воздух движется с заданной

скоростью, регулируемой расположенным у выхода из прослойки вытяжным вентилятором. Приточное отверстие канала закрывается заглушкой с помощью механического или электрического привода. При необходимости может открываться отверстие канала с внутренней стороны стены.

Основываясь на вышеупомянутой расчётной модели, составили следующую систему уравнений для наружной стены с вентилируемой воздушной прослойкой. Значение среднесуточной температуры  $t_x$  воздуха в прослойке определялось по формуле:

$$t_x = t_c - (t_c - t_n) \cdot e^{-Ax}, \quad (5.1),$$

где величина  $t_c$ :

$$t_c = C_0 / D_0 \quad (5.2).$$

Параметры  $C_0$  и  $D_0$  являются комплексными оценочными критериями, связанными с коэффициентами теплообмена и термическими сопротивлениями конструктивных слоёв наружного ограждения. Параметр  $A$  из уравнения (5.1) определялся по формуле:

$$A = \alpha_k \cdot D_0 / (G \cdot c), \quad (5.3)$$

где  $\alpha_k$  - коэффициент конвективного теплообмена между воздухом в прослойке и её поверхностями, принятый равным:

$$\alpha_k = 3,25 \cdot \delta_{пр}^{-0,2} \cdot v_{пр}^{0,8}, \quad (5.4)$$

где  $\delta_{пр}$  - высота прослойки, м;

$v_{пр}$  - скорость движения воздуха в прослойке, м/с.

Через прослойку проходит количество воздуха:

$$G = v_{пр} \cdot \rho \cdot \delta_{пр} \cdot \delta_{пр}^I, \quad (5.5)$$

где  $\rho$  - плотность приточного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta_{пр}^I$  - ширина прослойки, м;

$c$  - удельная теплоёмкость воздуха,  $c = 1005$  Дж/(кг·°C).

### 5.3. Определение энергосберегающего эффекта в численном эксперименте

Оценку энергоэффективности использования данного способа утилизации тепла производили для 10-этажного здания, имеющего в конструкции наружной стены воздушную прослойку (рис.5.1). Воздух, прошедший по всей прослойке, попадает в квартиру, имеющую геометрические размеры 9,6·6·3 м. Конструктивное решение стены представлено на рис.5.2. В расчётной модели были приняты следующие исходные данные: температура наружного воздуха  $t_n=+1$  °С, температура помещения  $t_b=+20$  °С, объём приточного воздуха принят равным 172,8 м<sup>3</sup>/ч (он обеспечивает нормативный воздухообмен в объёме 3 м<sup>3</sup> воздуха на 1 м<sup>2</sup> площади помещения в час), скорость движения воздуха в прослойке  $v_{пр}=0,4$  м/с, сечение канала 1,2м·0,1м (0,1 – толщина  $\delta$  воздушной прослойки).

При решении расчётной модели найдены:

коэффициент конвективного теплообмена между воздухом в прослойке и её поверхностями по формуле (5.4):

$$\alpha_k=3,25 \cdot 0,1^{-0,2} \cdot 0,4^{0,8}=2,47 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С});$$

среднесуточные значения температуры воздуха  $t_x$  в сечении  $x$  прослойки по формуле (5.1):

$$t_x=18,9-(18,9-1) \cdot e^{-0,043x},$$

значения оценочных критериев для определения величины  $t_c$ :

$$C_o=22,2 \text{ °С}; D_o=1,18.$$

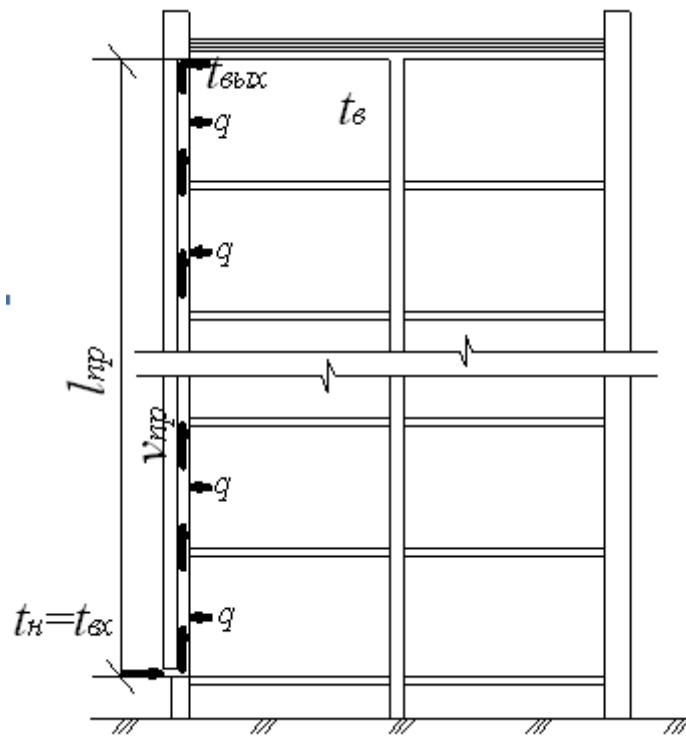


Рис.5.1. Схема утилиции тепла

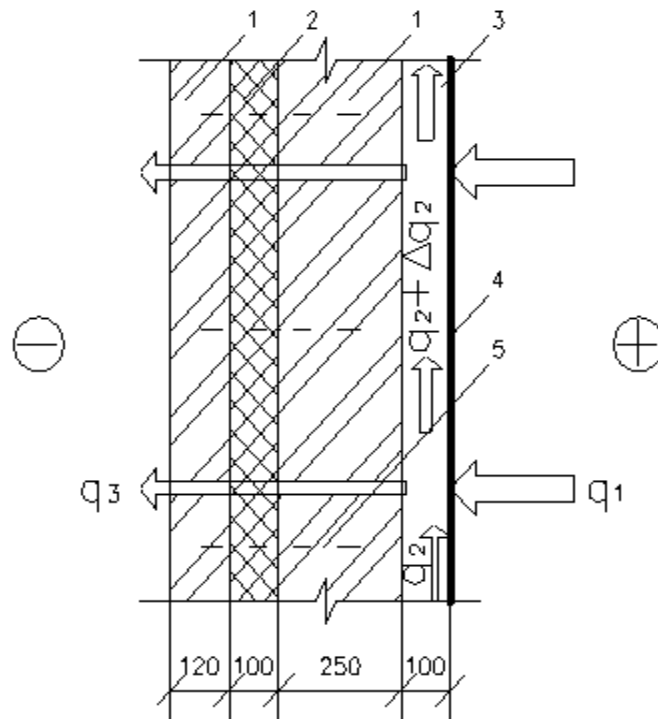


Рис.5.2. Конструктивная схема стены с воздушной прослойкой: 1-основная стена (здесь: кирпичная кладка); 2-минеральная вата; 3-воздушная прослойка; 4-алюминиевая пластина толщиной 1 мм; 5-гибкие связи.

количество воздуха  $G$ , проходящего через прослойку, для нахождения параметра  $A$  в формуле(5.1):

$$G=0,4 \cdot 1,3 \cdot 0,1 \cdot 1,2=0,067 \text{ кг/с } ,$$

параметр  $A$  найден по формуле (5.3):

$$A=2,47 \cdot 1,18/(0,067 \cdot 1005)=0,043.$$

Основным показателем при определении эффективности рассматриваемого способа утилизации тепла наружным ограждением является значение температуры  $t_x$  в любом сечении воздушной прослойки. На рис.5.3 показаны найденные по формуле (5.1) значения параметра  $t_x$ .

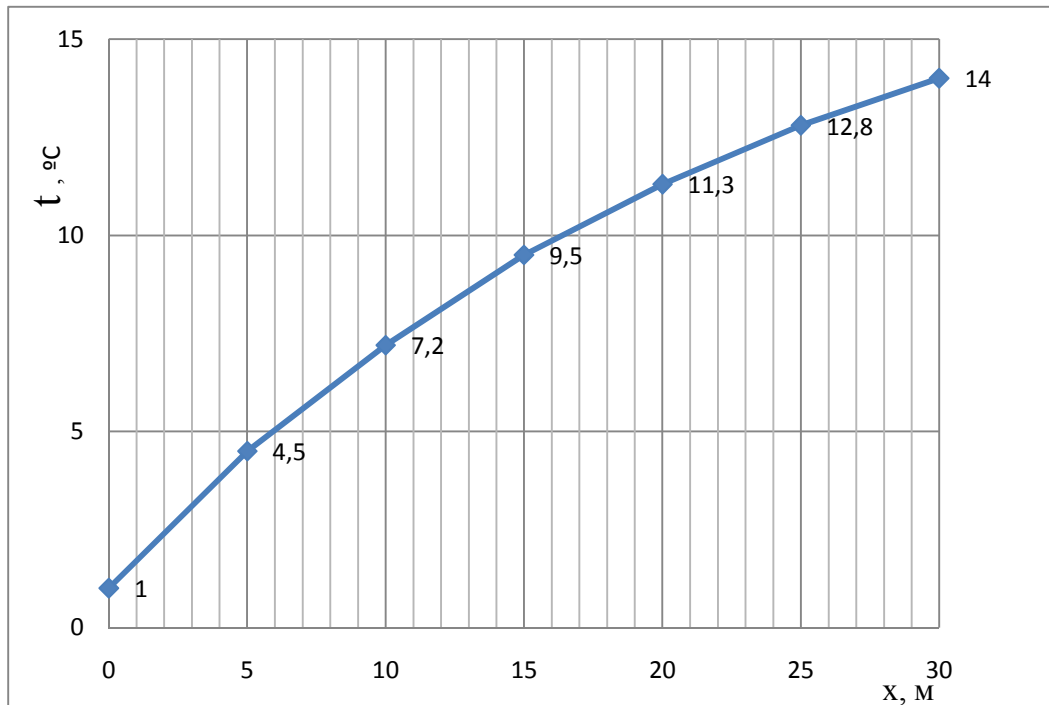


Рис.5.3.Зависимость температуры воздуха  $t_x$  в воздушной прослойке от расстояния до входа в прослойку при температуре приточного воздуха  $+1$  °C и при скорости движения воздуха в прослойке  $0,4$  м/с.

По разработанной методике с целью выявления возможности применения рассматриваемого способа утилизации тепла при низких температурах наружного воздуха были определены расчётные параметры для температуры наружного воздуха  $-20$  °C с учётом тех же исходных данных. На рис.5.4 представлена зависимость температуры воздуха  $t_x$  в воздушной прослойке от расстояния до

входа в прослойку. Очевидно, что при низких температурах  $t_n$  приточного воздуха ограничивается область применения данного способа утилизации тепла, так как при этом не только велика вероятность обильного конденсата на поверхности пластины со стороны помещения, но и её обледенения вблизи входа наружного воздуха. Для снижения вероятности образования конденсата при положительных значениях  $t_n$  канал на внутренней поверхности наружной стены рекомендуется закрыть пластиной из окрашенного металлического листа, имеющего практически не учитываемое в расчётах термосопротивление. Со стенки канала в водоприёмную ёмкость будет стекать конденсат, при испарении которого уменьшается такой неблагоприятный параметр микроклимата отапливаемого помещения, как сухость воздуха.

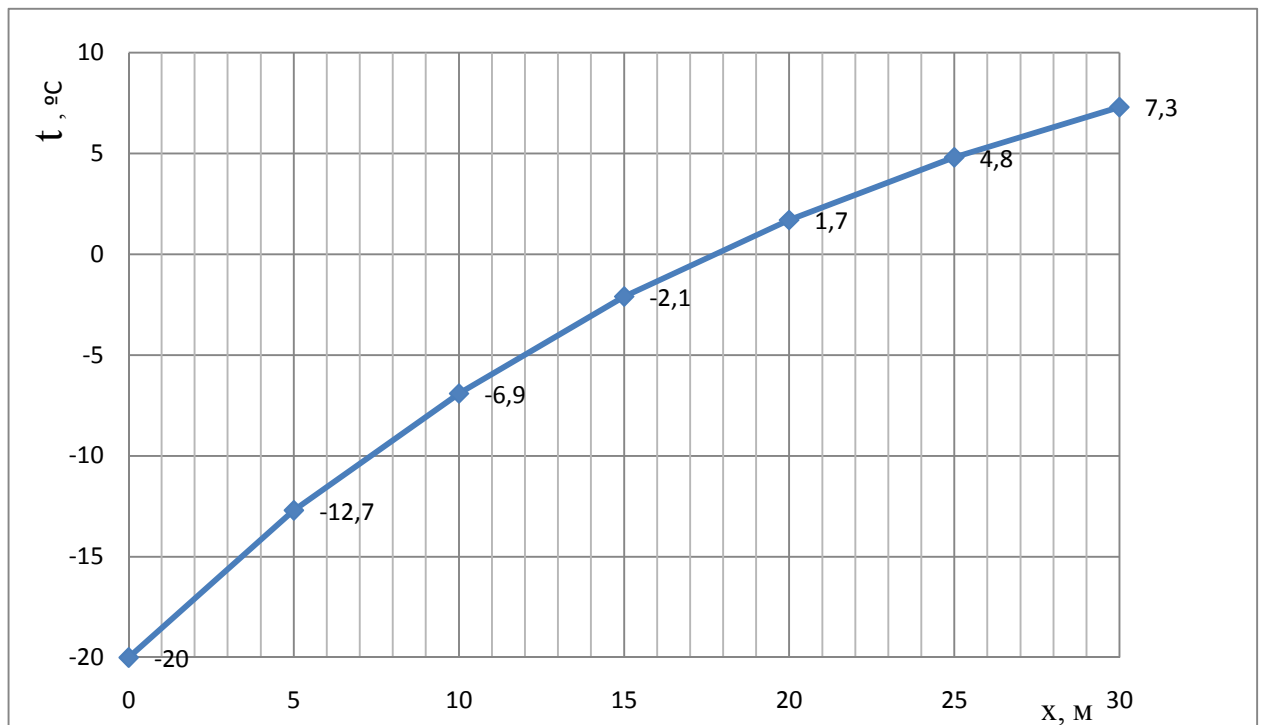


Рис.5.4. Зависимость температуры воздуха  $t_x$  в воздушной прослойке от расстояния до входа в прослойку при температуре приточного воздуха  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и при скорости движения воздуха в прослойке  $0,4\text{ м/с}$ .

Для выявления в процентном отношении энергосберегающего эффекта предложенного варианта утилизации теплового потока был рассмотрен расход тепла  $Q_1$  на подогрев необходимого количества вентиляционного воздуха до



температуры  $t_b$  помещения при поступлении последнего напрямую из наружной среды, который затем сравнили с количеством тепла  $Q_2$ , необходимого на подогрев до этой же температуры воздуха, поступившего из воздушной прослойки. Расчёт дан для помещения второго этажа здания, остальные исходные данные приняты такие же, как в вышеприведённом примере расчёта.

При наружной температуре  $+1\text{ }^\circ\text{C}$  расход тепла по формуле (4.5):

$$Q_1=0,28 \cdot 172,8 \cdot (353/(273+1)) \cdot (20-1) = 1184,35 \text{ Вт},$$

$$Q_2=0,28 \cdot 172,8 \cdot (353/(273+5)) \cdot (20-5) = 921,56 \text{ Вт},$$

$$\Delta=(1184,35-921,56)/1184,35=22,2\%$$

При наружной температуре  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  расход тепла по формуле (4.5):

$$Q_1=0,28 \cdot 172,8 \cdot (353/(273-20)) \cdot (20+20) = 2700,32 \text{ Вт},$$

$$Q_2=0,28 \cdot 172,8 \cdot (353/(273-12)) \cdot (20-(-12)) = 2094,04 \text{ Вт},$$

$$\Delta=(2700,32-2094,04)/2700,32=22,5\%$$

Результаты расчёта энергосберегающего эффекта для 1,3,4 и 5 этажей при тех же условиях составляет 8,4; 30,3; 38,4; 46,4% соответственно при температуре приточного воздуха  $+1\text{ }^\circ\text{C}$  и 11,4; 33,2; 40,1; 48,4% соответственно при температуре приточного воздуха  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ .

Для более высоких этажей этот способ утилизации тепла не рекомендуется из-за возможности возникновения технических трудностей по эксплуатации воздушной прослойки (установка более мощного вентилятора, вибрация экранирующей пластины и др.).

На основе разработанной модели и методики создан программный продукт «Утилизация тепла наружным ограждением» на языке Visual Basic.

#### 5.4. Выводы по результатам исследования

Численный эксперимент по определению эффекта экономии тепла для помещения с размерами 9,6·6·3 м при использовании данного способа утилизации тепла показал, что для 1,2,3,4,5 этажей здания при температуре наружного воздуха +1°C и -20°C эффект энергосбережения может достигать 8-46% и 11-48% соответственно.

Применение рассмотренного способа утилизации уходящего теплового потока наружным ограждением позволит значительно сократить тепловую энергию на подогрев приточного вентиляционного воздуха, поступающего не из традиционных приточных отверстий (через форточки, фрамугу и т.п.), а из воздушной прослойки наружного ограждения.

## 6. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты исследований по теме диссертации внедрены при строительстве, реконструкции и повышении тепловой защиты жилых зданий г. Пензы, проводимых МУП «Пензгорстройзаказчик», в конструктивных решениях наружных ограждений и инженерных систем, проектируемых ОАО «Приволжское КБ по архитектурно-строительным системам и новым технологиям им. А.А. Якушева», а также в ООО «Гражданпроект».

В проектную практику МУП «Пензгорстройзаказчик» внедрены:

- результаты натурных исследований наружных ограждающих конструкций, в том числе конструкций "холодного" чердака, а также вентиляционных блоков и их оголовников над кровлей;

- результаты исследований системы естественной вентиляции квартир обследованных жилых домов;

- практические рекомендации по результатам исследований.

Упомянутые результаты исследований используются МУП «Пензгорстройзаказчик» при строительстве многоэтажных жилых зданий и осуществлении технического надзора в г. Пенза.

В проектную практику ОАО "Приволжское конструкторское бюро по архитектурно-строительным системам и новым технологиям им. А.А. Якушева» внедрены:

- результаты исследований системы естественной вентиляции и инструментальных замеров параметров микроклимата помещений;

- поверочные расчеты и выводы по результатам измерений и наблюдений;

- практические рекомендации по результатам исследований.

Упомянутые результаты исследований используются ОАО "Приволжское конструкторское бюро по архитектурно-строительным системам и новым технологиям им. А.А. Якушева» при проектировании системы естественной

вентиляции и тепловой защиты жилых зданий, проведении авторского надзора в г. Пензе и других городах Среднего Поволжья.

В проектную практику ООО «Гражданпроект» внедрены:

- методика оценки теплопроводности увлажненных конструктивных слоев наружной стены в зоне отрицательных температур;
- методика расчета экономайзерного эффекта при инфильтрации воздуха через массив "дышащей" стены;
- методика утилизации части теплового потока посредством устройства вентилируемой прослойки в наружной стене.

Первые две методики по оценке энергосберегающего эффекта используются ООО «ГРАЖДАНПРОЕКТ» при проектировании тепловой защиты и составлении энергетического паспорта жилых зданий в г. Пензе. Внедрённые методики расчета энергосберегающего эффекта позволяют более точно определить теплоэнергетические параметры энергетического паспорта многоэтажных зданий и определить значение удельной величины тепловой энергии на их отопление.

На основе разработанных моделей и методик созданы программные продукты «Теплопроводность увлажнённого материала при отрицательных температурах» и «Утилизация тепла наружным ограждением».

Разработанные методики энергосбережения и программные продукты для ЭВМ внедрены в учебный процесс при подготовке курсов лекций и практических занятий, в курсовом проектировании инженеров и бакалавров по направлению «Строительство».

На рис.6.1-6.6 представлены рабочие окна программы «Теплопроводность увлажнённого материала при отрицательных температурах» с примерами расчёта для шлакобетона плотностью  $1300 \text{ кг/м}^3$  с объёмной влажностью материала 10,15 и 20%.

Введите следующие данные:

Материал стены

Влажность материала  $w$ , %

Коэффициент теплопроводности  $\lambda_w$  (соответствующий этой влажности)

Температура начала замерзания влаги  $t_z$  °C, (от -1°C до -3°C)

Температура наружного воздуха  $t_n$  °C, (от температуры начала замерзания влаги и ниже)

Температура воздуха в помещении  $t_w$  °C

Толщина стены  $\delta$ , м

Коэффициент теплообмена  $a_w$ , Вт/(м<sup>2</sup>°C)

Коэффициент теплообмена  $a_n$ , Вт/(м<sup>2</sup>°C)

Наличие штукатурки  Да  Нет

Толщина штукатурки  $\delta_{ш}$ , м

Коэффициент теплопроводности материала штукатурки  $\lambda_{ш}$ , Вт/(м<sup>2</sup>°C), не равный нулю

Рис.6.1. Ввод данных. Материал: шлакобетон, плотность: 1300, объёмная влажность 10%

Расчет для материала шлакобетон 1300

Находим термосопротивление системы:

Определяем толщину участка стены, находящегося в зоне положительных температур:

Определяем толщину участка стены, находящегося в зоне отрицательных температур:

Находим коэффициент теплопроводности материала влажной зоны при отриц. температурах  $\lambda_z$  по основной формуле:

Рис.6.2. Расчёт. Материал: шлакобетон, плотность: 1300, объёмная влажность 10%

Введите следующие данные:

Материал стены

Влажность материала  $\omega$ , %

Коэффициент теплопроводности  $\lambda_{\text{в}}$  (соответствующий этой влажности)

Температура начала замерзания влаги  $t_{\text{з}}$  °C, (от -1°C до -3°C)

Температура наружного воздуха  $t_{\text{н}}$  °C, (от температуры начала замерзания влаги и ниже)

Температура воздуха в помещении  $t_{\text{в}}$  °C

Толщина стены  $\delta$ , м

Коэффициент теплообмена  $\alpha_{\text{в}}$ , Вт/(м<sup>2</sup>°C)

Коэффициент теплообмена  $\alpha_{\text{н}}$ , Вт/(м<sup>2</sup>°C)

Наличие штукатурки  Да  Нет

Толщина штукатурки  $\delta_{\text{ш}}$ , м

Коэффициент теплопроводности материала штукатурки  $\lambda_{\text{ш}}$ , Вт/(м<sup>2</sup>°C), не равный нулю

Рис.6.3.Ввод данных. Материал: шлакобетон, плотность:1300, объёмная влажность 15%

Расчет для материала шлакобетон 1300

Находим термосопротивление системы:

Определяем толщину участка стены, находящегося в зоне положительных температур:

Определяем толщину участка стены, находящегося в зоне отрицательных температур:

Находим коэффициент теплопроводности материала влажной зоны при отриц. температурах  $\lambda_{\text{з}}$  по основной формуле:

Рис.6.4.Расчёт. Материал: шлакобетон, плотность:1300, объёмная влажность 15%

Введите следующие данные:

Материал стены

Влажность материала  $\omega$ , %

Коэффициент теплопроводности  $\lambda_v$  (соответствующий этой влажности)

Температура начала замерзания влаги  $t_z$  °C, (от -1°C до -3°C)

Температура наружного воздуха  $t_n$  °C, (от температуры начала замерзания влаги и ниже)

Температура воздуха в помещении  $t_v$  °C

Толщина стены  $\delta$ , м

Коэффициент теплообмена  $a_v$ , Вт/(м<sup>2</sup>°C)

Коэффициент теплообмена  $a_n$ , Вт/(м<sup>2</sup>°C)

Наличие штукатурки  Да  Нет

Толщина штукатурки  $\delta_{ш}$ , м

Коэффициент теплопроводности материала штукатурки  $\lambda_{ш}$ , Вт/(м<sup>2</sup>°C), не равный нулю

Рис.6.5.Ввод данных. Материал: шлакобетон, плотность:1300, объёмная влажность 20%

Расчет для материала шлакобетон 1300

Находим термосопротивление системы:

Определяем толщину участка стены, находящегося в зоне положительных температур:

Определяем толщину участка стены, находящегося в зоне отрицательных температур:

Находим коэффициент теплопроводности материала влажной зоны при отриц. температурах  $\lambda_z$  по основной формуле:

Рис.6.6.Расчёт. Материал: шлакобетон, плотность:1300, объёмная влажность 20%

На рис.6.7-6.12 представлены рабочие окна программы «Утилизация тепла наружным ограждением» с примером расчёта.

**Утилизация тепла наружным ограждением**  
Ввод данных:  
Внешняя часть наружного ограждения:

Количество слоев во внешней части ограждения $m$	<input type="text" value="3"/>
Материал 1-го слоя, начиная от воздушной прослойки	<input type="text" value="кирпич"/>
Толщина 1-го слоя $\delta m1$ , м	<input type="text" value="0.25"/>
Коэффициент теплопроводности материала 1-го слоя $\lambda m1$ , Вт/м <sup>°C</sup>	<input type="text" value="0.64"/>
Теплоусвоение 1-го слоя $S m1$ , Вт/м <sup>2</sup> °C	<input type="text" value="8.64"/>
Материал 2-го слоя, начиная от воздушной прослойки	<input type="text" value="минеральная вата"/>
Толщина 2-го слоя $\delta m2$ , м	<input type="text" value="0.1"/>
Коэффициент теплопроводности материала 2-го слоя $\lambda m2$ , Вт/м <sup>°C</sup>	<input type="text" value="0.043"/>
Теплоусвоение 2-го слоя $S m2$ , Вт/м <sup>2</sup> °C	<input type="text" value="0.68"/>
Материал 3-го слоя, начиная от воздушной прослойки	<input type="text" value="кирпич"/>
Толщина 3-го слоя $\delta m3$ , м	<input type="text" value="0.12"/>
Коэффициент теплопроводности материала 3-го слоя $\lambda m3$ , Вт/м <sup>°C</sup>	<input type="text" value="0.64"/>
Теплоусвоение 3-го слоя $S m3$ , Вт/м <sup>2</sup> °C	<input type="text" value="8.64"/>

Рис.6.7. Программа «Утилизация тепла наружным ограждением». Ввод данных. Внешняя часть наружного ограждения.

**Утилизация тепла наружным ограждением**  
Ввод данных:  
Внутренняя часть наружного ограждения:

Количество слоев во внутренней части ограждения, $n$	<input type="text" value="1"/>
Материал 1-го слоя, начиная от внутренней поверхности стены	<input type="text" value="алюминий"/>
Толщина 1-го слоя $\delta n1$ , м	<input type="text" value="0.001"/>
Коэффициент теплопроводности материала 1-го слоя $\lambda n1$ , Вт/м <sup>°C</sup>	<input type="text" value="221"/>
Теплоусвоение 1-го слоя $S n1$ , Вт/м <sup>2</sup> °C	<input type="text" value="187.6"/>
Материал 2-го слоя, начиная от внутренней поверхности стены	<input type="text"/>
Толщина 2-го слоя $\delta n2$ , м	<input type="text"/>
Коэффициент теплопроводности материала 2-го слоя $\lambda n2$ , Вт/м <sup>°C</sup>	<input type="text"/>
Теплоусвоение 2-го слоя $S n2$ , Вт/м <sup>2</sup> °C	<input type="text"/>
Материал 3-го слоя, начиная от внутренней поверхности стены	<input type="text"/>
Толщина 3-го слоя $\delta n3$ , м	<input type="text"/>
Коэффициент теплопроводности материала 3-го слоя $\lambda n3$ , Вт/м <sup>°C</sup>	<input type="text"/>
Теплоусвоение 3-го слоя $S n3$ , Вт/м <sup>2</sup> °C	<input type="text"/>

Рис.6.8. Программа «Утилизация тепла наружным ограждением». Ввод данных. Внутренняя часть наружного ограждения.



Дополнительно:

Коэффициент теплообмена ав, Вт/м <sup>2</sup> °С	<input type="text" value="8.7"/>
Коэффициент теплообмена аи, Вт/м <sup>2</sup> °С	<input type="text" value="23"/>
Температура наружного воздуха tn, °С	<input type="text" value="1"/>
Температура воздуха в помещении ti, °С	<input type="text" value="20"/>
Основание натурального логарифма e	<input type="text" value="2.71828182"/>
Объём необходимого приточного воздуха V, м <sup>3</sup> /ч	<input type="text" value="172.8"/>
Высота прослойки бп, м	<input type="text" value="0.1"/>
Длина прослойки l, м	<input type="text" value="30"/>
Коэффициент лучистого теплообмена в воздушной прослойке ал, Вт/м <sup>2</sup> °С	<input type="text" value="5.5"/>
Скорость воздуха в прослойке v, м/с	<input type="text" value="0.4"/>
Удельная теплоёмкость с, Дж/(кг·°С)	<input type="text" value="1005"/>

Рис.6.9. Программа «Утилизация тепла наружным ограждением». Ввод данных.

## Дополнительные данные

Теплотехнические свойства внешней части наружного ограждения:

Общее сопротивление теплопередаче внешней части наружного ограждения	<input type="text" value="2.90370639534884"/>
Теплоинерционность внешней части наружного ограждения	<input type="text" value="6.57639534883721"/>
Коэффициент теплопередачи	<input type="text" value="0.339306869656115"/>

Теплотехнические свойства внутренней части наружного ограждения:

Общее сопротивление теплопередаче внутренней части наружного ограждения	<input type="text" value="4.52488687782805E-06"/>
Теплоинерционность внутренней части наружного ограждения	<input type="text" value="0.000848868778280543"/>
Коэффициент теплопередачи	<input type="text" value="8.69965752479427"/>

Рис.6.10. Программа «Утилизация тепла наружным ограждением». Расчёт теплотехнических свойств внешней и внутренней частей наружного ограждения

Плотность наружного воздуха	1.28832116788321
Ширина воздушной прослойки	1.2
Коэффициент конвективного теплообмена между воздухом в прослойке и ее поверхностями	2.47475012033064
Количество воздуха, проходящего через прослойку	0.0618394160583942
Далее	

Рис.6.11. Программа «Утилизация тепла наружным ограждением». Расчёт дополнительных параметров

Постоянные величины расчётных формул	
A1	13.8140569899868
A2	22.1744076451249
C1	7.52392884454596
C2	120.177564840875
C3	108.381975435839
C4	89.0624571862576
C0	22.2460904220128
D0	1.17825397785833
tc	18.8805561789393
A	0.0469179282726403
Температура вентиляционного воздуха, поступающего в помещение:	14.5147
Выход	

Рис.6.12. Программа «Утилизация тепла наружным ограждением». Расчёт основных параметров

Экономический эффект внедрения способа энергосбережения с использованием экономайзерного эффекта для 12-этажного дома с площадью этажа 1.000 м<sup>2</sup> при стоимости отопления 25-30 руб/м<sup>2</sup> для стен из керамзитобетона плотностью 900 кг/м<sup>3</sup> в помещениях этажей, где возникает экономайзерный эффект, составляет:

- 1 этажа – 3250-3900 руб;
- 2 этажа – 2750-3300 руб;
- 3 этажа – 2500-3000 руб;
- 4 этажа – 2000-2400 руб;
- 5 этажа – 1750-2100 руб;
- 6 этажа – 1400-1700 руб;
- 7 этажа – 1000-1200 руб;
- 8 этажа – 700-800 руб;
- суммарный эффект за отопительный период(6 месяцев)  
92100-110400 руб;

для стен из шлакопемзобетона в помещениях:

- 1 этажа – 4500-5400 руб;
- 2 этажа – 4000-4800 руб;
- 3 этажа – 3500-4200 руб;
- 4 этажа – 3000-3600 руб;
- 5 этажа – 2500-3000 руб;
- 6 этажа – 2000-2400 руб;
- 7 этажа – 1400-1700 руб;
- 8 этажа – 900-1100 руб;
- суммарный эффект за отопительный период(6 месяцев)  
130800-157200 руб;

для стен из кирпичной кладки на цементно-шлаковом растворе в помещениях:

- 1 этажа – 2600-3000 руб;
- 2 этажа – 2300-2700 руб;
- 3 этажа – 2000-2400 руб;
- 4 этажа – 1750-2100 руб;
- 5 этажа – 1450-1700 руб;
- 6 этажа – 1150-1400 руб;
- 7 этажа – 850-1000 руб;
- 8 этажа – 550-650 руб;
- суммарный эффект за отопительный период(6 месяцев)  
75900-89700 руб;

Экономический эффект внедрения способа энергосбережения с использованием ограждающей конструкции с вентилируемой воздушной прослойкой для 10-этажного дома с площадью этажа 1.000 м<sup>2</sup> при стоимости отопления 25-30 руб/м<sup>2</sup> составляет в помещениях:

- 1 этажа – 2100-2500 руб;
- 2 этажа – 5500-6600 руб;
- 3 этажа – 7500-9000 руб;
- 4 этажа – 9500-11400 руб;
- 5 этажа – 11500-13800 руб;
- суммарный эффект за отопительный период(6 месяцев)  
216600-259800 руб.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. По результатам натурных исследований многоэтажных жилых зданий выявлены основные причины снижения тепловой защиты их ограждающих конструкций и ухудшения параметров микроклимата воздушной среды помещений.

Строительные недоделки и проектные упущения значительно снижают теплозащитную функцию наружных ограждений. Незаполненность швов кирпичной кладки («пустошовка») наружных стен и неплотное примыкание плит пенополистирола к стене и между собой в конструкции дополнительного утепления обусловили рост неконтролируемой воздухопроницаемости через ограждающие конструкции. Снижение теплозащитных качеств последних вызвали замена трёхкамерных стеклопакетов на двухкамерные, смещение их месторасположения ближе к внутренней поверхности стены, завышенная плотность материала стены (керамзитобетона, его проектные значения 900 и 1050 кг/м<sup>3</sup>, фактические (средние) соответственно 1367-1402 и 1131 кг/м<sup>3</sup>), сильное увлажнение отдельных участков стен атмосферной влагой с неотремонтированных кровель зданий.

Процессу переувлажнения материала наружных ограждений, появления на их внутренней поверхности конденсационной влаги, плесени и изморози способствует неэффективно работающая система естественной вентиляции помещений и чердачного пространства. Эта причина, а также завышенная плотность материала стен (керамзитобетон) вызвали рост его влажности, на 20% превышающей предельно допустимое приращение массового отношения влаги.

Кроме потери механических свойств такие стены испытывают повышенные тепловые потери, величина которых зависит также от степени увлажнения и промерзания материала конструкции.

На работе системы естественной вентиляции сказались:

-строительные недоделки (разгерметизированность пространства

«теплого» чердака в обследованных зданиях по сериям 90 и 101, отсутствие или частичная заделка приточно-вытяжных отверстий в пространстве «холодного» чердака в зданиях по ул.Онежской и ул.Лядова, ошибочная пробивка вытяжных отверстий вентиляционных блоков в ствольные каналы для другой группы квартир);

-ошибки в проектировании (неверный концептуальный выбор системы естественной вентиляции квартир обследованных многоэтажных зданий, заключающийся в использовании стеклопакетов с плохо регулируемыми приточными отверстиями, несбалансированности аэродинамических сопротивлений приточных и вытяжных отверстий вентиляционных блоков).

Фактический воздухообмен в помещениях квартир обследованных зданий составляет только часть (не более 46%) от требуемого значения по нормам при условии одновременного и длительного открытия створок окон в квартирах, расположенных по высоте здания, с одним и тем же магистральным вытяжным каналом. Высокая герметичность ограждающих конструкций приводит к уменьшению естественного воздухообмена помещений и, как следствие, к повышению содержания вредных, в том числе токсических, веществ в воздухе, а также к повышению его относительной влажности.

Таким образом, по данным инструментальных измерений установлено, что параметры микроклимата помещений обследованных многоэтажных домов не соответствуют требованиям энергоэффективности здания как единой энергетической и экологической системы и позволяют отнести их в категорию так называемых «больных» зданий (sick houses).

В качестве одного из способов формирования контролируемой воздухопроницаемости наружных ограждений, приводящего к образованию энергосберегающего эффекта и улучшающего систему естественной вентиляции, в диссертационном исследовании рассматривается инновационное конструктивное решение наружного ограждения по типу «дышащей» стены с использованием экономайзерного эффекта (глава 4).

2. Анализ климатограмм для территорий Среднего Поволжья показал, что

на указанных территориях отмечаются значительные колебания амплитуды температуры наружного воздуха и упругостей водяного пара воздушных сред по обе стороны наружного ограждения (например, для г. Пенза в январе разница между средней и максимальной температурой составляет  $16^{\circ}\text{C}$ , в г. Нижний Новгород  $20^{\circ}\text{C}$ , а упругость водяного пара в наружном воздухе этих городов почти в 10 раз меньше, чем в воздухе помещения). Это указывает на возможность интенсивной передачи, а в ряде случаев и накопления парообразной влаги в толще ограждения, а также на вероятность фазовых переходов влаги в структуре материала ограждения со стороны наружной поверхности.

3. На основании анализа результатов экспериментальных исследований физико-механических свойств новых строительных материалов из пенокерамобетона, пеностекольного композита на основе опоки, проведённых кафедрой «Технология строительных материалов и деревообработки», обоснованы их высокие теплоизоляционные свойства, сопоставимые с лёгкими утеплителями по типу пенополистирола и минваты, что обосновывает эффективность их использования в наружных ограждающих конструкциях.

Показаны возможные области применения этих материалов, конструктивные решения наружных ограждений с их использованием.

4. Разработана методика оценки теплопроводности увлажнённых слоёв наружной ограждающей конструкции при фазовых превращениях влаги. Установлены расчётные зависимости коэффициента теплопроводности местных материалов в зоне промерзания от их объёмной влажности.

Разработана методика определения тепловых потерь через увлажнённый слой наружного ограждения, находящийся в зоне отрицательных температур.

Проведённое исследование позволило установить, что в условиях резкого падения температур наружного воздуха через увлажнённые наружные ограждающие конструкции значительно увеличиваются тепловые потери, которые могут на 10-21% превышать их величину, найденную по нормам теплотехнического проектирования, в зависимости от влажности и материала

стены

В ходе исследования для коэффициента теплопроводности ряда рассмотренных материалов был введен коэффициент корреляции, учитывающий сложные процессы фазовых переходов влаги в порах материала. С учетом введенного коэффициента корреляции полученные расчетные значения показывают хорошую сходимость (2-10%) с экспериментальными данными других авторов. Это позволило расширить область применения разработанной расчётной модели.

5. Разработана методика расчёта энергосберегающего эффекта с учётом утилизации уходящего через наружное ограждение теплового потока при инфильтрации холодного воздуха.

Установлены закономерности экономайзерного эффекта в капиллярно-пористой структуре материала наружной стены и исследована его зависимость от различных факторов влияния (воздухопроницаемости материала, сопротивлений теплопередаче конструкции, величины теплового потока на внутренней поверхности наружного ограждения, разницы давлений воздуха по обе стороны конструкции).

Эффект уменьшается снизу вверх по мере приближения этажа к нейтральной оси здания. Наибольших значений он достигает на нижних этажах.

Разработанная методика регулируемого процесса инфильтрации воздуха через крупнопористый материал ограждающей конструкции обеспечивает экономию тепловых потерь в энергетической и экологической системе многоэтажного здания.

Рассмотренный способ энергосбережения основан на использовании в наружных ограждениях относительно воздухопроницаемых материалов. Меньшая чем у стен с эффективными утеплителями теплоизолирующая способность, во-первых, окупается в этих ограждающих конструкциях более низкими затратами на их капитальный и текущий ремонт, поскольку они отличаются большими сроками службы, а, во-вторых, компенсируется комплексом эксплуатационных свойств, позволяющих формировать экологически чистую и комфортную среду проживания. Главным преимуществом таких конструкций является возможность



регулирования их воздухопроницаемости, что способствует стабильному воздухообмену помещений и благоприятным экологическим параметрам внутренней среды проживания без постоянного использования специальных приточных отверстий, подающих холодный зимой воздух, отбирающий тепло внутренней воздушной среды.

6. Разработаны способ утилизации тепла наружным ограждением с вентилируемой прослойкой и методика энергосбережения в системе естественной вентиляции.

Разработанная методика утилизации части теплового потока посредством устройства вентилируемой прослойки в наружной стене обеспечивает большой энергосберегающий эффект (до 55%) в помещениях верхних этажей такого здания. Применение рассмотренного способа утилизации уходящего теплового потока наружным ограждением позволяет значительно сократить тепловую энергию на подогрев приточного вентиляционного воздуха, поступающего не из традиционных приточных отверстий (через форточки, фрамугу и т.п.), а из воздушной прослойки наружного ограждения.

7. Результаты исследований внедрены при строительстве, реконструкции и повышении тепловой защиты жилых зданий г. Пензы, проводимых МУП «Пензгорстройзаказчик», в конструктивных решениях наружных ограждений и инженерных систем, проектируемых ОАО «Приволжское КБ по архитектурно-строительным системам и новым технологиям им. А.А. Якушева», ОАО «Гражданпроект», в технологии изготовления изделий тепловой защиты строительной фирмы «ПБ Композит» г. Пензы.

Разработанные методики энергосбережения и программные продукты для ЭВМ «Утилизация тепла наружным ограждением» и «Теплопроводность увлажнённого материала при отрицательных температурах» внедрены в учебный процесс при подготовке курсов лекций и практических занятий, в курсовом проектировании инженеров и бакалавров по направлению «Строительство».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдрахманова, Л.А. Модифицированные жёсткие пенополиуретаны для теплоизоляции // Изв. вузов. Строительство.-2005.-№6.-С.25-29.
2. Альтшуллер, Е.Н. О показателе удельной энергоёмкости в индустриальном домостроении // Бетон и железобетон. - 1982. - №8. - С.27-28.
3. Альтшуллер, Е.Н. Эффективность применения слоистых стен в монолитном домостроении // Бетон и железобетон.-1993.-№2.-С.27-28.
4. Анисимов, М.В. Экспериментальное исследование тепловых потерь через покрытие и наружные стены подвальных помещений / М.В. Анисимов, С.А. Карауш // Энергосбережение и энергетическая безопасность регионов России: Матер. докл.- Томск: Изд-во ЦНТИ,2003. – С. 116-118.
5. АО «Стромминноцентр- XXI ». Перспективные технологии и оборудование для производства пенобетона // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. -2001-. № 10- С.20- 21.
6. Башмаков, И.А. Энергоэффективность в контексте экономического развития и модернизации // Энергосбережение.-2011.-№2.-С.17-21.
7. Береговой, А.М. Конструкции стен из ячеистого бетона /А.М. Береговой, А.П. Прошин, В.А. Береговой // ИЛ № 277-02, Серия Р.67.11.31.- Пенза, Пензенский центр научно-технической информации.- 2002.- № 277-02.- С.1-4.
8. Береговой, А.М. Наружные ограждающие конструкции, адаптированные к использованию энергии природной среды / А.М. Береговой, А.П. Прошин, В.А. Береговой, А.В. Гречишкин // Изв. вузов. Строительство.-2005.-№2.-С.4-8.
9. Береговой, А.М. Пути повышения энергоактивности зданий и конструкций из местных материалов / А.М. Береговой, А.П. Прошин, В.А. Береговой, С.В. Зворыгина // Изв. вузов. Строительство.-2006.-№9.-С.4-9.
10. Береговой, А.М. Тепловая эффективность наружных ограждений зданий при фазовых превращениях влаги / А.М. Береговой, В.А. Береговой, А.В. Мальцев,

М.А. Петрянина // Изв. вузов. Строительство. – 2011.– №12.–С. 73–79.

11.Береговой, А.М. Энергосбережение в индивидуальном жилом доме при использовании тепла верхних слоёв земли / А.М. Береговой, В.А. Береговой // Изв. вузов. Строительство.-2008.-№10.-С.54-58.

12.Береговой, А.М. Эффект энергосбережения в помещении с естественной вентиляцией в условиях инфильтрации воздуха через наружную стену / А.М. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Дерина, А.В. Гречишкин // Региональная архитектура и строительство.-2013.-№ 3.-С.140-144.

13.Береговой, В.А. Теплоизоляционная газостеклокерамика на основе кремнистых горных пород / В.А. Береговой, Д.С. Костин, А.М. Береговой // Изв. вузов. Строительство.-2011.-№10.-С.43-49.

14.Береговой В.А. Эффективные теплоизоляционные пенокерамобетоны: монография / В.А. Береговой, Е.В. Королёв, Ю.М. Баженов. М.: МГСУ,2011.-2011.-264с.

15.Береговой, В.А. Ячеистые материалы на местных вяжущих смешанного типа твердения [Текст]: моногр. / В.А. Береговой, Н.А. Прошина, Е.Н. Самошина. – Пенза: ПГУАС, 2010. – 124 с.

16.Бернацкий, А.Ф. Использование отходов льнопереработки для производства теплоизоляционных материалов / А.Ф. Бернацкий, О.В. Смирнова // Изв. вузов. Строительство.-2007.-№3.-С.26-31.

17.Бернацкий,А.Ф. Получение теплоизоляционных материалов на основе древесных отходов / А.Ф. Бернацкий, О.Н. Федина // Изв. вузов. Строительство.-2006.-№11-12.-С.23-26.

18.Бисенов, К.А. Анализ свойств конструкционно-теплоизоляционного арболита на рисовой лузге / К.А. Бисенов, С.С. Удербаяев // Изв. вузов. Строительство.-2006.-№1.-С.29-32.

19.Богословский В.Н. Строительная теплофизика.– М.: Высшая школа.–1982.–415 с.

20.Богоявленский, А.И. Методы контроля теплозащитных свойств

ограждающих конструкций / А.И. Богоявленский, Т.А. Дацюк, П.Г. Исаков, А.С. Платонов, Н.А. Соколов, С.И. Ханков // Изв. вузов. Строительство. -2008. -№11-12.- С.86-89.

21.Бодров, В.И. Методика расчёта теплового режима зданий массовой застройки в период «температурных срезов» / В.И. Бодров, М.В. Корягин // Изв. вузов. Строительство.-2007.-№2.-С.42-46.

22.Бодров, В.И. Модель энергосберегающего производственного сельскохозяйственного здания / В.И. Бодров, А.А. Шевченко, Е.Г. Ионычев // Известия вузов. Строительство.-2005.-№9.-С.114-116.

23.Бодров В.И. Хранение картофеля и овощей / В.И. Бодров. – Горький: Волго-Вят. кн. изд-во, 1985.

24.Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона / В.М. Бондаренко, В.И. Колгунов -М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2004.- 471 с.

25.Бондаренко, В.М. Фрагменты теории силового сопротивления бетона, поврежденного коррозией / В.М. Бондаренко, В.А. Ивахнюк // Бетон и железобетон.-2003.- №5.-С.21-23.

26.Бородин А.И. Метод расчёта средней температуры тел произвольной формы при нестационарном теплообмене // Изв. вузов. Строительство. -2008. -№10.- С.102-108.

27.Бородин А.И. Определение температуры на внутренней поверхности в углу наружной стены // Изв. вузов. Строительство.-2007.-№12. -С.76-79.

28.Бородин, А.И. Учёт влияния влажности среды при расчёте термического сопротивления ограждающей конструкции /А.И. Бородин, З.Б. Чапанов // Изв. вузов. Строительство.-2009.-№7.-С.40-43.

29.Бурцев, В.В. Компьютерная система теплообеспечения зданий // Изв. вузов. Строительство. -2006. -№3-4.- С.84-86.

30.Бутцев, Б.И. Приточные устройства – достойное дополнение к герметичным окнам // СК. – №3, 2000. – с. 34 – 36.

31.Бянкин, И.Г. Аналитическое решение задачи нестационарного теплообмена

в помещении / И.Г. Бянкин, И.В. Бельская // Изв. вузов. Строительство. 2005. №1. С.67-71.

32.Гиндоян А.Г. Тепловой режим конструкций полов / А.Г.Гиндоян. – М.: Стройиздат, 1984. – 222 с.

33.Гликин, С.М. Современные ограждающие конструкции и энергоэффективность зданий / С.М. Гликин. – М., 2003.-157с.

34.Голубкин, И.В. Какие документы в области энергосбережения принимают регионы? // Энергосбережение.-2012.-№4.-С.54-57.

35.Гришков, А.А. Совершенствование выбора параметров теплоносителей в системах теплоснабжения малоэтажных жилых зданий при использовании тепловых насосов // Изв. вузов. Строительство.-2009.-№9. -С.59-63.

36.Гусенков, С.А. Энергосберегающие установки и технологии изготовления пенобетона ООО «Стромминноцентр-XXI» / С.А. Гусенков, В.С. Ерофеев //Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, -2003г. - №5-С.32-33.

37.Денисов, Д.Ю. К вопросу использования жидкостекольных композиций в производстве теплоизоляционных материалов / Д.Ю. Денисов, В.З. Абдрахимов // Изв. вузов. Строительство.-2011.-№11.-С.32-37.

38. Езерский, В.А. Влияние параметров жилого дома повышенной этажности на энергопотребление / В.А. Езерский, П.В. Монастырёв, А.И. Глушкова // Вестник МГСУ.-2011.-Т.1.-№3.-С.286-292.

39. Езерский, В.А. Оптимизация термомодернизации крупнопанельного жилого здания с учётом срока службы теплозащитных мероприятий / В.А. Езерский, П.В. Монастырёв, Р.Ю. Клычников // Строительные материалы.-2013.-№7.-С.25-27.

40.Жуков, А.В. Инженерные формулы для расчёта тепловлажностных свойств древесных материалов // Изв. вузов. Строительство. -2008. -№5.- С.81-84.

41.Жуков, А.В. Математическое моделирование тепло- и влагопереноса в наружных деревянных ограждающих конструкциях / А.В. Жуков, А.Я. Кузин, Т.А. Мирошниченко, Д.Н. Цветков , М.С. Филюшина // Изв. вузов.

Строительство.-2007.-№1.-С.8-15.

42.Зиганшин, А.М. Тестирование моделей свободной и пристеночной турбулентности при численном решении задачи о конвекции у вертикальной нагретой стенки / А.М. Зиганшин, В.Н. Посохин, С.В. Романов // Изв. вузов. Строительство. -2012. -№4.- С.71-79.

43.Иванов, В.В. Нестационарные температурные режимы многослойных ограждающих конструкций в летнее время / В.В. Иванов, И.И. Сахно, Л.В. Карасёва // Изв. вузов. Строительство.-2004.-№3.-С.9-13.

44.Иванов, В.В. Нестационарный теплоперенос в многослойных строительных конструкциях / В.В. Иванов, Л.В. Карасёва, С.А. Тихомиров / / Изв. вузов.- Строительство.-2001.-№9-10.-С.7-10.

45.Иванов, В.В. Тепловые режимы неоднородных ограждающих конструкций / В.В. Иванов, А.Н. Бутенко, Л.В. Карасёва // Изв. вузов. Строительство.-2007.-№4.- С.24-27.

46.Иванцов, А.И. Натурные исследования эксплуатационных воздействий на фасадные системы с различными видами эффективных утеплителей / А.И. Иванцов, В.Н. Куприянов, И.Ш. Сафин // Жилищное строительство.-2013.-№7.- С.29-32.

47.Ивашенцева, Т.А. Формирование экономической модели малоэтажного жилого дома / Т.А. Ивашенцева, А.Б. Коган // Изв. вузов. Строительство.-2010.- №4.-С.71-76.

48.Ильюшенко, А.Н. Экологические основы ресурсосберегающей деятельности в Москве // Энергосбережение.-2002.-№1.-С.46-47.

49.Калашников, М.П. Особенности теплотехнического расчёта наружных ограждающих конструкций плодоовощехранилищ подземного типа / М.П. Калашников, О.Б. Аюрова, В.С. Таханов / / Изв. вузов. Строительство.-2006.-№1.- С.67-71.

50.Карауш С.А. Математическая модель задачи нестационарного теплопереноса в подвальном помещении жилого здания / С.А. Карауш, И.А.

Лысак, М.В. Анисимов // Город и экологическая реконструкция жилищно-коммунального комплекса XXI века: 4 междунар. науч.-практич. конф. 5-6 апреля 2006 г. – М.: МИКХиС, 2006. – С. 474-477.

51.Карауш, С.А. Теплоперенос через цокольную стену подвального помещения жилого здания / С.А. Карауш, М.В. Анисимов // Изв. вузов. Строительство.-2006.-№10.-С.45-47.

52.Китайцева, Е.Х. Естественная вентиляция жилых зданий / Е.Х. Китайцева, Е.Г. Малявина [Электронный ресурс] // URL: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=67](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=67) {дата обращения 11.03.2014}.

53.Клычников, Р.Ю. Оценка целесообразности и оптимизация термомодернизации жилых зданий градостроительного образования. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.-Пенза.-2012.-182 с.

54.Ковков, И.В. Использование жидкостекольной композиции в производстве зернистого теплоизоляционного материала / И.В. Ковков, Д.Ю. Денисов, В.З. Абдрахимов, В.А. Куликов // Изв. вузов. Строительство.-2011.-№7.-С.21-25.

55.Коломацкий, А.С. Теплоизоляционные изделия из пенобетона / А.С. Коломацкий, С.А. Коломацкий //Строительные материалы.-2003 . -№ 1- С.38-39.

56.Кононова, М.С. Оценка снижения теплопотребления на отопление зданий при повышении сопротивления теплопередаче наружных ограждений // Изв. вузов. Строительство.-2011.-№8-9.-С.78-83.

57.Корниенко, С.В. Метод решения трёхмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий // Изв. вузов. Строительство.-2006.-№2.-С.108-111.

58.Корнилов, Т.А. Опыт эксплуатации вентилируемых фасадов зданий в условиях сурового климата // Изв. вузов. Строительство.-2008.-№1.-С.99-104.

59.Корсунов, Н.И. Нейросетевые алгоритмы анализа теплопроводности строительных конструкций / Н.И. Корсунов, А.А. Юдин // Изв. вузов. Строительство. -2007. -№11.- С.98-103.

60.Королёв, Д.Ю. Фасадные краски нового поколения и температурный режим

наружных ограждений при их применении / Д.Ю.Королёв, О.В. Тертычный, В.Н. Семёнов, Т.В. Щукина // Изв. вузов. Строительство.-2011.-№1.-С.93-98.

61.Косач, А.Ф. Проектирование изделий из пенобетона с заданной теплопроводностью // Изв. вузов. Строительство.-2008.-№10.-С.30-35.

62.Костин, В.И. Проблемы оптимизации теплозащитных свойств ограждающих конструкций промышленных зданий // Изв. вузов. Строительство.-2006.-№9.-С.45-47.

63.Кротов, В.М. Исследование тепловых характеристик вертикальных грунтовых теплообменников систем теплоснабжения // Изв. вузов. Строительство.-2009.-№8.-С.61-65.

64.Кузин, А.Я. Теплоперенос в неоднородной брусчатой наружной стене с фасадным утеплением / А.Я. Кузин, А.Н. Хуторной // Изв. вузов. Строительство.-2005.-№11-12.-С.4-10.

65.Кузнецова, И.Н. Влияние минерального состава и пористой структуры межпоровых перегородок на теплопроводность пенобетона / И.Н. Кузнецова, О.А. Кузнецов, А.Ф. Косач, М.А. Ращупкина, Н.А. Гутарева / / Изв. вузов. Строительство.-2010.-№6.-С.24-26.

66. Куприянов, В.Н. Конденсация парообразной влаги в наружных стенах при суточных колебаниях температуры наружного воздуха /В.Н. Куприянов, А.И. Иванцов // Приволжский научный журнал.-2013.-№2.-С.17-22.

67.Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т. IV: Гидродинамика [Текст] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука,1988. – 736с.

68.Лебедев, О.В. Нахождение положения точки росы и плоскости промерзания в многослойных объектах с учетом фазовых переходов жидкость – твердое тело / О.В.Лебедев, О.Н. Будадин, М.Н. Слитков, В.Г. Авраменко, Т.Ф.Русина [Электронный ресурс] // URL:[http://imash.ru/netcat\\_files/File/lebedev/2007-a-Lebedev-DewPoint.pdf](http://imash.ru/netcat_files/File/lebedev/2007-a-Lebedev-DewPoint.pdf) {дата обращения 04.06.2014}.



69.Лесовик, В.С. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства / В.С. Лесовик, Л.А. Сулейманова, К.А. Кара // Изв. вузов. Строительство.-2012.-№3.-С.10-20.

70.Ливчак, В.И. Вентиляция многоэтажных жилых зданий [Электронный ресурс] // URL: <http://ventilationrussia.ru/detali-ventilyatsii/ventilyatsiya-mногоetazhnih-zhilih-zdaniy.html> {дата обращения 11.03.2014}.

71.Ливчак, В.И. Постановление Правительства РФ №18 вернуло сторонников повышения энергоэффективности зданий в правовое поле // Энергосбережение.-2011.-№2.-С.4-12.

72.Лыков, А.В. Теоретические основы строительной теплофизики.–Минск: АН БССР.–1961.– 520 с.

73.Мальцев, А.В. Энергосбережение в многоэтажных жилых зданиях, основанное на экономайзерном эффекте / А.В. Мальцев, А.М. Береговой, М.А. Дерина / / Сб. трудов международной научно-технической конференции «Энергоэффективность, энергосбережение и экология в городском строительстве и хозяйстве», ПГУАС.-2013.-С.53-58.

74.Мананков, А.В. Структурообразование теплоэффективных материалов на основе минерализованных пеностекольных композиций / А.В. Мананков, Т.А. Лебедева, С.А. Белых // Изв. вузов. Строительство.-2007. №3.-С.31-35.

75.Матросов, Ю.А. Сравнительный анализ территориальных норм России по энергоэффективности жилых зданий и нового постановления Германии // Энергосбережение.- № 4.- 2002 .- С.60-63.

76.Матросов, Ю.А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути её решения. М.: НИИСФ, 2008. 496с.

77.Машенков, А.Н. Математическое моделирование конвективного теплообмена около стены здания в приближении пограничного слоя / А.Н. Машенков, Е.А. Косолапов, Е.В. Чебурканова // Изв. вузов. Строительство.-2011.-№5.-С.65-71.

78.Мелентьев, Л.А. Основные современные задачи развития теплоснабжения



87.Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон №261-ФЗ, принят Государственной Думой РФ 18 ноября 2009 г., одобрен Советом Федерации 18 ноября 2009 г. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

88.О внесении изменений в областную целевую программу энергосбережения и повышения энергетической эффективности Пензенской области на 2010-2020 годы, утверждённую постановлением Правительства Пензенской области от 28.07.2010 №431-пП / Постановление Правительства Пензенской области от от 15 января 2013 г. N 10-пП / / Экспертный портал по вопросам энергосбережения «Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности» [сайт]. [2013]. [http://gisee.ru/articles/reg\\_programs/11366/](http://gisee.ru/articles/reg_programs/11366/) (дата обращения:1.5.2013).

89.Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 января 2009 г. № 1-р / / Портал по энергосбережению «ЭнергоСовет» [сайт]. [2013]. <http://www.energsovet.ru/npb1165.html> (дата обращения:1.5.2013).

90.Пак, А.А. Особенности технологии стеновых многослойных изделий из полистиролгазобетона / А.А. Пак, Р.Н. Сухорукова // Изв. вузов. Строительство.-2010.-№5.-С.30-34.

91-93.Патенты №№ 2128152 (2002 г.); 2215714 (2003 г.), 2243188 (2004 г.)

94.Патент №2483046. Способ получения теплоизоляционного пеностеклокерамического материала от 27.05.2013 г. Береговой В.А., Береговой А.М., Орешин О.А.

95.Перехоженцев, А.Г. Метод расчёта тепло- и пароизоляции многослойных ограждающих конструкций зданий // Изв. вузов. Строительство.-2006.-№7.-С.4-7.

96.Позин, Г.М. К вопросу математического моделирования тепловоздушных

процессов в помещениях с источниками теплоты / Г.М. Позин, В.М. Уляшева // Изв. вузов. Строительство.-2008.-№9.-С.52-57.

97.Позин, Г.М. Комплексное определение термического сопротивления ограждения и мощности обогрева верхней зоны овощекартофелехранилищ / Г.М. Позин, О.Б. Аюрова: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. – СПб., 2000.

98.Позин, Г.М. Моделирование тепловоздушных процессов в машинных залах компрессорных станций / Г.М. Позин, В.М. Уляшева // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: Матер. 3-й Междунар. конф.- М.: МГСУ,2009.- С.175-178.

99.Позин, Г.М. Численное моделирование тепловоздушных процессов в помещениях с источниками теплоты / Г.М. Позин, В.М. Уляшева // Вест. гражд. инженеров.-2010.- №1(22).- С.147-151.

100.Прошин, А.П. Некоторые аспекты структурообразования особо легких ячеистых бетонов / А.П. Прошин, В.А. Береговой, А.М. Береговой // Успехи строительного материаловедения.- М., РААСН.- 2001-С.45-52.

101.Прошин, А.П. Некоторые пути решения проблемы теплозащиты зданий / А.П. Прошин, В.А. Береговой, А.М. Береговой // Тезисы выступлений на Общем собрании Российской академии АиСН. Градостроительство в России в XXI веке / С-Петербург.-2000. – С. 120-123.

102.Прошин, А.П. Пенобетон (состав, свойства, применение) / А.П. Прошин, В.А. Береговой, А.А.Краснощеков, А.М. Береговой:Монография.- Пенза: ПГУАС, 2003.- 162 с.

103.Прошин, А.П. Прогнозирование теплопроводящих свойств поризованных арболитобетонов в процессе эксплуатации / А.П. Прошин, В.А. Береговой, А.М. Береговой // Бетон и железобетон в Украине.- 2003.-№ 4- С. 5-7.

104.Прошин, А.П. Теплоизоляционный арболитобетон, изготовленный с использованием современных ПАВ / А.П. Прошин, В.А. Береговой, А.М. Береговой // Проблемы строительной теплофизики, систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях. Шестая науч.-технич. конф.

Академические чтения, посвященные памяти В.Н. Богословского: Сб. научных трудов НИИСФ. -М -2001-С.45-50.

105.Прошин, А.П. Ecology building and cellular concrete / А.П. Прошин, В.А. Береговой, А.М. Береговой, С.В. Соболев, А.А. Краснощёков, А.А. Лямов //Architecture, civil engineering: Program and reports of international scientific conference.- Barcelona, Spain.- 18-25 May, 2002.- P.23.

106.Прошин, А.П. Ячеистый бетон для зданий нового поколения / А.П. Прошин, В.А. Береговой, А.М. Береговой, Е.В. Королёв, А.А. Краснощёков // Известия Вузов. Строительство.” – 2002. - №5.- С.101-102.

107.Прошин, А.П. Ячеистый бетон для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и инженерных коммуникаций / А.П. Прошин, В.А. Береговой, А.И. Ерёмкин, А.М. Береговой // Строительные материалы.- 2002.- №7.-С.24 –26.

108.Прошин, А.П. Ячеистые бетоны для тепловой защиты зданий и сооружений / А.П. Прошин, А.М. Береговой, В.А. Береговой // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века.- 2002.-№ 4.- С 10-11.

109.Пучка, О.В. Новый композиционный теплоизоляционный материал на основе пеностекла с покрытием на лицевой поверхности / О.В. Пучка, А.А. Кузьменко, М.Н. Степанова // Изв. вузов. Строительство.-2007.-№11.-С.53-55.

110.Римшин, В.И. Проблемы устойчивости железобетонных конструкций / В.И. Римшин, В.М. Бондаренко, В.Н. Прохоров // Бюллетень строительной техники.- 1998.- №5.-С.13-16.

111.Румянцев, Б.М. Пенобетон. Проблемы развития / Б.М. Румянцев, Д.С. Критарасов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.- 2002г.- №1.- С.14-15.

112.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.-2008.-№8–С.86 –87.

113.Сазонов, Э.В. Моделирование процессов поступления тепловых ресурсов нетрадиционных источников теплоты для систем теплоснабжения / Э.В. Сазонов, Д.М. Чудинов, К.М. Сотникова // Изв. вузов. Строительство.-2010.-№1.-С.55-61.

114.Самарин, О.Д. Влияние изменения параметров наружного климата на окупаемость энергосберегающих мероприятий // Изв. вузов. Строительство.-2009.-№6.-С.43-47.

115.Самарин, О.Д. О расчёте охлаждения наружных стен в аварийных режимах теплоснабжения // Изв. вузов. Строительство.-2007.-№2.-С.46-50.

116.Самарин, О.Д. О скорости понижения температуры в наружном углу здания при аварийных режимах теплоснабжения // Изв. вузов. Строительство.-2008.-№2.-С.62-67.

117.Самарин, О.Д. Принципы расчёта нестационарного теплового режима помещения, обслуживаемого автоматизированными системами обеспечения микроклимата / О.Д. Самарин, С.С. Азивская // Изв. вузов. Строительство.-2011.-№1.-С.59-62.

118.Селиванов, Ю.В. Теплоизоляционная керамика на основе малоэнергоёмкого процесса вспенивания масс / Ю.В. Селиванов, А.Д. Шильцина, Е.В. Логинова, В.М. Селиванов // Изв. вузов. Строительство. 2011. №3. С.12-18.

119.Селяев, В.П. Основы теории расчета композиционных конструкций с учетом действия агрессивных сред: Дис. ... докт. техн. наук: М.- 1983.

120.СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, ФГУП, ЦПП, 2004. 25 с.

121.СНиП 31-01-2003. Здания жилые многоквартирные.

122.СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

123.Солдатов, С.Н. Создание и исследование свойств утеплителей на основе местно сырья. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.-Пенза.-2001.-140 с.

124.СП 23–101-2000. Проектирование тепловой защиты зданий / Госстрой России.-М.-2001.-95 с.

- 125.СП 23–101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий / Госстрой России.– М.: ФГУП ЦПП, 2004.– 139 с.
- 126.СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: Минрегион России, 2012.96 с.
- 127.Стандарт АВОК. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002 – 16 с.
- 128.Сулейманова, Л.А. Ресурсосберегающие материалы в строительстве / Л.А. Сулейманов, А.Г. Сулейманов // Изв. вузов. Строительство.-2007.-№7.-С.113-116.
- 129.Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
- 130.Уляшева, В.М. Исследование вентиляционных процессов в помещениях с источниками тепловыделения экспериментальными и численными методами // Изв. вузов. Строительство.-2012.-№4.-С.47-52.
- 131.Уляшева, В.М. О применимости балансового метода при исследованиях тепловоздушных процессов в помещениях с источниками теплоты // Изв. вузов. Строительство.-2009.-№7.-С.27-33.
- 132.Уляшева, В.М. Приближённое и численное моделирование тепловоздушных процессов в помещениях с источниками тепловыделения // Изв. вузов. Строительство.-2011.-№3.-С.76-80.
- 133.Урханова, Л.А. Конструкционно-теплоизоляционный ячеистый бетон на основе композиционного перлитового вяжущего / Л.А. Урханова, Е.Д. Балханова, А.Н. Мангутов // Изв. вузов. Строительство.-2006.-№10.-С.20-24.
- 134.Ушков, Ф.В. Энергоемкость и тепловая эффективность наружных стен / В.Ф. Ушков, Н.Н. Цаплев // Жилищное строительство.-1981.-№4.-С.11-12.
- 135.Ушков Ф.В. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий / А.М. Шкловер, Б.Ф. Васильев, Ф.В. Ушков // Государственное издательство Литературы по строительству и архитектуре.-Москва,1956.-351 с.
- 136.Фангер, П. Оле. Вентиляция в многоэтажных жилых зданиях:Качество

воздуха [Электронный ресурс] // URL: [http://i-mikro.ru/ventilyaciya\\_v\\_mnogoetazhnyh\\_zhilyh](http://i-mikro.ru/ventilyaciya_v_mnogoetazhnyh_zhilyh) {дата обращения 11.03.2014}.

137.Фёдоров, С.В. Об эффективных методах расчёта теплопередачи ограждающих конструкций зданий и сооружений при использовании программы «TEMPER-3D» / С.В. Фёдоров, И.А. Холмянский // Изв. вузов. Строительство.-2006.-№10.-С.4-9.

138.Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания / Под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина.– 5 изд., пересмотр.– М.: АВОК- ПРЕСС, 2006.–256 с.

139.Франчук, А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов [Текст] / Франчук А.У. –Москва, И-328, 1969. – 136 с.

140.Харламов, Д.А. Инженерная методика расчёта приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций с учётом краевых зон /Д.А. Харламов, А.Д. Кривошеин // Изв. вузов. Строительство.-2008.-№6.-С.112-118.

141.Хон, С.В. Повышение теплозащитных свойств брусчатых наружных стен с вентилируемым воздушным зазором / С.В. Хон, А.Н. Хуторной, А.Я. Кузин. – Томск: Том. гос. архит.-строит. ун-т, 2004. – 26 с.- Деп. в ВИНТИ РАН.

142.Хрулёв, В.М. Полимерсиликатные композиции в строительстве / В.М. Хрулёв.- Уфа: ТАУ,2002.- 76 с.

143.Хуторной, А.Н. Особенности пространственного теплопереноса в неоднородном угловом фрагменте деревянной брусчатой стены / А.Н. Хуторной, А.Я. Кузин, Н.А. Цветков // Изв. вузов. Строительство.-2009.-№5.-С.3-8.

144.Хуторной, А.Н. Теплозащитные свойства неоднородных керамзитобетонных наружных стен зданий / А.Н. Хуторной, А.В. Колесников // Изв. вузов. Строительство.-2004.-№7.-С.18-20.

145.Хуторной, А.Н. Теплоперенос в неоднородных керамзитобетонной и брусчатой наружных стенах зданий / А.Н. Хуторной, С.В. Хон, А.В. Колесников, А.Я. Кузин, Н.А. Цветков // Изв. вузов. Строительство.-2006.-№2.-С.9-14.



146.Цепаев, В.А. Конструкционный опилкобетон на гипсе  $\beta$ -модификации. Прочность. Деформативность. Долговечность // Изв. вузов. Строительство.-2005.-№9.-С.17-21.

147.Чернышов Е.М. Эффективность применения ячеистого бетона в жилищном строительстве / Е.М. Чернышов, И.И. Акулов, Ю.А. Кухтин // Промышленное и гражданское строительство.-2002.-№ 3.–С.29-32.

148.Шахин, В.П. Энергоэффективность и энергосбережение в России: состояние, проблемы, пути решения // Энергонадзор и энергоэффективность.-2003.-№3.-С.7-13.

149.Шахова, Л.Д. Особенности получения теплоизоляционного пенобетона на синтетических пенообразователях / Л.Д. Шахова, В.С. Лесовик // Изв. вузов. Строительство.-2008.-№3.-С.51-55.

150.Шойхет, Б.М. Некоторые аспекты энергоэффективности навесных вентилируемых фасадов // Энергосбережение.-2011.-№7.-С.60-64.

151.Шонина, Н.А. Вентиляция для многоэтажных жилых зданий [Электронный ресурс] // URL:[http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=5599](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5599) {дата обращения 11.03.2014}.

152.Экспресс-информация, ВНИИС, выпуск 12 / Зарубеж.опыт, /ВНИИТПИ.-М, 1988.- С .28-32.

153.Экспресс-информация, серия 8, выпуск 12 / Зарубежный опыт, / ВНИИС, 1985.- С.13-15.

154.Экспресс-информация, серия 10, выпуск 2 /Зарубежный опыт/ ВНИИС.-1985.-С. 9-14.

155.Экспресс-информация, серия 10, выпуск 20 /Зарубежный опыт/ ВНИИС.-1985.- С.9-11.

156.Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Территориальные строительные нормы Пензенской области: Нормативы по энергопотреблению и теплозащите ТСН 23 –3 XX – 2002 Пензенской области/ Издание официальное. – Пенза.- 2002 .- 51 с.

157.Энергосбережение в зданиях. Московские городские строительные нормы: Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению/ МГСН 2.01.-99.- М.- 1999 г. - 78 с.

158.Лобов, О.И. В защиту отечественного строительства и промышленности строительных материалов / О.И. Лобов, А.И. Ананьев, П.А. Вязовченко, А.Е. Синютин // Перепечатка из «Аналитической и информационно–справочной газеты «Строительный», №10-11/ГУП ЦНИИСК.-М.,2001.-С.41-60.

159.Anderlind G., Johansson B. Dynamic insulation. A theoretical analysis of thermal insulation, through which a gas or fluid flows.-Stockholm,1983.- 69 p.

160.A.V. Luikov, Heat and Mass Transfer in Capillary Porous Bodies, Pergamon, Oxford(1966).

161.B. Ghasemi, M. Molki, Cyclic melting and solidification of steel, Numer. Heat Transfer Part A 32 (1997) 877–896.

162.Beregovoi V.A., Proshin A.P., Beregovoi A.M, Soldatov S.N Heat-Conducting Properties of Small-Power- Hungry Cellular Concrete // Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), Volume 1, Number 4, October 2000, Tehran, Iran – p. 103-107.

163.G. Casano, S. Piva, Experimental and numerical investigation of the steady periodic solid–liquid phase-change heat transfer , Int. J. Numer. Meth. Heat Transfer Fluid Flow 45 (2002) 4181–4190.

164.Hebgen H. Energieinsparung und baulicher Wärmeschutz // Deutsche Bauzeitschrift.- 1979.- №12.- S.1901-1905.

165.J. Bransier, Storage periodique par chaleur latente: aspects fondamentaux lies a la cinetique des transferts, Int. J. Heat Mass Transfer 22 (1979) 875–883.

166.J.P. Bardon, E. Vrignaud, D. Delaunay, Etude experimentale de la fusion et de la solidification periodique d'une plaque de paraffine, Rev. Gen. Therm. 212-213 (1979)501–510.

167.Kunzel H.M. Calculation of heat and moisture transfer in exposed building components / H.M. Kunzel, K. Kiessl // Int. J. of Heat and Mass Transfer. – 1997. –

V.40.-№1. – P.159- 167.

168.M. Hasan, A.S. Mujumdar, M.E. Weber, Cyclic melting and freezing, Chem. Eng. Sci. 46 (1991) 1573–1587.

169.Pelke R.Energieeinsparung in der Klimatechnik.-1976.-№ 6.-S.156-158.

170.Proshin A P,. Beregovoi VA, Beregovoi A.M, Volcova E.A. and oth. New thermal insulation materials /Problems and prospects in ecological engineering. Program, report and information at the international scientif. and techn. conf.- Tenerife, Spain.- 25 May-1 June 2001-. P. 108-110.

171.Revue techniques du batiment et des construction industrielle.- 1988.-№127.- P. 51-58.

172.V.R. Voller, P. Felix, C.R. Swaminathan, Cyclic phase change with fluid flow, Int. J. Numer. Meth. Heat Transfer Fluid Flow 6 (1996) 57–64.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Рекомендации по повышению тепловой защиты наружных стен здания,  
расположенного по адресу ул. Тернопольская,7 в г. Пенза

Результаты натурных обследований показали, а расчет влажностного состояния наружной стены подтвердил, что при фактическом состоянии тепловой защиты (щели между стеной и плитами пенополистирольного утеплителя и в стыках плит до 10 мм, а также «пустошовка» кирпичной кладки) в периоды значительного похолодания на внутренней поверхности наружных стен и особенно на откосах проемов, в углах помещений выпадает конденсационная влага, что недопустимо по санитарно-гигиеническим и экологическим условиям эксплуатации наружных ограждений.

В целях повышения тепловой защиты наружных ограждающих конструкций рекомендовано:

–на поверхности кирпичной кладки выполнить тщательное заполнение швов цементно-песчаным раствором до стадии зачеканки и выравнивание поверхности кирпичной кладки цементно-песчаным раствором;

–монтаж системы утепления производить в полном соответствии с предусмотренным проектным решением. При этом особое внимание следует уделить необходимости плотного (без образование пустот) примыкания плит утеплителя к выровненной поверхности кирпичной кладки и к друг другу. В случае образования небольших (более 3 мм) зазоров между плитами утеплителя их необходимо уплотнить мастикой (например, на основе пенополиуретана) механизированным способом с помощью щприц-туба.

–армирующий прокладочный материал укладывать между двумя слоями защитного штукатурного покрытия необходимой толщины, при этом особенно тщательно в углах стен и откосов проемов во избежание растрескивания штукатурки;

–для более быстрого удаления влаги с внутренних поверхностных слоев стен, откосов, потолков и углов выполнить сушку увлажненных участков конструкций либо энергетическим способом (сушку подогретым воздухом, радиационную, эксфильтрационную, сушку электропрогревом, вакуум-сушку, сушку током высокой частоты, электроосмотическую), или путем организации интенсивной естественной аэрации помещений (в летнее время), либо используя оба этих способа одновременно.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

## Рекомендации по повышению тепловой защиты двух 10–этажных домов по сериям 90 и 101 и 5–этажного дома по серии 101 в г.Пенза

Из-за повышенной плотности использованного керамзитобетона (превышение фактической плотности к проектной в 1,25-1,56), а следовательно, и его теплопроводности, наружные стены всех трех обследованных зданий нуждаются в дополнительном утеплении. Теплотехническим расчетом определены необходимые толщины дополнительного теплоизоляционного слоя из эффективных утеплителей. Расчет из условий энергосбережения показывает значения толщин принятого утеплителя из минераловатных плит и пенополистирола от 10 до 15 см для продольных и торцовых стен.

Для повышения эффективности естественной вентиляции было рекомендовано устранить строительные недоделки «теплых чердаков» с целью повышения герметичности их пространства, исправить в конструкциях вентиляционных блоков домов дефекты, связанные с проектным отступлением мест расположения вытяжных отверстий, а также проводить разъяснительную работу среди жильцов по надлежащей эксплуатации элементов системы вентиляции в помещениях.

Для повышения тепловой защиты зданий, улучшения теплотехнических свойств наружных стен и микроклимата помещений рекомендовано произвести ремонт стыковых соединений панелей по периметру оконных заполнений, сушку материала наружных стен в естественный период сушки (летний). Однако для ряда квартир с сильно увлажненными стенами или пораженными грибковой плесенью рекомендовано применить энергетическую сушку стен со стороны помещения специальными установками (например, калориферами электрическими, паровыми и др.), равномерно расставленными по площади помещения или газовыми установками конвективного типа, а также произвести обработку участков поверхности стен, покрытых плесенью, дезинфицирующими составами.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Рекомендации по обеспечению более устойчивой работы системы  
естественной вентиляции жилых многоквартирных зданий и улучшению  
микроклимата помещений

Результаты натурных исследований и инструментальные замеры параметров микроклимата помещений квартир обследованных многоэтажных зданий, а также результаты исследований других авторов позволили рекомендовать проведение следующих мероприятий по улучшению работы системы естественной вентиляции и микроклимата помещений квартир.

Применение специальных приточных устройств (приточных клапанов), обеспечивающих регулируемый приток свежего воздуха в жилые комнаты.

На стадии проектирования систем вентиляции – тщательная аэродинамическая увязка вытяжных каналов с приточными вентиляционными устройствами и между собой.

В идеале в проектах жилых зданий следует предусматривать установку на вентиляционных каналах специальных вытяжных клапанов, обеспечивающих возможность автоматического регулирования расхода воздуха в зависимости от режима эксплуатации квартиры.

Приточные клапаны должны обеспечивать изменение расхода приточного воздуха в ручном или автоматическом режиме. В полностью закрытом положении приточные клапаны должны обеспечивать минимально необходимый расход воздуха, равный 25% от расчетного.

Приточные клапаны следует устанавливать, как правило, в каждом жилом помещении. В каждой квартире следует устанавливать не менее двух приточных клапанов.

В качестве вытяжных устройств в системах естественной вентиляции рекомендуется применять регулируемые решетки; в системах механической

вытяжной вентиляции с естественным притоком воздуха следует применять регулируемые решетки или вытяжные клапаны.

Вытяжные решетки должны обеспечивать изменение расхода вытяжного воздуха в ручном режиме; вытяжные клапаны должны обеспечивать изменение расхода вытяжного воздуха в ручном или автоматическом режиме. Изменение расхода воздуха может быть плавным или ступенчатым.

Индивидуальные вытяжные вентиляторы, как правило, должны оборудоваться обратными клапанами.

Конструкция и технология монтажа вентиляционных блоков должны предусматривать возможность герметизации их междуэтажных стыков.

Основным средством борьбы с увлажнением поверхности вентблоков является тепловая изоляция канала, исходя из следующего условия: температура поверхности со стороны помещения канала на всей его протяженности должна быть выше точки росы.

Двери кухонь, ванн, туалетов и подсобных помещений должны иметь подрезы или переточные решетки для поступления воздуха из жилых комнат. Скорость воздуха в подрезах дверей или переточных решетках, как правило, не должна превышать 0,3 м/с.

Системы локальной вытяжной вентиляции (надплитный зонг или аналогичные устройства с удалением вытяжного воздуха в атмосферу) должны, как правило, иметь отдельный сборный канал для их подключения.

В некоторых домах (например, дом №70 по ул. Антонова г. Пензы) оголовки вентиляционных каналов располагаются на различных отметках, разница между которыми в некоторых случаях превышает 1м. Если эти каналы размещаются в пределах одной квартиры, то опрокидывание каналов не может предотвратить и наличие приточных устройств. Поэтому целесообразно выровнять оголовки по высоте путем наращивания нижерасположенного.

Рекомендуется при установке и эксплуатации наружных дверей обеспечить высокую герметичность их притворов. При неблагоприятном



стечении обстоятельств (сильный ветер, негерметичные входные двери, теплая погода и др.) происходит интенсивное перетекание воздуха через лестничную клетку в лифтовую шахту и квартиры. Неприятные запахи и загрязненный воздух поступают в помещения, и вместо проветривания качество воздуха в квартире, наоборот, ухудшается. Поэтому особое значение приобретает герметичность входных квартирных дверей. В зависимости от степени уплотнения притворов дверей значения их аэродинамической характеристики сопротивления могут отличаться почти в шесть раз. К входным дверям в квартиры СНиПом «Строительная теплотехника» предъявляются требования высокой герметичности, что практически должно отсечь квартиру от лестнично-лифтовой шахты.

Неплотный притвор квартирных дверей порождает проблему перетекания отработанного воздуха из квартир нижних этажей по лестничной клетке в квартиры верхних этажей, в результате чего даже при хорошо работающей вентиляции приток свежего воздуха значительно сокращается. В зданиях с односторонним расположением квартир эта проблема усугубляется.

В перспективе, по мере налаживания системы технического обслуживания механической вентиляции многоэтажных жилых зданий, рекомендуется внедрять в проектирование так называемую гибридную вентиляцию, то есть систему вентиляции с центральным вытяжным вентилятором (на жилую секцию) и естественным притоком воздуха.

Результаты проведенных исследований (натурных (глава 2) и теоретических (глава 4)), а также численных экспериментов показали, что помимо упомянутых выше традиционных решений по улучшению работы системы естественной вентиляции и микроклимата помещений целесообразно использовать инновационный подход к решению этой проблемы, заключающийся в применении таких энергосберегающих конструкций наружных ограждений, в которых создается экономайзерный эффект.

Конструктивная схема наружной стены по результатам исследований главы 3

Конструкция стены, в которой минимизируется отрицательное влияние фазовых переходов влаги (вода-лёд) на теплопроводность материала конструкции

II климатический район

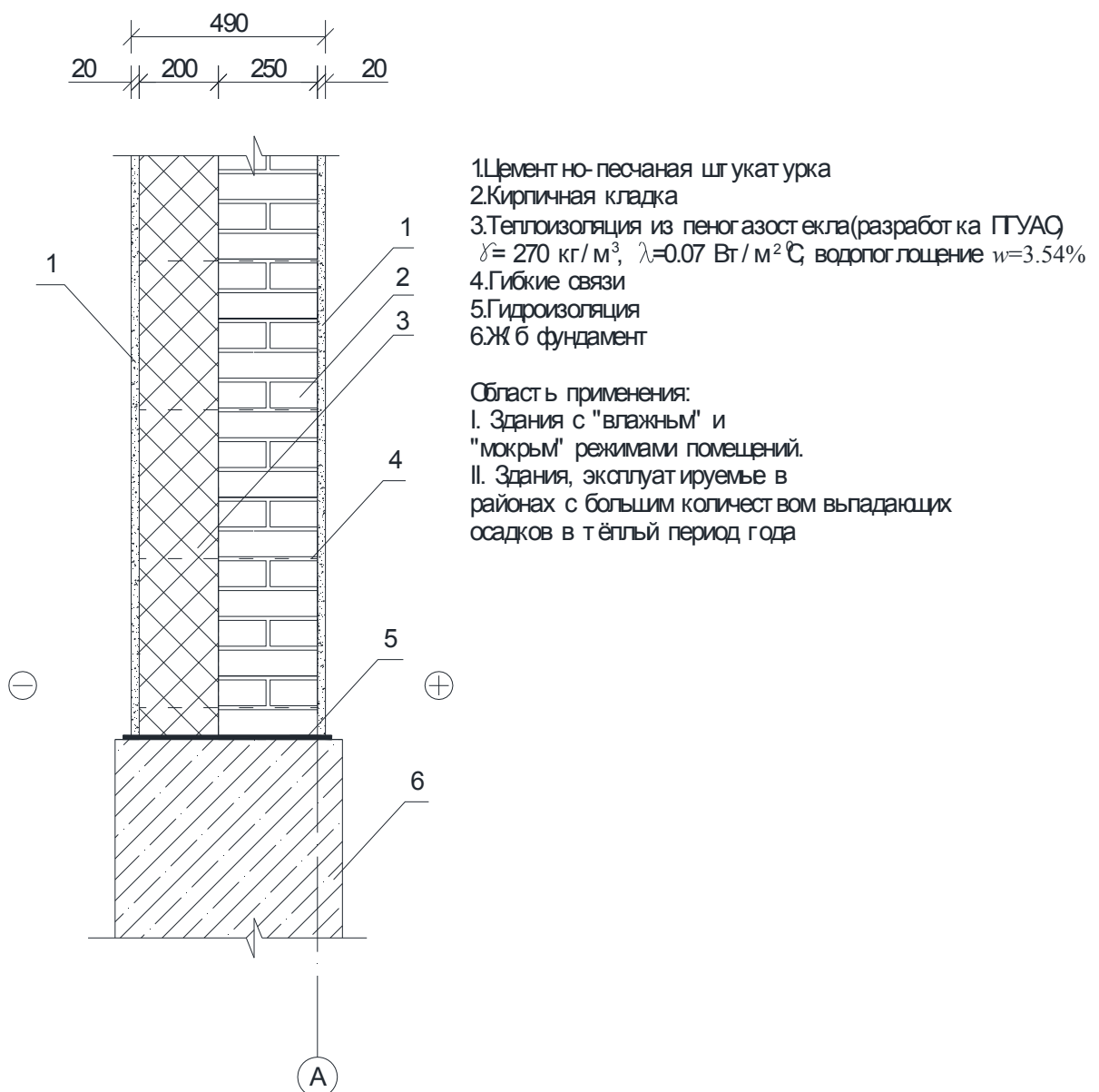


Рис.Г.1. Конструктивная схема наружной стены с утеплителем из пеногазостекла

Конструктивная схема наружной стены по результатам исследований главы 4

Конструкция стены, в которой создаются условия для экономайзерного эффекта, обеспечивающего энергосбережение

II климатический район

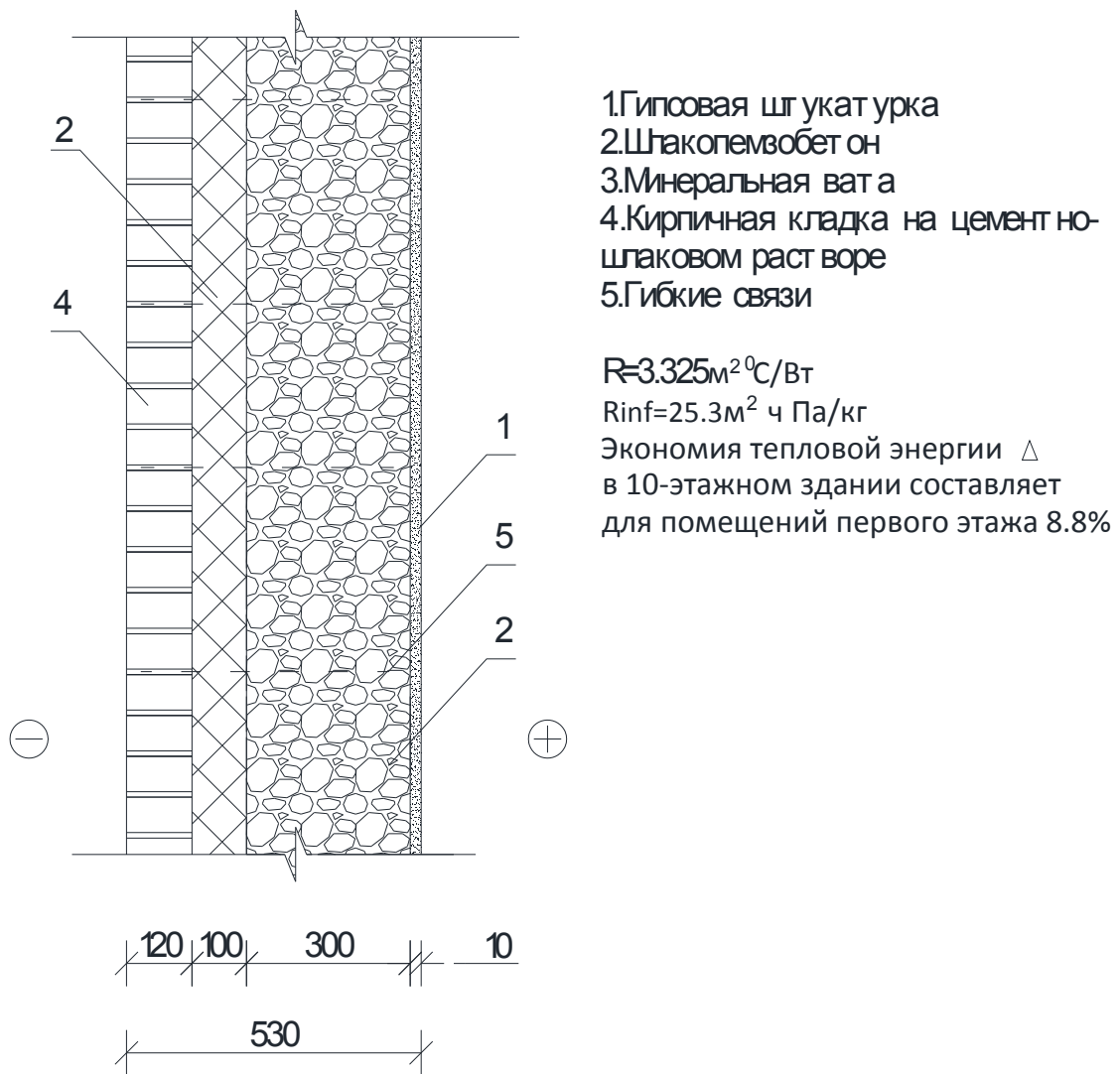


Рис.Г.2. Конструктивная схема наружной стены с эффектом энергосбережения 8,8%

Конструктивная схема наружной стены по результатам исследований главы 4

Конструкция стены, в которой создаются условия для экономайзерного эффекта, обеспечивающего энергосбережение

II климатический район

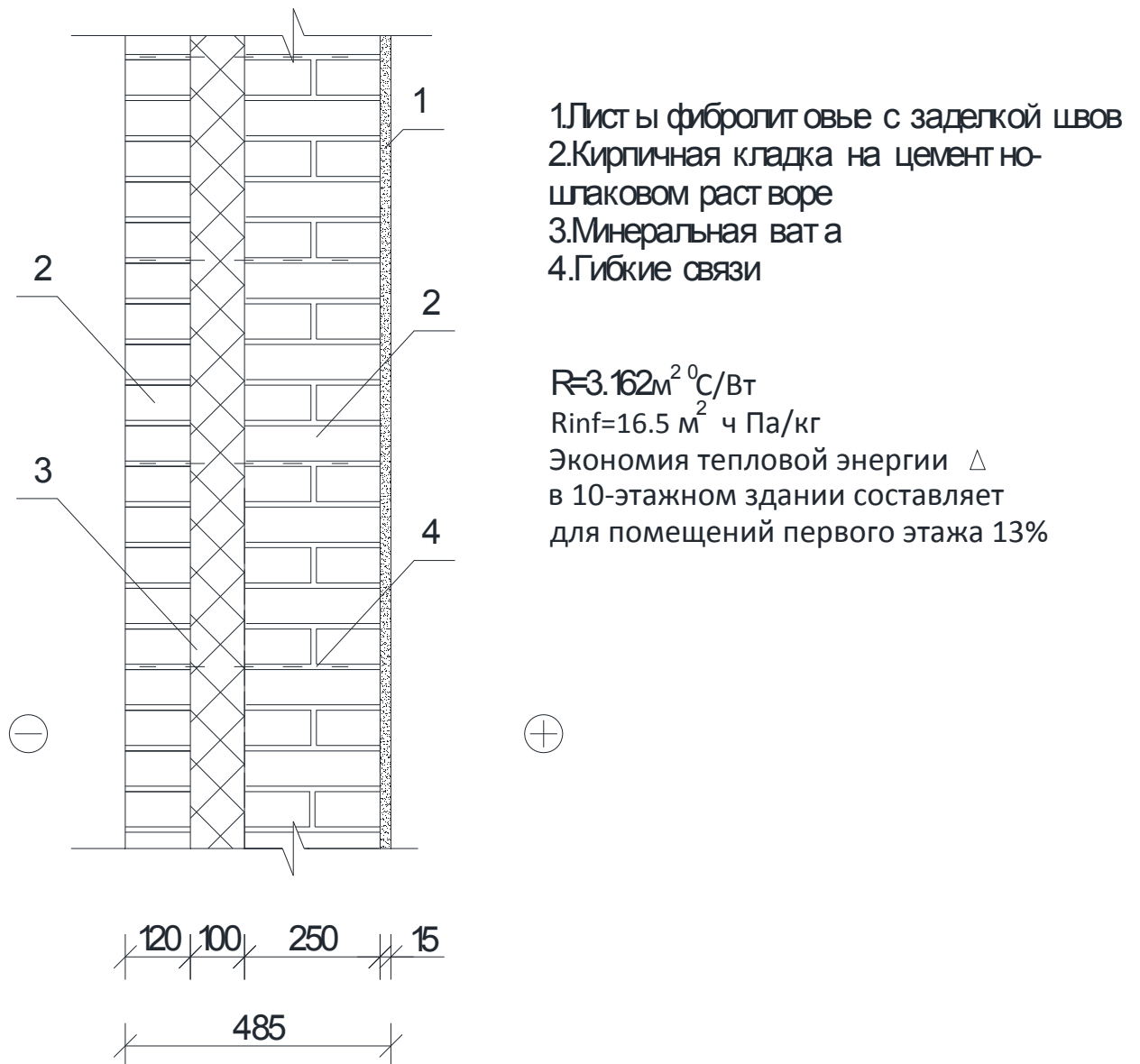


Рис.Г.3. Конструктивная схема наружной стены с эффектом энергосбережения 13%

Конструктивная схема наружной стены по результатам исследований главы 4

Конструкция стены, в которой создаются условия для экономайзерного эффекта, обеспечивающего энергосбережение

II климатический район

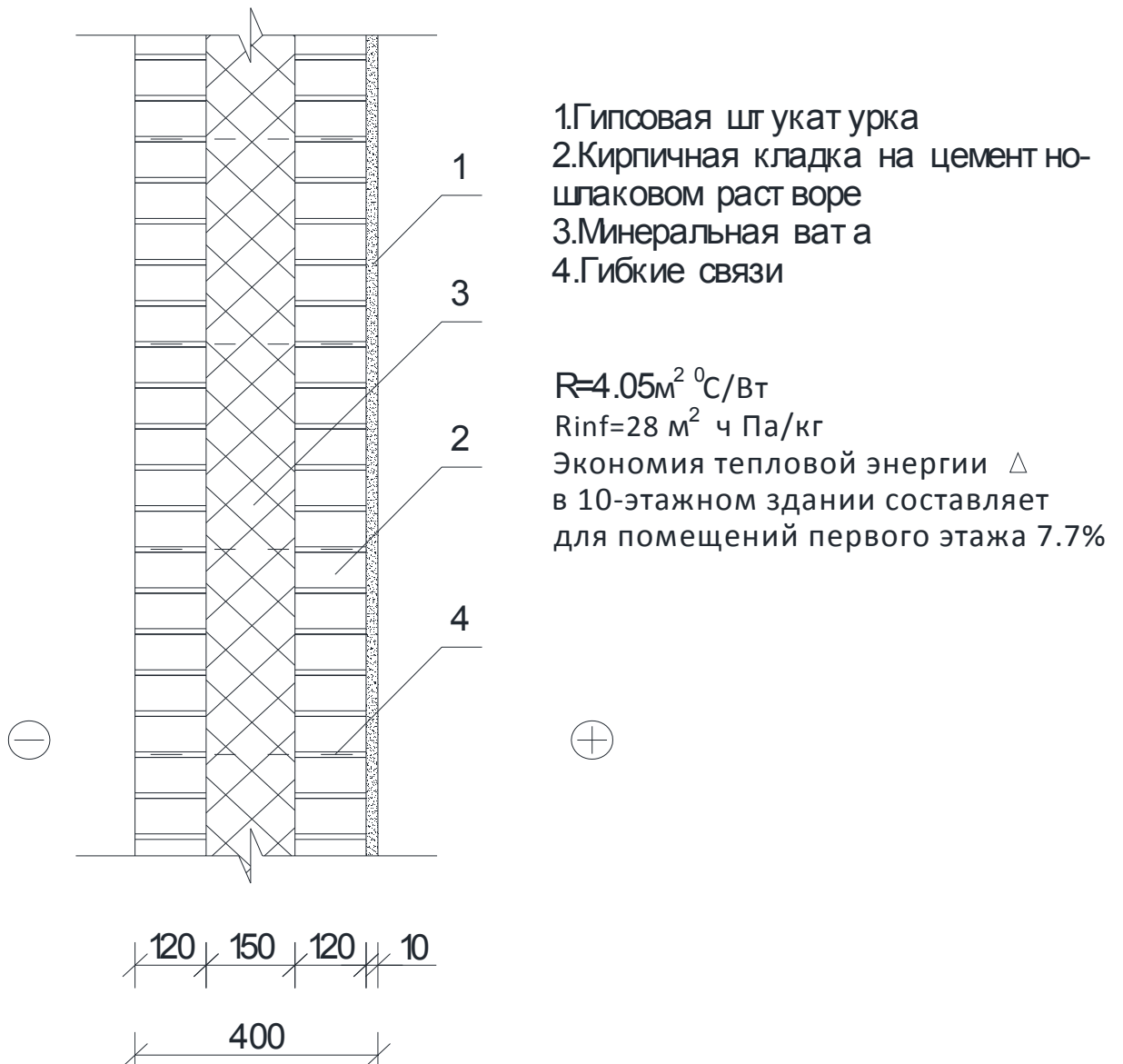


Рис.Г.4. Конструктивная схема наружной стены с эффектом энергосбережения 7,7%

Конструктивная схема наружной стены по результатам исследований главы 4

Конструкция стены, в которой создаются условия для экономайзерного эффекта, обеспечивающего энергосбережение

II климатический район

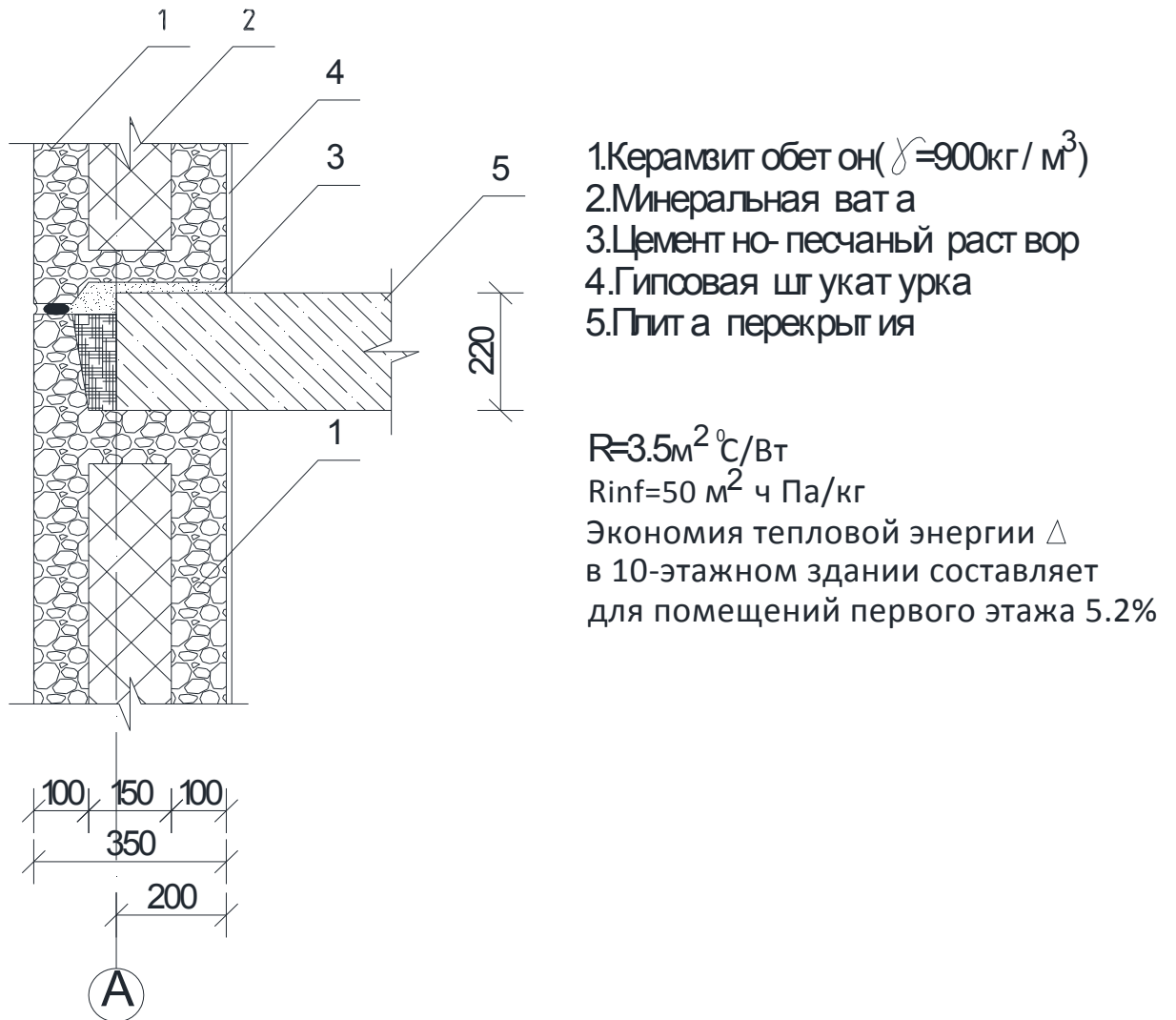


Рис.Г.5. Конструктивная схема наружной стены с эффектом энергосбережения 5,2%

Конструктивная схема совмещённого покрытия здания с утеплителем из пенокерамобетона

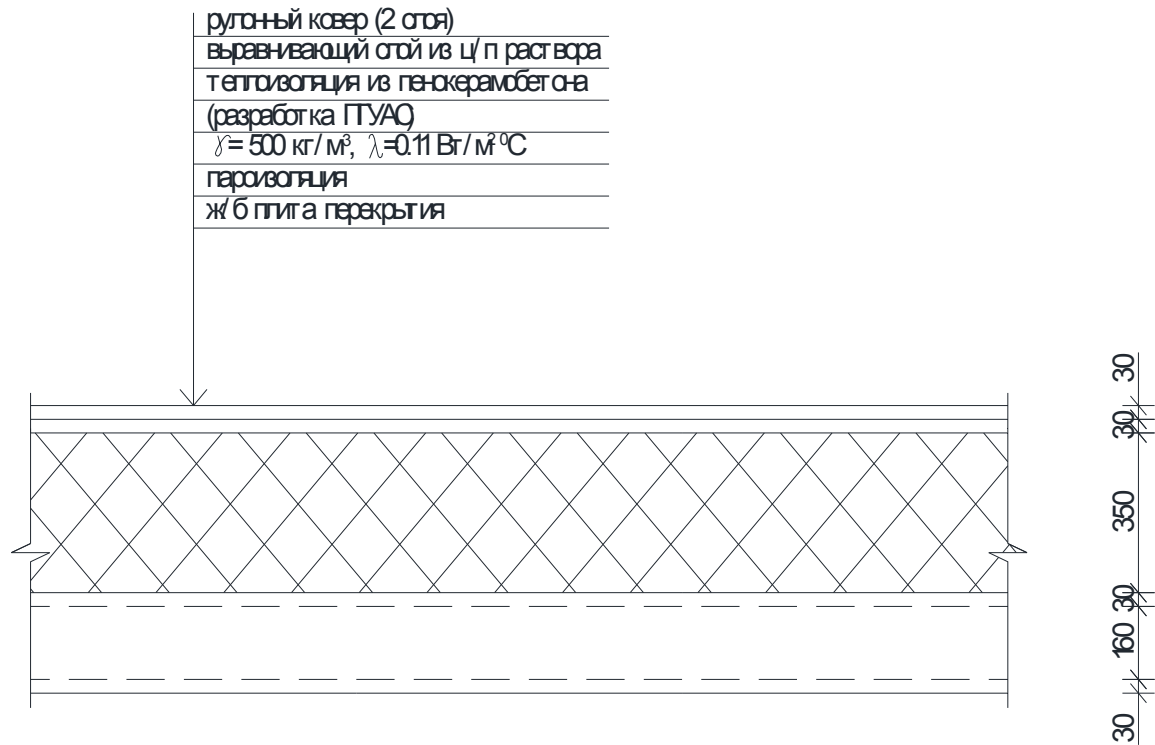


Рис.Г.6. Применение пенокерамобетона в качестве утеплителя совмещённого покрытия

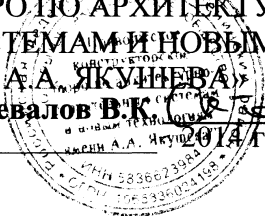
**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ПРИВОЛЖСКОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО  
ПО АРХИТЕКТУРНО – СТРОИТЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ И НОВЫМ  
ТЕХНОЛОГИЯМ имени А. А. ЯКУШЕВА»**

РОССИЯ		
440008, г. Пенза, ул. Кулакова, 7	ОГРН 1065836024198	ИНН 5836623984, КПП 583601001
телефоны: (841-2) 68-49-86	ОКПО - 11979895	р/с 40702810900000000674
68-67-46	ОКОНХ - 95130	в Пензенском филиале ОАО «Волга - кредит
68-03-90	ОКВЭД - 73.10	банк», к/с 30101810200000000710,
	ОКФС - 12	БИК 045655710.
	ОКОПФ - 47	

**«Утверждаю»**

Генеральный директор  
ОАО «ПРИВОЛЖСКОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ  
БЮРО ПО АРХИТЕКТУРНО–СТРОИТЕЛЬНЫМ  
СИСТЕМАМ И НОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ  
ИМ. А.А. ЯКУШЕВА»

**Почевалов В.К.**



**А К Т**

о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы  
Мальцева А.В. по обследованию тепловой защиты, микроклимата  
помещений и системы естественной вентиляции многоэтажных  
жилых зданий

ОАО "Приволжское конструкторское бюро по архитектурно–строительным системам и новым технологиям им. А.А. Якушева» подтверждает, что в соответствии с договором № 13.21 от 25 февраля 2013 г. между ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет архитектуры и строительства" и ОАО "Приволжское конструкторское бюро по архитектурно–строительным системам и новым технологиям им. А.А. Якушева» на тему " Исследование микроклимата и системы естественной вентиляции квартир жилых домов по ул. Лядова, 16,<sup>а</sup> и ул. Онежская, 21,<sup>а</sup> за период с 25 февраля по 5 апреля 2013 г. в ходе работы над кандидатской диссертацией Мальцевым А.В. проведено комплексное обследование тепловой защиты, микроклимата помещений и системы естественной вентиляции упомянутых жилых зданий, проанализировано влияние различных факторов на воздухообмен помещений, на температурно–влажностные показатели внутренней воздушной среды и внутренней поверхности ограждающих конструкций. Выявлены типичные нарушения по технической эксплуатации системы естественной вентиляции, допускаемые жильцами квартир.




В соответствии с договором Мальцевым А.В. переданы в ОАО "Приволжское конструкторское бюро по архитектурно–строительным системам и новым технологиям им. А.А. Якушева»:

- результаты исследований системы естественной вентиляции и инструментальных замеров параметров микроклимата помещений ;
- поверочные расчеты и выводы по результатам измерений и наблюдений;
- практические рекомендации по результатам исследований;
- памятка для ТСЖ по эксплуатации системы естественной вентиляции многоэтажного дома с оконными конструкциями из стеклопакетов.

Упомянутые результаты исследований используются ОАО "Приволжское конструкторское бюро по архитектурно–строительным системам и новым технологиям им. А.А. Якушева» при проектировании системы естественной вентиляции и тепловой защиты жилых зданий, проведении авторского надзора в г. Пензе и других городах Среднего Поволжья.

**Подписано:**

Главный инженер проектов  
Ведущий инженер



Золотухина О.Н.  
Борисова Е.А.