

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И. РАЗЗАКОВА  
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Б.Н. ЕЛЬЦИНА**

На правах рукописи  
УДК 698.86; 697.142; 72.01; 69.03

**Касымова Гульсара Токтокуновна**

**Выбор целесообразных тепловлажностных режимов помещений  
зданий при переменных внешних и внутренних воздействиях  
теплоты и влаги**

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

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Научный руководитель:**  
Доктор технических наук, профессор  
Боронбаев Эркин Капарович

Бишкек – 2025

СОДЕРЖАНИЕ.....	2
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
<b>ГЛАВА 1.</b> Обзор литературных источников по современному состоянию исследований тепловлажностного режима помещений	13
1.1. Основы теории процессов и расчетов тепловлажностного режима наружных ограждений .....	16
1.2. Особенности тепловлажностного режима помещений .....	20
1.3. Современные теоретические и практические подходы к оценке тепловлажностных режимов помещений .....	22
Выводы .....	25
<b>ГЛАВА 2.</b> Теоретические исследования процессов и разработка математической модели тепловлажностного режима помещения на основе теории потенциала влажности.....	27
2.1. Общая постановка задачи исследований .....	28
2.2. Разработка математической модели тепловлажностного режима помещения .....	30
2.3. Численный метод решения системы уравнений теповлажностного режима помещения .....	34
2.4. Компьютерный расчет тепловлажностного режима помещений зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги.....	43
Выводы .....	45
<b>ГЛАВА 3.</b> Экспериментальные лабораторные и натурные исследования тепловлажностного режима наружных ограждений.....	47
3.1. Цели, задачи и порядок проведения экспериментальных лабораторных и натуральных исследований.....	47

3.2. Инженерный метод расчета теплозащитных качеств наружных ограждений, стыковых соединений в помещениях в зимний период времени.....	58
3.3. Проведение экспериментальных испытаний и расчет теплозащитных качеств стыковых соединений наружных ограждений в летний период времени.....	66
3.4. Сравнение результатов экспериментальных лабораторных и натурных исследований с нормативными показателями ограждений .....	79
Выводы .....	87
<b>ГЛАВА 4. Экспериментальные натурные исследования тепловлажностного режима помещения для проверки достоверности математической модели процессов .....</b>	<b>89</b>
4.1. Цель и задачи проведения экспериментальных натурных исследований тепловлажностного режима помещений.....	89
4.2. Порядок проведения экспериментальных натурных исследований и их результаты.....	90
4.3. Сравнение результатов экспериментальных натурных исследований с результатами расчета по математической модели тепловлажностного процесса .....	100
Выводы .....	106
<b>ГЛАВА 5. Современные энергетического обследования (аудит). Выбор целесообразных тепловлажностных режимов помещений здания.....</b>	<b>107</b>
5.1. Современные методы, практические варианты и выбор целесообразных тепловлажностных режимов помещений при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги.....	107

5.2. Рекомендации по реализации целесообразных тепловлажностных режимов помещений и режимов работы систем обеспечения микроклимата помещений.....	115
5.3. Техничко-экономические показатели энергосберегающих мероприятий для достижения целесообразных тепловлажностных режимов помещения.....	118
Выводы .....	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	121
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	123
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	124
ПРИЛОЖЕНИЯ 1.....	137
ПРИЛОЖЕНИЯ 2.....	140
ПРИЛОЖЕНИЯ 3.....	150
ПРИЛОЖЕНИЯ 4.....	156
ПРИЛОЖЕНИЯ 5.....	162

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

ДВ	датчик влажности
ДОП	допустимые и оптимальные параметры
КВ	кондиционирование воздуха
КРЧМ	конечно-разностный численный метод
ММ	математическая модель
О и В	отопление и вентиляция
ОК	ограждающие конструкции
СОМ	системы обеспечения микроклимата
ТВРП	тепловлажностный режим помещения
ТВП	тепловлажностный процесс
ФБ	фильтровальная бумага
ЭС	энергосбережение
ЭСМ	энергосберегающие мероприятия

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы диссертации.** Тепловлажностный режим помещений зданий формируется при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги, параметры которых изменяются в разные периоды года и зависят от условий их эксплуатации. Обеспечение требуемых параметров теплоты и влаги в помещениях зданий связано с режимом работы систем обеспечения микроклимата. Одним из элементов системы обеспечения микроклимата являются наружные ограждающие конструкции, защищающие помещения от наружных климатических воздействий (температура, влажность, солнечная радиация, скорость и направление ветра, осадки). Практика показала, что превышение требуемых параметров внутреннего воздуха (температура и влажность) чаще всего, наблюдается во влажных помещениях производственных зданий, что приводит к выпадению и накоплению влаги в наружных ограждениях и, как результат к снижению долговечности ограждающих конструкций.

Выбор целесообразных тепловлажностных режимов систем обеспечения микроклимата, улучшение теплозащитных качеств и повышение долговечности ограждений в реальных условиях, формирующихся при переменных внешних и внутренних воздействиях теплоты и влаги ранее не исследовались.

Для рассмотрения вопросов по обеспечению требуемых параметров воздуха в помещениях зданий и их ограждениях необходимо провести теоретические, лабораторные и экспериментальные исследования процессов переноса теплоты и влаги на основе различных теорий тепловлагоденоса.

Поэтому, вопросы изучения тепловлажностного режима помещений зданий при переменных внутренних воздействиях теплоты и влаги, нацеленные на выбор целесообразных тепловлажностных режимов систем обеспечения микроклимата, улучшения теплозащитных качеств и повышения долговечности ограждений зданий являются актуальными, а решение задач, поставленных для достижения такой цели имеют научно-прикладное и практическое значение,

позволяющее повысить надежность и качество функционирования систем обеспечения микроклимата зданий, которые увеличат долговечность зданий.

**Связь темы диссертации с научными программами и основными научно-исследовательскими работами.** Некоторые этапы исследований, представленные в диссертационной работе, выполнялись в рамках выполнения научно-исследовательских работ, во исполнение постановления Правительства Кыргызской Республики «Об утверждении Программы Правительства Кыргызской Республики по энергосбережению и планированию политики по энергоэффективности в Кыргызской Республики на 2015 -2017 годы» №601 от 25 августа 2015 года, распоряжения Кабинета Министров КР №158-р от 14 апреля 2023 года по проведению энергетического обследования бюджетных организаций, а также Меморандума о сотрудничестве между Министерством энергетики и промышленности Кыргызской Республики, Naturvernforbundet и Экологическим Движением «БИОМ» на тему: «Провести исследования по определению теплофизических характеристик стыков наружных ограждений для панельных и кирпичных жилых домов для условий Кыргызской Республики» (Отчет о Научно-исследовательской работе, Бишкек, 1990, УДК 699.86:692.237, № гос. регистрации 01890048176), «Тепловизионное обследование и энергоаудит школы-лицея № 2 им. Баранова в с. Новопокровка, Чуйской области Кыргызской Республики.

**Цель и задачи исследования.** Цель работы - научное теоретическое и практическое обоснование выбора целесообразных тепловлажностных режимов системы обеспечения микроклимата помещений зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги. Для достижения целей решены следующие задачи:

- проведен обзор литературных источников по состоянию теоретических, лабораторных и экспериментальных исследований и современных методов решения тепловлажностного режима помещений и ограждений здания при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги;

- разработана математическая модель тепловлажностного режима помещений зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги на основе теории потенциала влажности и ее решение;

- проведены натурные исследования тепловлажностных режимов помещений, наружных ограждений и их стыков для различных типов зданий, выполнен сравнительный анализ полученных результатов с требуемыми параметрами;

- выполнены натурные исследования тепловлажностного режима в помещении с повышенной влажностью для проверки достоверности разработанной математической модели и метода ее решения;

- проведен энергетический аудит в здании школы и даны рекомендации по внедрению энергоэффективных мер с технико-экономическим обоснованием и экономией энергоресурсов в перспективе в целях обеспечения требуемых параметров внутреннего воздуха и улучшению теплозащитных качеств конструкций зданий.

**Научная новизна работы** заключается в:

- выборе научно - обоснованных теоретических и практических методов решения процессов тепловлагопереноса, которые соответствуют решению поставленных целей;

- предложенном показателе потенциала влажности, оценивающем влажностное состояние любой среды - воздуха, строительных материалов, водных и других поверхностей) и использовать его в качестве универсального показателя при расчете тепловлажностных процессов, происходящих в помещениях и ограждающих конструкциях зданий;

- разработанной математической модели тепловлажностного режима для помещений здания при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги, основанной на теории потенциала влажности и выбранным методом ее решения конечно-разностным численным методом по неявной схеме с комплексом программ на ЭВМ для расчета, в том числе с помощью современной компьютерной программы;

- получении результатов натурных исследований тепловлажностного режима помещения красильного цеха производственного предприятия при переменных воздействиях теплоты и влаги на основе теории потенциала влажности для подтверждения достоверности результатов, рассчитанных по математической модели;

- предложенном порядке проведения энергетического обследования (аудита) здания с использованием современных измерительных приборов для выбора энергоэффективных мер расчета экономии энергоресурсов с целью определения требуемых параметров воздуха в помещениях и улучшению теплозащитных качеств конструкций здания школы.

**Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что:**

- математическая модель и метод ее решения позволяют оптимизировать тепловлажностный режим помещения здания, вырабатывать научно - обоснованные решения при проектировании и эксплуатации зданий;

- комплекс программ на ЭВМ, а также современные компьютерные программы для расчета, моделирования и оптимизации тепловлажностного режима помещения здания можно использовать в проектных организациях, научно-исследовательских институтах и других организациях, занимающихся вопросами энергосбережения;

- экспериментальные исследования теплозащитных качеств для панельных и кирпичных зданий позволили разработать рекомендации по усовершенствованию и применению «сухих стыков» при строительстве панельных домов;

- разработанный порядок проведения энергетического обследования (аудита) здания с использованием современных измерительных приборов позволяет разрабатывать и внедрять энергоэффективные меры, а в перспективе экономить энергоресурсы.

**Экономическая значимость полученных результатов.** Энергетическое обследование школы-лицея позволило разработать энергоэффективные меры,

таких как, утепление наружных ограждений базальтовым волокном толщиной 100 мм и восстановление приточно-вытяжной вентиляции, внедрение которых приведет к экономии энергии порядка 151,4 тыс. кВтч/год или 330,0 тыс. сом/год.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- научно-практическое обоснование метода теплопередачи и математическая модель тепловлажностного режима помещений и наружных ограждений зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги на основе теории потенциала влажности;

- результаты расчета комплексного универсального показателя – потенциала влажности внутреннего и наружного воздуха, а также поверхностей ограждающих конструкций, полученных в ходе натурных исследований помещения с повышенной влажностью в разные периоды года;

- результаты сравнительного анализа экспериментальных результатов тепловлажностного режима помещения с повышенной влажностью в сравнении с результатами, рассчитанными по разработанной математической модели на основе теории потенциала влажности;

- сравнительный анализ результатов лабораторных, экспериментальных и натурных исследований по оценке теплозащитных качеств наружных ограждений и их стыков разных панельного и кирпичного зданий в разные периоды года, рассчитанных на основе общепринятых инженерных методов при стационарных условиях с требуемыми параметрами;

- практическое внедрение результатов энергетического аудита здания школы -лицея, проведенного с использованием современного оборудования и средств измерений с предоставлением технико-экономического обоснования внедрения энергоэффективных мер с указанием объема экономии энергоресурсов;

- рекомендации по внедрению разработанных энергоэффективных мер здания школы и срок окупаемости затрат при их внедрении.

**Личный вклад соискателя.** Автором разработана математическая модель тепловлажностного режима помещения здания при переменных внешних и

внутренних воздействиях теплоты и влаги, решение ее конечно - разностным численным методом по неявной схеме и комплекс программ. Проведены экспериментальные натурные исследования тепловлажностного режима помещения, ограждений и наружного воздуха, в том числе потенциала влажности, в красильном цехе Фрунзенского трикотажного объединения «Ильбирс» г. Бишкек, панельном жилом доме массового строительства серии №105, кирпичном здании лабораторного корпуса Научно-исследовательского института сейсмостойкого строительства при Госстрое Кыргызской Республики и в общеобразовательной школе – лицея № 2 с. Новопокровка Чуйской области Кыргызской Республики. Осуществлен сравнительный анализ результатов, полученных в ходе натурных исследований панельного, кирпичного здания с требуемыми параметрами и результатами, рассчитанные по математической модели для красильного цеха. Проведено визуальное, инструментальное энергетическое обследование школы –лицея № 2, осуществлен сбор данных и проведен расчет технико-экономических показателей здания школы. Все теоретические и натурные исследования работы, связанные с теорией тепловлагоденоса и потенциала влажности, выполнялись под руководством научного руководителя, к.т.н., доцента кафедры «Отопление и вентиляция» Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева (ныне НИУ МГСУ) Тертичника Е.И. ( 1984 по 1988 г), а научные исследования, проводимые в г. Бишкек Кыргызской Республики под руководством научного руководителя, д.т.н., проф. кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова Боронбаева Э. К.

**Апробации результатов исследований.** Результаты исследований, составляющие содержание диссертации, докладывались на конференциях и семинарах, а именно на: Республиканской научно-практической конференции «Совершенствование методов рационального использования водных ресурсов» (Госкомприроды КР, Минводхоз КР, МНО КР, ФПИ, г. Бишкек, 1989 ), Международная научно-практическая конференция «Энергетика: состояние,

проблемы, перспективы» (г. Бишкек, МЭПКР, КНТЦ «Энергия», 2014), VI Международная научно-практическая конференция «Наука и образование: проблемы, идеи, инновации» (г. Уфа, ИЦИТП, НИЦ «НИКА», 2018); 76-я Научно-техническая конференция «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре» (г. Самара, МНВО РФ, МОН СО, Сам ГТУ, 2019), Международная научно-практическая конференция «Вызовы современности: инновационное развитие строительной отрасли, проблемы ее цифровизации и стандартизации» (г. Бишкек, МОН КР, КГУСТА, 2019).

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.** По теме диссертации опубликовано 13 основных печатных работ, в том числе одно зарубежное издание и 4 издания, опубликованных в Кыргызской Республики, входящих в систему индексирования РИНЦ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованных источников из 101 наименований и 5-ти приложений. Диссертация изложена на 165 страницах и включает 31 рисунок и 30 таблиц.

# ГЛАВА 1

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО СОВРЕМЕННОМУ СОСТОЯНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ПОМЕЩЕНИЙ

Тепловлажностный режим помещений зданий формируется под влиянием изменяющихся во времени внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги. Такой режим помещений зависит от назначения здания, особенностей технологических процессов производства и графиков пребывания людей в этих помещениях. Суточные колебания параметров наружного климата (температуры, относительной влажности воздуха, солнечной радиации, скорости и направление ветра) определяют динамику внешних воздействий. Они, в совокупности с внутренними воздействиями в виде потоков теплоты и влаги, например, от людей, оборудования и бытовых приборов, определяют динамику термодинамического состояния, во-первых, воздуха в помещении, во-вторых, материалов его ограждений.

Практика показала, что в зимний период в помещениях, особенно во влажных цехах производственных зданий с интенсивными выделениями теплоты и влаги, параметры микроклимата часто выходят за пределы нормативных допустимых значений, а на внутренней поверхности наружных ограждений помещения наблюдается выпадение конденсата влаги воздуха.

Для предотвращения указанных последствий необходимо комплексное изучение динамики изменения, с одной стороны, параметров микроклимата помещения, с другой – термодинамического состояния материалов ограждающих конструкций. При этом, главной инженерной задачей таких исследований является определение необходимых параметров систем обеспечения микроклимата (отопление, вентиляция и др.), чтобы достичь нормативных требуемых параметров микроклимата помещений. Одним из элементов системы обеспечения микроклимата являются наружные ограждающие конструкции, защищающие помещения от наружных климатических воздействий

(температура, влажность, солнечная радиация, скорость и направление ветра, осадки). Практика показала, что превышение требуемых параметров внутреннего воздуха (температура и влажность) чаще всего, наблюдается во влажных помещениях производственных зданий, что приводит к выпадению и накоплению влаги в наружных ограждениях и, как результат к снижению долговечности ограждающих конструкций.

Существуют методики расчета стационарного и нестационарного режима тепловлагоденоса в ограждениях здания. Наиболее изученным является стационарный метод расчета влагопередачи в ограждениях помещений здания. Он основан на теории перемещения водяного пара в ограждениях за счет разности упругостей водяного пара внутренней и внешней среды. Однако, этот метод не соответствует реальному физическому процессу и применяется лишь для ориентировочной оценки влажностного состояния ограждений помещения.

Существующие методы расчета нестационарного влажностного режима ограждений, с учетом перемещения в материале жидкой влаги были разработаны на упрощенном математическом моделировании. Эти методы также не в полной мере отражают реальную картину физического явления нестационарных процессов. В связи с чем, они не стали основой рассмотрения и описания тепловлажностных режимов помещений зданий. Методы, построенные на математическом моделировании из-за громоздкости соответствующих расчетов не получили распространения на практике. Поэтому наиболее приемлемыми оказались методики, которые были основаны на результатах экспериментальных исследований.

Современные вычислительные технологии открыли возможности для исследования и решения реальных тепловлажностных режимов помещений зданий при внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги на основе применения компьютерных программ. Но они также остаются сложными для практического использования в инженерных расчетах, направленных на выбор требуемых тепловлажностных режимов помещений.

Современные представления о физических процессах, происходящих в ограждениях и внутри помещений здания при внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги, являются актуальными и требуют дальнейших исследований.

Обеспечение тепловлажностного режима помещений зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги связаны с режимом работы систем обеспечения микроклимата (СОМ).

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что наиболее реальную картину тепловлажностного режима помещений зданий и его ограждений можно описывать потенциалом влажности  $\Theta$  и относительным потенциалом влажности  $\Phi_{\Theta}$ . Потенциал влажности может служить, с одной стороны, термодинамическим параметром влажностного состояния наружного и внутреннего воздуха, с другой – таким же параметром, позволяющим рассмотреть комплексное влажностное воздействие наружной и внутренней воздушной среды на ограждение помещений зданий.

Рассмотрение и решение задачи нестационарной влагопередачи через ограждение, основанной на потенциале влажности, имеет ряд достоинств. В отличие от других теоретических положений, она может быть использована для расчета влажностного режима многослойных конструкций при любой влажности и температуре материалов и окружающего воздуха. Вопросы влажностного режима ограждающих конструкций и их натурные измерения на основе теории потенциала влажности рассматривались рядом авторов под руководством профессора, д.т.н. В.Н. Богословского [3-5, 8, 9, 11, 74, 75].

Прогнозирование нестационарного режима системы обеспечения микроклимата помещений и наружных ограждений зданий при переменных воздействиях теплоты и влаги требует разработки математической модели, нахождения численных методов решения этой модели и создание компьютерных программ для расчета параметров внутреннего воздуха при работе системы обеспечения микроклимата. Решение задачи прогнозирования

тепловлажностного режима помещений здания, основанной на математической модели осуществляется численными методами с использованием компьютерных программ.

Вопросы прогнозирования и выбор целесообразных тепловлажностных режимов систем обеспечения микроклимата воздушной среды, улучшение теплозащитных качеств и повышение долговечности ограждений помещений зданий, описывающих реальную картину в помещениях зданий, формирующихся при нестационарных комплексных внутренних и внешних тепловлажностных процессах ранее не исследовались.

В связи с вышеизложенным, вопросы изучения теоретических, лабораторных и экспериментальных натуральных исследований тепловлажностного режима помещения зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги, нацеленных на выбор целесообразных тепловлажностных режимов систем обеспечения микроклимата, улучшения теплозащитных качеств и повышения долговечности ограждений помещений здания являются актуальными.

### **1.1. Основы теории процессов и расчетов тепловлажностного режима наружных ограждений**

Влажность материала в ограждающих конструкциях существенно влияет на долговечность и теплофизические характеристики материала. Теплопроводность, как свойство материалов, значительно зависит от их влажностного состояния. При этом, материалы наружных ограждений здания подвергаются увлажнению и высушиванию, как в условиях внешних климатических параметров (температура, влажность, солнечная энергия, скорость и направление ветра) так и внутренних воздействиях, таких как тепло - и влагопоступления от технологического оборудования, людей, конденсации и других факторов.

Влагосодержание зависит от особенностей материала, конструкции, от внешних и внутренних воздействий, времени эксплуатации и других условий. Один и тот же материал, при разных условиях, может иметь различные свойства проводимости и аккумуляции теплоты, стойкости и долговечности, которые зависят от структуры твердой части, ее минералогического состава, объемной массы и, что особенно важно для строительных материалов, от влажности.

Наиболее сложным и важным вопросом тепломассообменного процесса в наружном ограждении здания является определение равновесной влажности теплоизоляционного или иного материального слоя многослойной конструкции в период эксплуатации зданий и сооружений. Эксплуатационное влажностное состояние ограждения наступает, когда влагосодержание материалов приближается к некоторому стабильному состоянию, равновесному относительно воздействующих на ограждение внутренней и наружной сред. Влагосодержание в этот период периодически изменяется в течение года около своего постоянного среднегодового значения, несколько возрастая в весенний период времени и понижаясь к концу осени. В зимний период времени значение влажности близко к средним за год. Поэтому, теплофизические характеристики материалов ограждения выбираются исходя из данных об установившейся среднегодовой их влажности. В связи с чем, на практике теплотехнический расчет ограждений и подсчет теплотерь помещениями выполняется для расчетного зимнего периода.

Процесс влагопередачи через ограждения зданий зависит от температуры и влажности материалов и окружающей среды, числа слоев конструкции, изменчивости условий влагообмена, а также от физических свойств материалов.

Существует много теорий и построений явления миграции влаги в материалах и влагопередачи в наружных ограждениях. Однако, не все теории дают возможность правильно, надежно и во всей полноте провести расчет и осуществить прогноз влажностного режима материалов в ограждениях при эксплуатации здания.

При проектировании зданий применяется инженерный метод расчета влагопередачи, основанный на теории перемещения водяного пара в ограждениях за счет разности упругостей водяного пара внутренней и внешней среды (А.С. Третьяков, В.Д. Мачинский, К.Ф. Фокин, Э.Х. Одельский, А.М. Шкловер, В.М. Ильинский, Ф.В. Ушков и др.) [78, 48-51, 81, 53, 84, 30-32, 79-80]. Недостатком метода является ориентировочная оценка влажностного состояния ограждения, основанная на стационарном режиме, который не соответствует реальному физическому процессу.

Метод расчета нестационарного влажностного режима ограждений («последовательного увлажнения») и его графические приемы основаны на решении дифференциальных уравнений второго порядка, описывающие перенос парообразной влаги методом конечно-разностной аппроксимации по явной схеме с применением программы на ЭВМ ( М.В. Поликанов, А.С. Эпштейн, К.Ф. Фокин, О.Е. Власов, Ф.У. Ушков, Р.Е. Брилинг ) [55, 85, 81, 21-23, 79-80, 19, 20]. Этот метод усовершенствован с учетом перемещения жидкой фазы влаги рядом авторов ( О.Е. Власов, К.Ф. Фокин, В.Г. Гагарин и другие ) [21, 81, 24, 25]. Метод расчета совместного нестационарного влажностного и температурного режимов основан на методах, применяемых в расчетах процессов сушки, авторами ( А.У. Франчук, В.И. Лукьянов, Ю.Д. Ясин ) [ 82, 45-47, 86 ]. Достоинством метода является его универсальность, связанная с учетом многих факторов, влияющих на влажность и тепловой режим ограждения. Недостатком метода является сложность реализации проведения экспериментальных исследований при определении параметров влагопереноса в ограждениях.

Метод с применением электронной вычислительной машины (ЭВМ), предложенный В.И. Лукьяновым [ 45, 46] учитывает почти все факторы, влияющие на влажностное состояние ограждений. Недостатком метода является отсутствие характеристик влагопереноса, изменяющихся в ходе изменения увлажнения и температуры, необходимых для решения задачи.

Метод расчета влажностного режима ограждений здания, основанный на теории потенциала влажности, применяемый авторами (В.Н. Богословский, Е.И. Тертичник, Б.В. Абрамов Б.В. и др.) [3-4, 8, 9, 74, 75, 76, 5] упрощает физико-математическую модель влагопереноса, а при экспериментах – сокращает количество коэффициентов влагопереноса материалов многослойного ограждения при упрощении условий сопряжения влажностного состояния на стыке материалов.

Наиболее реальную картину тепловлажностных процессов описывает метод термодинамического потенциала, предложенный А.В. Лыковым и В.Н. Богословским. В этих методах, основную роль играют два фактора – потенциал влагопереноса, градиент которого определяет интенсивность процесса и относительный потенциал влагопереноса, приведенные к потенциалу соответствующие коэффициенты влагопереноса, в которых «скрыта» вся физика процесса. Метод, предложенный Лыковым А.В., основан на изотермическом потенциале, в котором уравнение влагопереноса описывается двумя уравнениями – потоком влаги при градиенте изотермического потенциала и градиенте температуры. Богословский В.Н. предложил неизотермический потенциал влажности, градиент которого учитывает как влагопроводность, так и термовлагопроводность.

Исследования показали, что в полной мере влажностный режим материалов ограждений помещения здания может быть описан потенциалом влажности  $\Theta$ , предложенный В.Н.Богословским. Влажностное состояние оценивается шкалой потенциала влажности, предложенный и используемый авторами под руководством проф., д.т.н. В.Н. Богословского (Е.И. Тертичник, Б.В. Абрамов и др.) [4, 5, 8, 9, 74, 75, 76, 77].

Достоинством является то, что  $\Theta$  можно использовать для оценки влажностного состояния наружного и внутреннего воздуха, а также материалов ограждений. Он может быть использован для расчета влажностного режима многослойных конструкций в неизотермических условиях при любой влажности и температуре материалов и окружающих сред.

Однако, свойства фильтровальной бумаги, используемой в качестве эталонного материала, зависящих от ее состава и качества, отсутствие влажностных характеристик материалов в шкале  $\Theta$  не позволяют широко использовать теорию потенциала влажности.

## **1.2. Особенности тепловлажностного режима помещений**

Микроклимат помещений должен обеспечивать благоприятные условия для людей, находящихся в помещении, и требованию технологического процесса. Он создается совокупностью теплового, воздушного и влажностного режимов в их взаимодействии. Микроклимат помещения характеризуется температурой воздуха, радиационной температурой поверхностей (внутренних поверхностей наружных ограждений, пола, потолка, перегородок, поверхностей мебели, технологического оборудования и других предметов), скоростью (подвижностью) и относительной влажностью воздуха.

Обеспечение заданных параметров микроклимата связано с режимом работы систем обеспечения микроклимата (далее – СОМ). Одним из элементов СОМ являются наружные ограждающие конструкции, защищающие помещения от наружных климатических воздействий. Комплекс систем инженерного оборудования (отопление, охлаждение, вентиляция и кондиционирование воздуха) зданий обеспечивают заданные параметры микроклимата в любое время года.

Температурно-влажностный режим помещений зданий (в объеме всего здания) очень сложен и практически не регулируется средствами обеспечения микроклимата. Нормирование параметров микроклимата помещений сводится, как правило, к соблюдению санитарно-гигиенических параметров в рабочей зоне, в которую входит пространство высотой до 2 м над уровнем пола или рабочих площадок. Вне рабочей зоны температура и влажность не нормируются и могут значительно отличаться от санитарных норм.

Влияние влажности материалов ограждений на влажность воздуха помещений может значительно снизиться за счет выбора целесообразных параметров систем обеспечения микроклимата (система отопления и охлаждения, вентиляция, системы кондиционирования воздуха) или другими эксплуатационными мероприятиями, такими как проветривание.

При проектировании и строительстве зданий для обеспечения параметров микроклимата (температура и влажность) в пределах величин, нормируемых СНиП [71-73] к ограждающим конструкциям и их стыкам предъявляются требования по теплозащитным свойствам конструкции. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций должно соответствовать требуемой величине действующих нормативных документов, а температура внутренней поверхности ограждения в местах расположения стыка не должна превышать точку росы, определяемую в зависимости от температуры на внутренней поверхности ограждения и относительной влажности воздуха равной 60% .

В реальности, тепловлажностный режим здания формируется под воздействием многочисленных факторов и процессов, которые под влиянием внешних, внутренних воздействий и инженерных устройств формируют тепловлажностную обстановку в его помещениях. Тепловлажностный режим помещений здания формируется под влиянием изменяющихся во времени внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги. Такой режим помещений зависит от характеристик эксплуатации здания, которые, в свою очередь, зависят, например, от особенностей технологических процессов производства, графиком пребывания людей в этих помещениях. Суточные колебания параметров наружного климата (температура, относительная влажность воздуха, солнечная радиация, скорость и направление ветра) определяют динамику внешних воздействий. Они, в совокупности с внутренними воздействиями в виде потоков теплоты и влаги, например, от людей, оборудования и бытовых приборов, определяют динамику термодинамического состояния, во-первых, воздуха в помещении, во-вторых, материалов его ограждений.

Практика показала, что в зимний период в помещениях зданий, особенно во влажных цехах производственных зданий с интенсивными выделениями теплоты и влаги, параметры микроклимата часто выходят за пределы нормативно допустимых значений, а на внутренней поверхности наружных ограждений наблюдается выпадение конденсата влаги воздуха.

Для предотвращения указанных последствий необходимо комплексное изучение динамики изменения, с одной стороны, параметров микроклимата помещения, с другой – термодинамического состояния материалов ограждающих конструкций. При этом, главной инженерной задачей таких исследований является определение необходимых параметров систем отопления и вентиляции, чтобы достичь нормативных требуемых параметров микроклимата помещений.

Возникла необходимость проведения теоретических и экспериментальных исследований тепловлажностного режима помещения, улучшения теплозащитных качеств и повышения долговечности ограждений зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги с целью выбора целесообразных систем обеспечения микроклимата.

### **1.3 Современные теоретические и практические подходы к оценке тепловлажностных режимов помещений**

Микроклимат помещения характеризуется комплексом параметров, определяющих тепловое и влажностное состояние помещения зданий. Потoki теплоты и влаги поступают в помещение через наружные ограждения из наружной среды, через внутренние ограждения из соседних помещений здания, а также от внутренних источников, участвующих при выполнении технологического процесса. При взаимодействии с объемом помещения потоки трансформируются и преобразуются, вызывая изменение тепловлажностных параметров микроклимата. Отклонение параметров от заданных значений компенсируется системами обеспечения микроклимата (отопление -

охлаждение и вентиляция - кондиционирование микроклимата), которые подают в помещение потоки тепла, влаги и свежего воздуха, нейтрализующие вредные воздействия на микроклимат.

Выбор целесообразных систем обеспечения микроклимата, способствующих нормализации тепловлажностного режима, повышению энергетической эффективности помещения и увеличению долговечности ограждений зданий отвечает требованиям современности.

Исследования тепловлажностного состояния ограждений помещений зданий и воздушной среды показали динамику развития влагопереноса различными подходами, теориями и методами их решения. В отсутствие современных средств вычислительной техники, натурные и лабораторные исследования являлись основой изучения процессов формирования тепловлажностного режима помещения зданий. Аналитические решения носили ограниченный характер и частично основывались на данных экспериментов. Многочисленные обобщенные результаты экспериментов составили основу для решения задач, связанных со стационарным тепловлажностным режимом помещений зданий. При этом, не учитывались переменные внутренние и внешние воздействия теплоты и влаги.

На практике, оценка комфортности микроклимата или определение потребной мощности систем обеспечения микроклимата, определяется распределением параметров микроклимата в объеме помещения и их изменением во времени. В таких случаях, применяется моделирование процессов или решение их определенными методами, при условии, если они реально отображают условия протекания процессов.

Современные вычислительные технологии открыли возможности для исследования тепловлажностного режима систем обеспечения микроклимата на базе математического моделирования. Для моделирования процессов формирования микроклимата помещения применяют математическое, физическое или аналоговое моделирование.

Математическое моделирование основывается на решении системы уравнений в дифференциальной или алгебраической форме, описывающих тепловой, воздушный, влажностный и газовый режим помещения. Физическое моделирование переносит физические процессы в натурные условия или на подобные натурному объекту модели. Аналоговое моделирование заменяет реальные процессы другими, имеющими формально аналогичное математическое описание.

Математическое моделирование основывается на решении системы уравнений в дифференциальной или алгебраической форме с краевыми и начальными условиями, которое позволяет определить трехмерное распределение параметров микроклимата в объеме помещения, изменяющимися во времени.

При внедрении современных методов решения с использованием компьютерных программ, вопросы нестационарных тепловлажностных режимов помещений осуществлялись методами, рассчитанными на основе математического моделирования процессов с различных позиций.

Наиболее хорошо изученными методами с практическими подходами на базе моделирования являются методики, основанные на теории упругостей водяного пара с учетом перемещения влаги в жидкой фазе. Общая постановка моделирования процессов с распределенными параметрами представляют собой систему уравнений движения, баланса теплоты и влаги в дифференциальной форме в частных производных. Система уравнений дополняется краевыми условиями, в состав которых входят граничные условия и начальные условия. Решение системы позволяет определить трехмерное распределение параметров микроклимата в объеме помещения и изменяющимися во времени. Математические модели, учитывающие по возможности полную постановку задачи процессов тепловлагопереноса являются сложными и применяются при решении исследовательских и теоретических задач.

Анализ существующих теорий влагопереноса показал, что наиболее полную картину процессов тепловлагопереноса в ограждениях и помещениях, при

комплексных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги может описать теория «потенциала влажности». Она упрощает физико-математическую модель влагопереноса в ограждениях и окружающих их наружной и внутренней средах. При переменных воздействиях теплоты и влаги происходит изменение потенциала влажности, величина которого тесно связана с температурой. Важным условием при определении колебаний температуры и влажности воздуха в помещении является влияние изменений как потенциала влажности, так и температуры.

Вопросы прогнозирования и выбора целесообразных тепловлажностных режимов СОМ воздушной среды, улучшение теплозащитных качеств и повышение долговечности ограждений зданий, описывающих реальную картину в помещениях зданий, формирующихся при нестационарных комплексных внутренних и внешних тепловлажностных процессах на основе теории потенциала влажности ранее не исследовались.

В связи с вышеизложенным, вопросы изучения теоретических и экспериментальных исследований тепловлажностного режима помещений зданий при переменных внутренних воздействиях теплоты и влаги, нацеленных на выбор целесообразных тепловлажностных режимов систем обеспечения микроклимата, улучшения теплозащитных качеств и повышения долговечности ограждений помещений зданий на основе теории потенциала влажности является актуальными.

## **ВЫВОДЫ**

1. Проведен анализ литературных источников по современному состоянию теоретических, лабораторных и экспериментальных исследований тепловлажностного режима помещений и наружных ограждений зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги.

2. Изучено современное состояние основ теории тепловлагопереноса и экспериментальные методы расчетов тепловлажностного режима наружных ограждений при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги на основе различных теорий тепловлагопереноса.

3. Изучены особенности тепловлажностного режима помещения путем исследования современных теоретических и практических методов решения тепловлажностного режима помещений и ограждений здания при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги, включая методы физико - математического моделирования физических процессов на основе различных теорий тепловлагопереноса.

4. Проведенные исследования современных теоретических и практических методов решения тепловлажностного режима помещений и ограждений здания при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги показали актуальность дальнейшего теоретического изучения с применением метода физико - математического моделирования физических процессов на основе теории потенциала влажности.

## ГЛАВА 2

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ПОМЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА ВЛАЖНОСТИ

Исследования процессов тепловлажностного режима помещений показали актуальность дальнейшего теоретического изучения вопросов прогнозирования и выбора целесообразных тепловлажностных режимов СОМ воздушной среды, улучшение теплозащитных качеств и повышение долговечности ограждений помещений зданий, формирующихся при нестационарных комплексных внутренних и внешних тепловлажностных процессах на основе теории потенциала влажности.

При изучении задачи влагоустойчивости с позиций теории потенциала влажности обращает на себя внимание возможная аналогия постановки задачи о теплоустойчивости помещения. Это дает возможность применить хорошо разработанный аппарат теории теплоустойчивости к задаче влагоустойчивости.

Поэтому, для оценки поддержания оптимальной температуры и влажности воздуха в помещениях и ограждениях здания с целью выбора целесообразных СОМ помещения необходимо создание математической модели тепловлажностного режима помещения здания посредством совместного рассмотрения нестационарных процессов тепло- и влагопередачи, с учетом дополнительных внутренних и внешних источников теплоты и влаги.

Математическая модель в вышеуказанной постановке разработана авторами [13,35,65] и представляет систему дифференциальных уравнений теплопроводности и влагопроводности с граничными условиями, связанными с балансовыми уравнениями теплоты и влаги окружающей среды помещений здания. Для решения системы дифференциальных уравнений необходимо найти устойчивые численные методы с разработкой алгоритма расчета и вычисления его с использованием современных компьютерных программ.

Математическая модель нестационарного тепловлажностного режима ограждений помещения с применением компьютерных программ позволяет определить и прогнозировать изменения температуры и влажности ограждений и внутреннего воздуха помещения, а также выбирать целесообразные СОМ для обеспечения приемлемых, допустимых и оптимальных параметров микроклимата в помещении и осуществлять проверку выпадения конденсата на внутренних поверхностях ограждения.

Ниже приводится общая постановка математической модели тепловлажностного режима помещения здания при переменных внутренних и внешних поступлениях тепла и влаги, а также описание численного метода и решения ее с применением современных компьютерных программ.

## **2.1. Общая постановка задачи исследований**

Математическая модель тепловлажностных процессов, разработанная авторами [13, 35, 65], описывается с помощью системы дифференциальных уравнений теплопроводности и влагопроводности ограждений помещения здания с граничными условиями, связанными с балансовыми уравнениями теплоты и влаги в помещении в пределах некоторых допущений и на основе теории потенциала влажности.

Математическая модель тепловлажностного режима помещения здания при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги разработана с учетом нижеуказанных допущений:

- потоки теплоты и влаги через ограждение являются одномерными;
- температура и потенциал влажности воздуха по площади и высоте помещения принимаются без учета градиентов параметров воздуха, так как математическая модель связана с уравнениями баланса теплоты и влаги воздуха.

Система уравнений, с помощью которой описывается тепловлажностный режим помещения здания, состоит из одномерных уравнений тепло- и влагопроводности, а также из уравнений баланса тепла и влаги воздуха в

помещении здания, которые представляют собой обобщенные дифференциальные уравнения первого порядка, описывающие процессы тепло- и влагопередачи в любом из рассматриваемых ограждений помещения. Обобщенные уравнения теплопроводности и влагопроводности приведены ниже:

- для тепловых процессов:

$$c_j \cdot p_j \frac{\partial t_j}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda_j(x) \cdot \frac{\partial t_j}{\partial x} \right] + A_1 \frac{\partial t_j}{\partial x} + A_2 e^{a\Delta z} Q(z) + A_3 \delta(x - x_1) P(z); (2.1.1)$$

- для влажностных процессов:

$$\eta_j(\theta, t) \cdot \rho_j \frac{\partial \theta_j}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \alpha(\theta, t) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] + A_{\theta 1} \frac{\partial \theta_j}{\partial x} + A_{\theta 2} e^{a\Delta z} W(z) \quad (2.1.2)$$

Обобщенные граничные условия для тепловых процессов поставленной задачи описываются следующими уравнениями:

при  $x=0$ :

$$-\lambda_j^n \frac{\partial t_j}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_j^n (t_j - t_n) + p_j \cdot \beta_j \cdot q_j; (2.1.3.)$$

при  $x=\delta$ :

$$-\lambda_j^s \frac{\partial t_j}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = \alpha_{kj} (t_j - t_e) + \sum \alpha_{lj \neq i} (t_j - t_i) - \beta_{1j} \cdot \beta_{2j} \cdot F_0 \cdot q_j - Q_{mx}; (2.1.4)$$

Для влажностных процессов обобщенные граничные условия с наружной и внутренней стороны ограждений определяются аналогично вышеуказанным уравнениям (2.1.3) и (2.1.4), которые описаны уравнениями (2.2.6) и (2.2.7) раздела 2.2. главы 2.

Таким образом, для совместного решения уравнений теплопроводности и влагопроводности с граничными условиями на внутренних и наружных ограждениях помещения, связанных с уравнениями тепла и влаги воздушной среды помещения необходимо принять начальные условия температуры и потенциала влажности.

Разработанная математическая модель нестационарного тепловлажностного режима ограждений помещения при переменных

внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги, описывается с помощью системы дифференциальных уравнений теплопроводности, влагопроводности с граничными условиями, а также баланса тепла и влаги воздушной среды, которая представлена в разделе 2.2. главы 2.

Исследования показали, что наиболее эффективным численным методом решения дифференциальных уравнений теплопроводности и влагопроводности, связанных с уравнениями баланса тепла и влаги воздушной среды при использовании современных компьютерных программ является метод конечных разностей (метод сеток) по неявной схеме.

## 2.2 Разработка математической модели тепловлажностного режима помещения

За основу математической модели принимается помещение с определенным количеством ограждений ( $J$ ), окон ( $n$ ) и массивных ограждений ( $r$ ), часть которых соприкасается с наружной средой, а другая часть ограждений отделяет помещение от аналогичных.

Процесс теплопередачи в ограждениях исследуемого помещения описывается системой одномерных дифференциальных уравнений теплопроводности для каждой составляющей:

$$c_j \cdot p_j \frac{\partial t_j}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda_j(x) \cdot \frac{\partial t_j}{\partial x} \right]; \quad (2.2.1)$$

где:  $j$  – количество ограждений,

$x$  – толщина ограждающей конструкции,

$z$  – временная координата.

а также с граничными условиями:

- с наружной стороны:

$$-\lambda_j^i \frac{\partial t_j}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_j^i (t_j - t_i) + p_j \cdot \beta_j \cdot q_j; \quad (2.2.2)$$

- с внутренней стороны:

$$-\lambda_j^e \frac{\partial t_j}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = \alpha_{kj} (t_j - t_e) + \sum \alpha_{ij \neq i} (t_j - t_i) - \frac{\beta_{1j} \cdot \beta_{2j} \cdot F_0 \cdot q_j}{F_0} - (1 - \rho_k) \frac{Q_{mx}}{F_0}; \quad (2.2.3)$$

и с начальными параметрами температуры:

$$t_{j0}(0, x) = \varphi_{j0}(x); \quad (2.2.4)$$

Процесс влагопередачи для каждой составляющей, как и процесс теплопередачи описывается с помощью системы дифференциальных уравнений влагопроводности с граничными и начальными условиями, а именно:

$$\eta_j(\theta, t) \cdot \rho_j \frac{\partial \theta_j}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \alpha(\theta, t) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right]; \quad (2.2.5)$$

граничные условия:

- с наружной стороны:

$$-\alpha_j^n(\theta, t) \frac{\partial \theta_j}{\partial x} \Big|_{x=0} = \beta_{nj} (\theta_j - \theta_n); \quad (2.2.6)$$

-с внутренней стороны:

$$-\alpha_j^e(\theta, t) \frac{\partial \theta_j}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = \beta_{ej} (\theta_j - \theta_e); \quad (2.2.7)$$

а также начальные условия для уравнения влагопроводности:

$$\theta_{j0}(0, x) = F_{j0}(x); \quad (2.2.8)$$

где:

$c_j, \rho_j, \lambda_j(x)$  - теплофизические характеристики материальных слоев ограждающих конструкций (удельная теплоемкость кДж/(кг·°С), плотность кг/м<sup>3</sup> и коэффициент теплопроводности Вт/(м·°С));

$t_j(x)$  - температура ограждения, меняющаяся по толщине в расчетный момент времени, °С;

$j_n$  - номер исследуемого ограждения;

$\lambda_j^n$  - коэффициент теплопроводности наружного слоя  $j$ -го ограждения, Вт/(м·°С);

$\lambda_j^e$  - коэффициент теплопроводности внутреннего слоя  $j$ -го ограждения, Вт/(м·°С);

$\alpha_{nj}$  - коэффициент теплообмена на наружной поверхности  $j$ -го ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$t_n$  - температура наружной среды, меняющаяся в зависимости от времени, °C;

$\beta_j$  - коэффициент затенения  $j$ -го ограждения наружным солнцезащитным устройством;

$\rho_j$  - коэффициент поглощения солнечной радиации наружной поверхностью  $j$ -го ограждения;

$q_j$  - изменяющаяся во времени интенсивность суммарной солнечной радиации, облучающей наружную поверхность  $j$ -го ограждения, Вт/м<sup>2</sup>;

$\alpha_{kj}$  - коэффициент конвективного теплообмена на внутренней поверхности  $j$ -го ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$\alpha_{lj-i}$  - коэффициент лучистого теплообмена между внутренними поверхностями  $j$ -го ограждения и любого другого  $i$ -го, с учетом угловой облученности  $j$ -го ограждения с  $i$ -тым и приведенного облучения, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$\beta_{lj}$  - коэффициент проникания солнечной радиации, через окно, учитывающий его конструкцию;

$\beta_{2j}$  - коэффициент затенения окна солнцезащитным устройством;

$F_{jo}$  - площадь оконного проема, м<sup>2</sup>.

Дифференциальные уравнения баланса теплоты и влаги воздушной среды:

$$\rho_k \cdot Q_{c.o} + \rho_k \cdot Q_{mx} + G_{\epsilon} \cdot C_{\epsilon} (t_{np} - t_{\epsilon}) + \sum \alpha_k \cdot F_j (t_j - t_{\epsilon}) = V_n \cdot \rho_{\epsilon} \cdot C_{\epsilon} \frac{\partial t_{\epsilon}}{\partial z}; \quad (2.2.9)$$

$$W_{mx} + G_{\dot{a}} \cdot \eta_{\dot{a}}(\theta, t) \cdot (\theta_{\dot{a}} - \theta_{\dot{a}}) + \sum \beta_j \cdot F_j (\theta_{\dot{a}} - \theta_j) = V_n \cdot \rho_{\dot{a}} \cdot \eta(\theta, t) \frac{\partial \theta}{\partial z}; \quad (2.2.10)$$

где:  $Q_{c.o}$  - тепловой поток от системы обеспечения микроклимата, Вт;

$Q_{mx}$  - конвективные и лучистые потоки тепла от технологического оборудования, изменяющиеся во времени, ккал/ч;

$G_{\epsilon}$  - расход вентиляционного воздуха, кг/ч;

$c_{\epsilon}$  - удельная теплоемкость воздушной среды, кДж/(кг·°C);

$\rho_v$ - плотность воздушной среды, кг/м<sup>3</sup>;

$F_j$ - площадь  $j$ -го ограждения, м<sup>2</sup>;

$V_n$ - объем помещения, м<sup>3</sup>;

$\Theta_{np}$ - потенциал влажности приточного воздуха, °В;

$\theta_j$  - потенциал влажности  $j$ -той поверхности ограждающей конструкции, °В;

$\eta_v$  - коэффициент влагоемкости воздушной среды, зависящий от температуры и потенциала влажности, кг/(кг·°В).

Вышеуказанные уравнения являются уравнениями параболического типа с разрывными коэффициентами первого рода, которые решаются интегроинтерполяционным методом. Алгоритмом расчета предусматривается дискретизация времени и решение системы алгебраических уравнений тепло- и влагопроводности ограждений и баланса тепла и влаги внутреннего воздуха для каждого шага времени численным методом с последующим решением методом прогонки.

Неявная схема для вышеуказанных уравнений при внутренних поступлениях тепла и влаги и работе СОМ представляет собой систему алгебраических уравнений для значений сеточной функции  $Y_i^{j+1}$  на новом временном слое  $t=t_{j+1}$ .

Система уравнений тепловлажностного режима при внутренних и внешних воздействиях тепла и влаги имеет вид трехдиагональной матрицы, которая требует число арифметических действий пропорциональных кубу числа неизвестных. В этом случае, число арифметических операций пропорционально числу неизвестных. Численный метод решения уравнений тепловлажностного режима помещения и алгоритм осуществляется с использованием метода прогонки, который описывается в разделе 2.3. главы 2.

### 2.3. Численный метод решения системы уравнений тепловлажностного режима помещения

Алгоритмом расчета системы уравнений ( 2.2.1. - 2.2.10.) предусматривается конечно-разностная аппроксимация производных по времени и по толщине ( $x$ ) с последующим решением методом прогонки. Метод прогонки применяется для решения системы алгебраических уравнений теплопроводности и баланса тепла воздушной среды. Неявная схема уравнения теплопроводности представляет собой систему алгебраических уравнений для значений сеточной функции  $Y_i^{j+1}$  на новом временном слое  $t=t_{j+1}$ . Эта система имеет трехдиагональную матрицу.

Общий вид аппроксимационных формул для решения уравнений (2.2.1. - 2.2.8.) описывается следующей системой линейных алгебраических уравнений. Дифференциальное уравнение теплопроводности (2.2.1) можно представить в виде:

$$A_n \cdot Y_{n-1} - C_n \cdot Y_n + B_n \cdot Y_{n+1} = -F_n; \quad n=1,2,\dots,N-1 \quad (2.3.1)$$

Граничные условия уравнения теплопроводности с наружной и внутренней стороны (2.2.2 и 2.2.3) представлены следующими формулами:

$$Y_0 = X_1 \cdot Y_1 + \mu_1; \quad (2.3.2)$$

$$Y_{Nj} = X_2 \cdot Y_{n-1j} + \mu_2 + \sum_{i \neq j}^J a_{ij} \cdot Y_{Ni}; \quad (2.3.3)$$

Дифференциальное уравнение влагопроводности (2.2.5) представлено следующей формулой:

$$A_{\theta n} \cdot Y_{\theta n-1} - C_{\theta n} \cdot Y_{\theta n} + B_{\theta n} \cdot Y_{\theta n+1} = -F_{\theta n}; \quad n=1,2,\dots,N-1 \quad (2.3.4)$$

а граничные условия с наружной и внутренней стороны (2.2.6 и 2.2.7) представлены следующими формулами:

$$Y_{\theta 0} = X_{1\theta} \cdot Y_{\theta 1} + \mu_{\theta 1}; \quad (2.3.5)$$

$$Y_{\theta Nj} = X_{\theta 2} \cdot Y_{\theta n-1j} + \mu_{\theta 2}; \quad (2.3.6)$$

Коэффициенты, входящие в формулы (2.3.1-2.3.6) для тепловой и влажностной задачи имеют следующие значения:

для уравнения теплопроводности:

$$\begin{aligned}
 A_n &= \left( \frac{\lambda_j}{c_j \cdot \rho_j} \right) / x^2 ; & B_n &= \left( \frac{\lambda_j}{c_j \cdot \rho_j} \right) / x^2 ; \\
 C_n &= A_n + B_n + \frac{1}{\Delta z} ; & F_n &= \frac{1}{\Delta z} \cdot Y_n^m ; \\
 X_{1j} &= \frac{\lambda_{1j}^n}{\lambda_{1j}^n - \alpha_{jn} \cdot x} ; & \mu_1 &= \frac{(\alpha_j^n \cdot t_n + \beta_{1j} \cdot \beta_{2j} \cdot q_{1j}) \cdot x}{\lambda_{1j}^n - \alpha_{jn} \cdot x} ; \\
 X_{2j} &= \frac{\alpha_j^B}{\frac{\lambda_{Nj}}{x} + \sum \alpha_{nj-i} + \alpha_{kj}} ; \\
 a_{ij} &= \frac{\alpha_{ni-j}}{\frac{\lambda_j^n}{x} + \sum \alpha_{ni-j} + \alpha_{kj}} ; \\
 \mu_2 &= \frac{\alpha_{kj} \cdot t_e + \sum (\beta_{1j} \cdot \beta_{2j} \cdot F_{ok} \cdot q_{ij}) + \frac{q_{mx}}{F_o}}{\frac{\lambda_{Nj}}{x} + \sum \alpha_{nj-i} + \alpha_{kj}} ;
 \end{aligned}
 \tag{2.3.7}$$

для уравнения влагопроводности (2.2.5-2.2.8):

$$\begin{aligned}
 A_{\theta n} &= (\alpha_j^n(\theta) / (\eta_j(\theta, t) \cdot \rho_j)) / x^2 ; \\
 B_{\theta n} &= (\alpha_j^s(\theta) / (\eta_j(\theta, t) \cdot \rho_j)) / x^2 ; \\
 C_{\theta n} &= A_{\theta n} + B_{\theta n} + \frac{1}{\Delta z} ; & F_{\theta n} &= \frac{1}{\Delta z} \cdot Y_{\theta n}^m ; \\
 X_{1\theta} &= (\alpha_{1j}^n(\theta)) / (\alpha_{1j}^n(\theta) - \beta_{1n} \cdot x) ; \\
 \mu_{1\theta} &= (x \cdot \beta_j^n \cdot \theta_n) / (\alpha_{1j}^n(\theta) - \beta_{jn} \cdot x) ; \\
 X_{2\theta} &= (\alpha_{Nj}(\theta)) / (\alpha_{Nj}(\theta) + \beta_{\theta j} \cdot x) ; \\
 \mu_{2\theta} &= (\beta_j^s \cdot \theta_e + \frac{W_{mx}}{F_o}) \cdot x / (\alpha_{Nj}(\theta) + \beta_{\theta j} \cdot x) ;
 \end{aligned}
 \tag{2.3.8}$$

При решении системы алгебраических уравнений (2.3.1. - 2.3.3.) значение искомой функции в двух любых соседних точках связаны линейной зависимостью, поэтому уравнение (2.3.1.) представляется в следующем виде:

$$Y_n = \alpha_{n+1} Y_{n+1} + \beta_{n+1}, \quad n=0, 1, \dots, N-1 \quad (2.3.9.)$$

где:  $\alpha_n$  и  $\beta_n$  - коэффициенты прогонки.

Сдвинув в соотношении (2.3.4.) индекс на единицу получаем, что

$$Y_{n-1} = \alpha_n Y_n + \beta_n = \alpha_n (\alpha_{n+1} Y_{n+1} + \beta_{n+1}) + \beta_n, \quad n=1, 1, \dots, N-1$$

Подставляя выражения для  $Y_{n-1}$  и  $Y_n$  в уравнение (2.3.1) получим уравнение, позволяющее определить  $\alpha_n$  и  $\beta_n$ .

$$[\alpha_{n+1}(A_n \alpha_n - C_n) + B_n] Y_{n+1} + [\beta_{n+1}(A_n \alpha_n - C_n) + A_n \beta_n + F_n] = 0$$

Полученное уравнение будет удовлетворено, если искомые исследуемые функции в квадратных скобках будут равны нулю. Отсюда получаем рекуррентные формулы для определения коэффициентов прогонки:

$$\begin{aligned} \alpha_{n+1} &= B_n / (C_n - A_n \alpha_n), \\ \beta_{n+1} &= (A_n \beta_n + F_n) / (C_n - A_n \alpha_n), \quad n=1, 2, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (2.3.10.)$$

Для вычисления коэффициентов  $\alpha_{n+1}$  и  $\beta_{n+1}$  по формулам (2.3.10.) необходимо знать начальные значения (стартовые коэффициенты) прогоночных коэффициентов  $\alpha_1$  и  $\beta_1$ . Для чего сравниваем уравнение граничных условий с наружной стороны (2.3.2) с соотношением (2.3.9.), которое при  $n=0$  принимают следующий вид.

$$Y_0 = \alpha_1 Y_1 + \beta_1,$$

Тогда получаем, что :

$$\alpha_1 = X_1, \quad \beta_1 = \mu_1 \quad (2.3.11.)$$

Используя значения  $\alpha_1$  и  $\beta_1$  равные коэффициентам из (2.3.7.) совершается прогонка в направлении возрастания индекса, последовательно определяя из уравнений (2.3.10.)  $\alpha_N$  и  $\beta_N$  для  $n = 1, 2, \dots, N$ . Вычисление коэффициентов прогонки называются прямым ходом прогонки.

С внутренней стороны ограждений помещения граничные условия (2.3.3) имеют два соотношения, связывающие  $Y_{N-1}$  и  $Y_N$ .

$$Y_{Nj} = X_2 \cdot Y_{n-1j} + \mu_2 + \sum_{i \neq j}^J a_{ij} \cdot Y_{Ni}$$

$$Y_{N-1j} = \alpha_N Y_{Nj} + \beta_{Nj}$$

С учетом этих соотношений необходимо вычислить значение  $Y_{Nj}$ , которое определяется при  $n=N-1$ , которое принимает следующий вид:

$$Y_N = (X_2 \beta_N + \mu_2) / (1 - X_2 \alpha_N) + \left( \sum_{i \neq j}^J a_{ij} \cdot Y_{Ni} \right) / (1 - X_2 \alpha_N) \quad (2.3.12.)$$

при условии, что  $X_2 \alpha_N \neq 0$ .

Решение по формулам (2.3.12.) и (2.3.10.) называется обратным ходом прогонки.

Таким же вышеуказанным методом, определяются прогоночные коэффициенты и потенциал влажности при решении системы алгебраических уравнений влагопроводности с граничными условиями (2.3.4. – 2.3.6.).

Уравнения тепловлажностного баланса воздуха являются обыкновенными дифференциальными уравнениями с известным замкнутым аналитическим решением.

Уравнение теплового баланса воздуха (2.2.9) имеет следующий вид:

$$t_{\epsilon z} = t_{\epsilon, z-1} \cdot e^{a \Delta z} + \frac{1}{a} (-1 - e^{a \Delta z}) \cdot \left( \frac{\sum \alpha_{kj} \cdot t_j \cdot F_j + q_k + q_c}{c_\epsilon \cdot \rho_\epsilon \cdot V} + \frac{L}{V} t_{np} \right) \quad (2.3.13.)$$

Уравнение влажностного баланса воздуха, подобно уравнению (2.2.9) выражается следующей формулой:

$$\theta_{\epsilon z} = \theta_{\epsilon, z-1} \cdot e^{a_\theta \Delta z} + \frac{1}{a_\theta} (-1 - e^{a_\theta \Delta z}) \cdot \left( \frac{W_{mx}}{V_n \cdot \eta(\theta, t) \cdot \rho_\epsilon} + \frac{L_\theta}{V_n} \cdot \theta_{np} \right) + (-1 - e^{a_\theta \Delta z}) \frac{\sum \beta_{\epsilon j} \cdot F_j \cdot \theta_j}{a_\theta \cdot V_n \cdot \eta(\theta, t) \cdot \rho_\epsilon} \quad (2.3.14)$$

При расчете температуры и потенциала влажности внутреннего воздуха линейные алгебраические уравнения теплового и влажностного балансов воздушной среды помещения (2.2.9. и 2.2.10.) решаются совместно с уравнениями теплопроводности и влагопроводности ограждений помещения здания (2.2.1 и 2.2.8) с граничными и начальными условиями, описанными в разделе 2.2. главы 2.

Совместное решение уравнений теплового баланса воздушной среды (2.3.13.) и температуры на внутренних поверхностях на  $j$  –тых ограждений

помещения  $Y_{Nj}$  (2.3.12.) позволяет определить температуру внутреннего воздуха в помещении через определенные промежутки времени ( $z$ ).

Уравнение теплового баланса воздушной среды помещения (2.3.13.) представляется в виде следующей формулы:

$$t_{BZ} = d_j t_{Nj} + \omega \quad (2.3.15)$$

где  $t_{Nj} = Y_{Nj}$

Уравнение на внутренней поверхности ограждений помещения (2.3.12) принимает вид:

$$Y_{Nj} = S'_{oj} t_B + K_{j-i} Y_{Ni} + Z_j \quad (2.3.16)$$

Подставляя  $Y_{Nj}$  из уравнения (2.3.16) в формулу (2.3.15) и тогда температура внутреннего воздуха через каждый промежуток времени принимает следующий вид:

$$t_{BZ} = d_j S'_{oj} t_B + d_j K_{j-i} Y_{Ni} + d_j Z_j + \omega \quad (2.3.17)$$

При этом, коэффициенты, входящие в уравнение (2.3.17) при известных тепловых возмущениях имеют следующие значения:

1. для теплового режима помещений и ограждений:

$$\begin{aligned} S'_{oj} &= \frac{S_0}{1 - X_2 \cdot \alpha_{Nj}}; & Z_j &= \frac{X_2 \cdot \beta_{Nj}}{1 - X_2 \cdot \alpha_{Nj}} + \frac{\gamma}{1 - X_2 \cdot \alpha_{Nj}}; \\ K_{j-i} &= \frac{\sum a_{j-i}}{1 - X_2 \cdot \alpha_{Nj}}; & d_j &= (e^{a_o \cdot \Delta z} - 1) \frac{\alpha_{kj} \cdot F_j}{a_o \cdot c_e \cdot \rho_e \cdot V_n}; \\ \omega &= t_{e_{z-1}} \cdot e^{a_o \cdot \Delta z} + \frac{1}{a_o} (e^{a_o \cdot \Delta z} - 1) \cdot \left( \frac{q_{mx}}{c_e \cdot \rho_e \cdot V_n} + \frac{L}{V_n} t_{np} \right); \end{aligned} \quad (2.3.18)$$

где : коэффициенты  $S_0$  и  $\gamma$  получены из  $\mu_2$  соотношений (2.3.7) и равны:

$$S_0 = \frac{\alpha_{kj} \cdot}{\frac{\lambda_{Nj}}{x} + \sum \alpha_{lj-i} + \alpha_{kj}}; \quad \gamma = \frac{\sum (\beta_{1j} \cdot \beta_{2j} \cdot F_{ok} \cdot q_{ij})}{\frac{\lambda_{Nj}}{x} + \sum \alpha_{lj-i} + \alpha_{kj}}$$

Совместное решение уравнений влажностного баланса воздушной среды (2.3.14) и уравнения теплопроводности ограждений с граничными условиями на внутренней поверхности ограждений помещения позволяет определить потенциал влажности внутреннего воздуха по формуле:

$$\Theta_{BZ} = d_{\theta j} S'_{oj} \Theta_B + d_{\theta j} K_{j-i} \Theta_{Ni} + d_{\theta j} Z_j + \omega_{\theta} \quad (2.3.19)$$

где: коэффициенты входящие в уравнение (2.3.19) принимают вид:

$$\begin{aligned} S'_{\theta} &= \frac{S_{\theta}}{1 - X_{2\theta} \cdot \alpha_{\theta Nj}}; & Z_{\theta} &= \frac{X_{2\theta} \cdot \beta_{\theta Nj}}{1 - X_{2\theta} \cdot \alpha_{\theta Nj}} + \frac{\gamma}{1 - X_{2\theta} \cdot \alpha_{\theta Nj}}; \\ d_{\theta} &= (e^{a_{\theta} \Delta z} - 1) \frac{\beta_n \cdot F_j}{a_{\theta} \cdot \eta_s(\theta, t) \cdot \rho_s \cdot V_n}; \\ \omega_{\theta} &= \theta_{ez-1} \cdot (e^{a_{\theta} \Delta z}) + \frac{1}{a_{\theta}} (e^{a_{\theta} \Delta z} - 1) \cdot \left( \frac{W_{mx}}{\eta_s(\theta, t) \cdot \rho_s \cdot V_n} + \frac{L}{V_n} \cdot \theta_{np} \right); \end{aligned} \quad (2.3.20)$$

Ниже приводятся решения уравнений тепловой и влажностной задачи, основанной на математической модели тепловлажностного режима помещения при переменных внутренних и внешних колебаниях тепла и влаги для нижеописанных вариантов.

В первом варианте рассматривается решение нестационарного тепловлажного режима ограждений помещения с целью выбора целесообразных систем обеспечения микроклимата при начальных значениях температуры и потенциала влажности воздушной среды. Учитывая, что  $t_s = const$ ,  $\Theta = const$ , а также принимая производные по времени данных функций равными нулю, т.е.

$\frac{dt_s}{dt} = 0$  и  $\frac{d\Theta}{dt} = 0$ , уравнения теплового и влажностного баланса принимают вид:

$$- \sum \alpha_{kj} \cdot Y_{Nj} \cdot F_j + Q_k + L \cdot c_s \cdot \rho_s (t_s - t_{np}) + \sum \alpha_{kj} \cdot F_j \cdot t_s = Q_c; \quad (2.3.21)$$

$$- \sum \beta_{\theta kj} \cdot \theta_{Nj} \cdot F_j + W_{mx} + L \cdot \eta_s(\theta, t) \cdot \rho_s (\theta_s - \theta_{np}) + \sum \beta_{\theta kj} \cdot F_j \cdot \theta_s = 0; \quad (2.3.22)$$

Из вышеуказанного уравнения теплового баланса воздушной среды (2.3.21) при заданном воздухообмене  $L$  или предварительно приняв его равным  $L=0$  определяется нагрузка на систему кондиционирования микроклимата  $Q_c$  по формуле:

$$Q_c = Q_k + L \cdot c_s \cdot \rho_s \cdot (t_s - t_{np}) + \sum \alpha_{kj} \cdot F_j \cdot t_s - \sum \alpha_{kj} \cdot F_j \cdot Y_{Nj}; \quad (2.3.23)$$

Решая уравнение влажностного баланса воздуха (2.3.22) относительно  $L_{рас.}$ , получим:

$$L_{pac} = \frac{\sum \beta_{\theta_{kj}} \cdot F_j \cdot \theta_{\epsilon}}{\eta(\theta, t) \cdot \rho_{\epsilon} (\theta_{\epsilon} - \theta_{np})} + \frac{W_{mx}}{\eta(\theta, t) \cdot \rho_{\epsilon} (\theta_{\epsilon} - \theta_{np})} - \frac{\sum \beta_{\theta_{kj}} \cdot F_j \cdot \theta_{Nj}}{\eta(\theta, t) \cdot \rho_{\epsilon} (\theta_{\epsilon} - \theta_{np})}; \quad (2.3.24)$$

При решении системы уравнений теплопроводности с граничными условиями и уравнением баланса тепла воздуха, коэффициенты входящие в трехдиагональную матрицу (2.3.15) и (2.3.16) при такой постановке задачи имеют следующие значения:

1. для теплового режима помещения и ограждений:

$$S'_{oj} = \frac{S_o}{1 - X_2 \cdot \alpha_{Nj}}; \quad \text{где} \quad S_o = \frac{ks}{F_o \left( \frac{\lambda_j}{h_j} + \alpha_{kj} + \sum \alpha_{lj-i} \right)}; \quad (2.3.25)$$

$$d_j = -\alpha_{kj} \cdot F_j; \quad \omega = L \cdot c_{\epsilon} \cdot \rho_{\epsilon} \cdot (t_{\epsilon} - t_{np}) + \sum \alpha_{kj} \cdot F_j \cdot t_{\epsilon} - Q_k;$$

2. для влажностного режима помещения и ограждений:

$$d_{\theta} = -\frac{\beta_{\theta_{kj}} \cdot F_j}{\eta(\theta, t) \cdot \rho_{\epsilon} \cdot (\theta_{\epsilon} - \theta_{np})}; \quad (2.3.26)$$

$$\omega_{\theta} = \frac{\sum \beta_{\theta_{kj}} \cdot F_j \cdot \theta_{\epsilon}}{\eta(\theta, t) \cdot \rho_{\epsilon} \cdot (\theta_{\epsilon} - \theta_{np})} + \frac{W_{mx}}{\eta(\theta, t) \cdot \rho_{\epsilon} (\theta_{\epsilon} - \theta_{np})};$$

Во втором варианте рассматривается решение нестационарного тепловлажностного режима помещения при работе технологического оборудования в переходный период времени при отключении система отопления отключена. В этом случае, необходимо определить требуемую нагрузку СОМ (вентиляция) с целью доведения температуры и потенциала влажности до нормативных допустимых параметров внутренней среды посредством нагрева или охлаждения воздуха в помещении. При такой постановке осуществляется выбор целесообразных СОМ с целью доведения параметров воздушной среды до заданного уровня температуры и потенциала влажности.

При решении задачи теплового режима помещения в такой постановке задается график нагрева температуры воздушной среды от температуры остывания в помещении  $t_o$  до нормативной допустимой величины температуры

воздуха  $t_6$ , а в случае решения влажностной задачи помещения от потенциала влажности при остывании помещения  $\theta_o$  до нормативной величины потенциала влажности  $\theta_6$ .

При решении тепловой задачи, определяется нагрузка СОМ при которой за ранее установленное время нагрева  $\tau_n$  СОМ должна поднять температуру воздуха от значения температуры воздуха  $t_o$  при которой произошло остывание помещения при отключении СОМ до величины нормативной допустимой температуры внутреннего воздуха  $t_6$ , которую СОМ должна поддерживать неизменной.

При решении влажностной задачи определяется величина необходимого воздухообмена, при котором поддерживается потенциал влажности внутреннего воздуха на заданном уровне. В результате расчета рассматривается изменение температуры и потенциала влажности на внутренних поверхностях ограждающих конструкций с целью выявления наличия конденсата на поверхностях ограждения, а также поддержание температуры и потенциала влажности воздуха в допустимых пределах.

Изменение температуры и потенциала влажности воздушной среды описываются линейной зависимостью и представляются следующими формулами:

$$t_{6z} = \frac{t_6 - t_o}{z_n} \cdot z + t_o; \quad (2.3.27)$$

$$\theta_{6z} = \frac{\theta_6 - \theta_o}{z_n} \cdot z + t_o; \quad (2.3.28)$$

где:  $z$  – текущее время переходного режима.

Уравнение теплового баланса воздушной среды при таких условиях принимает вид:

$$\frac{t_6 - t_o}{z_n} \left( 1 + \frac{z}{T} \right) = \frac{\sum \alpha_{kj} \cdot F_j \cdot t_j}{c_6 \cdot \rho_6 \cdot V_n} + \frac{Q_k + Q_c}{c_6 \cdot \rho_6 \cdot V_n} + \frac{L}{V_n} \cdot t_{np}; \quad (2.3.29)$$

откуда нагрузка на СОМ микроклимата определяется:

$$Q_c = \sum -\alpha_{kj} \cdot F_j \cdot t_j + c_\epsilon \cdot \rho_\epsilon \cdot V_n \left(1 + \frac{z}{T}\right) \cdot \frac{t_\epsilon - t_o}{z_n} - Q_k - L \cdot c_\epsilon \cdot \rho_\epsilon \cdot t_{np}; \quad (2.3.30)$$

$$\text{где: } T = \frac{c_\epsilon \cdot \rho_\epsilon \cdot V_n}{\sum \alpha_{kj} \cdot F_j + L \cdot c_\epsilon \cdot \rho_\epsilon};$$

Уравнение влажностного баланса воздушной среды при подстановке значения  $\theta_{\epsilon z}$  принимает следующий вид:

$$L \left( \frac{(\theta_\epsilon - \theta_o)}{V_n \cdot z_n} - \frac{\theta_{np}}{V_n} \right) = \frac{(\theta_\epsilon - \theta_o)}{z_n} (-z \cdot T_o + 1) - \frac{W_{mx}}{\eta_\epsilon(\theta, t) \cdot \rho_\epsilon \cdot V_n} + \frac{\sum \beta_{\theta kj} \cdot \theta_j \cdot F_j}{\eta_\epsilon(\theta, t) \cdot \rho_\epsilon \cdot V_n}; \quad (2.3.31)$$

Из уравнения (2.3.31) определяется требуемый воздухообмен по формуле:

$$L_{pac} = \frac{\frac{(\theta_\epsilon - \theta_o)}{z_n} \cdot (1 - z \cdot T_o)}{A'} + \frac{W_{mx}}{A' \cdot A_o} + \frac{\sum \beta_{\theta kj} \cdot F_j \cdot \theta_j}{A' \cdot A_o}; \quad (2.3.32)$$

Коэффициенты, входящие в уравнение (2.3.32) равны:

$$A' = \frac{(\theta_\epsilon - \theta_o) \cdot z}{V_n \cdot z_n} - \frac{\theta_{np}}{V_n}; \quad T_o = \frac{\sum \alpha_{kj} \cdot F_j}{V_n \cdot \rho_\epsilon \cdot \eta(\theta, t)};$$

$$A_o = \eta_\epsilon(\theta, t) \cdot V_n \cdot \rho_\epsilon;$$

Для решения нестационарного тепловлажностного режима ограждений помещения с целью выбора целесообразных систем обеспечения микроклимата коэффициенты, входящие в трехдиагональную матрицу при решении уравнений (2.3.15 - 2.3.16) имеют следующие значения:

- для теплового режима помещения и ограждающих конструкций:

коэффициент  $S'_{oj}$  равен выражению из (2.3.25);

коэффициент  $d_j$  равен выражению из (2.3.25)

$$\omega_\theta = c_\epsilon \cdot \rho_\epsilon \cdot V_n \left(1 + \frac{z}{T}\right) \cdot \frac{t_\epsilon - t_o}{z_n} - Q_k - L \cdot c_\epsilon \cdot \rho_\epsilon \cdot t_{np}; \quad (2.3.33)$$

- для влажностного режима помещения и ограждающих конструкций:

- коэффициент  $S'_{oj}$  принимается равным значению, полученному при решении ТВРП согласно второго варианта, а именно при известных влажностных поступлениях в помещение;

-коэффициент  $z'_{\theta j}$  принимается равным коэффициенту в случае, когда решение ТВРП осуществляется согласно первого варианта.

- коэффициент  $d_{\theta j}$  при решении ТВРП принимается аналогичным коэффициенту  $d_{\theta j}$  из системы (2.3.26), а коэффициент  $\omega_{\theta j}$ , входящий в матрицу при решении влажностной задачи равен:

$$\omega_{\theta j} = \frac{\left( \frac{\theta_{\epsilon} - \theta_o}{z_n} \right) \cdot (1 - z \cdot T_o)}{A'} - \frac{W_{mx}}{A' \cdot A_o}; \quad (2.3.34)$$

Полученная математическая модель тепловлажностного режима ограждений помещения при переменных внутренних и внешних воздействиях тепла и влаги решается численным методом по неявной схеме с последующим решением методом прогонки, что можно осуществить с применением современных персональных компьютерных программ.

#### **2.4 Компьютерный расчет тепловлажностного режима помещений зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги**

Ранее, для решения математической модели ТВРП применялся алгоритм численного решения уравнений теплопроводности с граничными условиями и баланса тепла воздушной среды по неявной схеме методом прогонки, с помощью комплекса программ, решаемых на ЭВМ. Реализация алгоритма расчета решений системы уравнений теплопроводности с граничными условиями с наружной и внутренней поверхности и уравнения баланса тепла воздушной среды сводится к реализации метода прогонки на каждом слое толщины ограждения. Ввиду того, что уравнение влагопроводности решается подобно уравнению теплопроводности приведенный алгоритм решения для тепловой задачи с уравнениями теплопроводности также подходит для решения уравнения влагопроводности ограждений помещения и баланса влаги воздушной среды.

Комплекс программ на ЭВМ, разработанный для решения системы дифференциальных уравнений, описывающих тепловлажностные процессы ограждений помещения при переменных воздействиях тепла и влаги позволяет осуществить расчет тепловлажностных параметров воздуха и ограждений помещения, необходимую нагрузку СОМ с целью поддержания на нормативном требуемом уровне температуру и влажности воздуха, а также ограждений помещения.

С помощью комплекса программ на ЭВМ решены нестационарные тепловлажностные процессы при заданных условиях на примере вышеуказанных вариантов, описанных в разделе 2.2. главы 2. В первом варианте рассматривается решение нестационарного тепловлажного режима ограждений помещения с целью выбора целесообразных СОМ при заданных значениях температуры и потенциала влажности воздушной среды. Во втором варианте рассматривается решение нестационарного ТВРП в переходный период времени при отключении СОМ, но при работе технологического оборудования с целью выбора целесообразных СОМ.

С помощью программы рассчитаны и выбраны оптимальные режимы работы СОМ (отопления и вентиляции) при которых обеспечивается постоянство параметров воздушной среды – температуры и потенциала влажности в допустимых пределах, определена тепловая нагрузка системы отопления и необходимый воздухообмен для поддержания параметров внутреннего воздуха (температуры и потенциала влажности) в пределах нормативной требуемой величины.

Методика расчета, созданная на основе разработанной математической модели тепловлажностных процессов, позволяет определять температуру и потенциал влажности на внутренних поверхностях ограждений с целью определения теплозащитных качеств ограждений при переменных воздействиях тепла и влаги и проверку условий выпадения конденсата на внутренних поверхностях ограждений.

Для проверки результатов расчетов, полученных на основе разработанной математической модели было необходимо проведение натурных экспериментальных исследований при интенсивных переменных внутренних и внешних воздействиях тепла и влаги. Сравнительные результаты расчетов на основе математической модели и натурных экспериментальных исследований приведены в главе 3.

Необходимо отметить, что в настоящее время, для решения вышеуказанной математической модели можно также использовать современные персональные компьютеры с помощью средств интегрированной среды Delphi в процедуре progk, пример решения которой приводится в П 1.1.

## **ВЫВОДЫ**

1. Теоретические исследования современного состояния вопросов прогнозирования тепловлажностного режима помещений и наружных ограждений здания при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги показали актуальность разработки математической модели процессов для выбора целесообразных тепловлажностных режимов СОМ с целью доведения температуры и потенциала влажности до нормативных допустимых параметров внутренней среды.

2. Разработана математическая модель ТВРП, которая совмещена с моделью тепловлагопереноса в ограждающих конструкциях. В соответствии с этой моделью разработан алгоритм и составлена программа расчета на ЭВМ, позволяющая рассчитывать, моделировать и оптимизировать тепловлажностный режим помещения и осуществлять выбор целесообразных тепловлажностных режимов СОМ при переменных внутренних и внешних воздействиях тепла и влаги.

3. Результаты расчетов, полученные на основе разработанной математической модели требуют проверки достоверности модели путем проведения натурных экспериментальных исследований при интенсивных

переменных внутренних и внешних воздействиях тепла и влаги в помещении здания.

4. Разработанная методика решения математической модели ТВРП позволяет оптимизировать выбор целесообразных тепловлажностных режимов СОМ и обеспечить необходимые, допустимые и оптимальные параметры (температура и влажность) внутреннего воздуха и ограждений помещения при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги.

## ГЛАВА 3

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ И НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

#### 3.1. Цели, задачи и порядок проведения экспериментальных лабораторных и натуральных исследований

Исследования литературных источников показали, что проверку условий выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных ограждений помещения эксплуатируемого здания можно проводить существующими инженерными методами посредством аналитического решения с применением экспериментальных данных, полученных в ходе проведения натуральных исследований стационарных процессов теплопередачи с учетом влажности в различные периоды года. Такой подход оценки теплозащитных качеств ограждений позволяет проанализировать некоторые случаи сложной стационарной теплопередачи с учетом влажности в ограждениях и наличия теплопроводных включений зданий при воздействиях параметров окружающей среды.

Оценку теплозащитных качеств ограждений с учетом влажности можно осуществить с помощью ОСТ 20-2-74 «Метода проверки теплозащитных качеств и воздухопроницаемости ограждающих конструкций в крупнопанельных зданиях» [54].

В соответствии с вышеуказанным методом, необходимо проведение экспериментально-аналитических исследований с целью оценки теплозащитных качеств ограждений и их стыковых соединений в различные периоды года при периодических колебаниях параметров внутренней и наружной среды. Для этого, необходимо решение следующих задач:

- создание экспериментальной лабораторной установки согласно ОСТ 20-2-74 [ 54] с целью проверки теплозащитных качеств ограждений и их

стыковых соединений с учетом влажности в летний и зимний периоды времени для различных категорий зданий;

- проведение экспериментальных лабораторных испытаний теплозащитных качеств стыковых соединений наружных ограждений различных категорий зданий при периодических колебаниях тепла и влаги в различные периоды года;

- обработка экспериментальных данных и проведение инженерного расчета теплозащитных качеств стыковых соединений для экспериментальных участков наружных ограждений зданий с учетом данных, полученных в ходе лабораторных и натурных испытаний в различные периоды года;

- анализ расчетных экспериментальных данных теплозащитных качеств наружных ограждений панельных и кирпичных зданий и сравнение их с нормативными значениями, рекомендуемыми СНиП [73];

- определение потенциала влажности внутреннего воздуха  $\Theta_B$ , который применяется при решении разработанной математической модели тепловлажностного режима ограждений помещения с учетом полученных экспериментальных данных.

### **Экспериментальная установка и проведение лабораторных и натурных исследований наружных ограждений**

Экспериментальные лабораторные и натурные исследования проводились рядом авторов [35, 41] в городе Бишкек Кыргызской Республики в зимний и летний периоды года для стыковых соединений наружных ограждений панельного жилого дома массового строительства серии №105 и кирпичное здание лабораторного корпуса Научно-исследовательского института сейсмостойкого строительства Госстроя Кыргызской Республики.

Наружное ограждение жилого панельного дома представляет собой двухслойную конструкцию. Первый слой наружного ограждения выполнен из керамзитобетона толщиной 200 мм с плотностью 900 кг/м<sup>3</sup>, а второй слой выполнен из тяжелого бетона толщиной 100 мм плотностью 2400 кг/м<sup>3</sup>. Вертикальный железобетонный шпоночный стык наружного ограждения

панельного дома серии №105 (рисунок 3.1.1.) представляет собой шпоночное соединение, в котором сдвигающие усилия воспринимаются бетонными шпонками и арматурными связями в виде петель или сварных выпусков закрытого типа [ 35 ]. В полость шпоночных выступов вставлен вертикальный стержень на всю высоту здания, который замоноличивается тяжелым бетоном. Штыки наружных стен утеплены пенополистиролом и герметизируются мастикой [ 35].

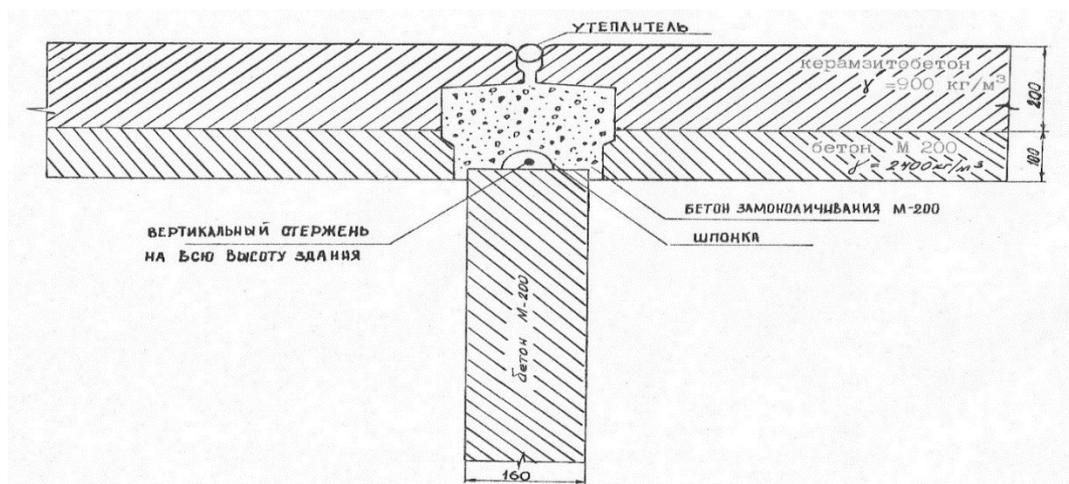


Рисунок 3.1.1 - Вертикальный железобетонный шпоночный стык закрытого типа наружного ограждения панельного дома серии №105

Чтобы осуществить оценку теплозащитных качеств ограждений и их стыковых соединений необходимо создать экспериментальную лабораторную установку и провести экспериментальные исследования с использованием аналитического метода расчета критериев оценки теплозащитных качеств конструкций с учетом влажности.

Экспериментальная установка для натуральных наблюдений - это набор приборов и термодатчиков с помощью которых можно измерять параметры внутренних и внешних климатических воздействий, влияющих на ограждение при исследовании (температура, влажность, скорость и направление ветра, суммарное солнечное облучение), а также тепловые потоки, проходящие через ограждение [54, 35].

Для измерения температуры на наружной и внутренней поверхностях ограждения применялись хромель-копелевые термопары типа ТХК, которые для непрерывной автоматической записи присоединялись к многоточечному самопишущему потенциометру (наружные термопары к 6-точечному КСП-4, а внутренние – к 12-точечному КСП-4) были выполнены авторами [35].

Общий вид и местоположение термодатчиков и измерительного блока на внутренней поверхности ограждения, а также расположение термопар на наружной поверхности ограждения и их защита от солнечного воздействия представлены на рисунке 3.1.2 согласно данных авторов [35].



Рисунок 3.1.2 - Общий вид и местоположение измерительных приборов на внутренней и внешней поверхностях ограждений лабораторного корпуса

При проведении исследования теплозащитных качеств ограждений и их стыковых соединений авторами [35] применялись тепломеры типа М для измерения тепловых потоков, которые через переключатель типа МГМ-10 присоединялись к измерительному цифровому вольтметру типа В7-21А. Для определения величины сопротивления теплопередаче наружных ограждений в зимних условиях, а также параметров теплоустойчивости и температурного режима помещений в летних условиях, термодатчики и тепломеры устанавливались с торцевой стороны дома, а также на стыке ограждения и

оконного проема. Термопары и тепломеры были размещены на большом расстоянии от стыков и оконных проемов, вне зоны теплопроводных включений.

Для проведения эксперимента по измерению температуры и теплового потока на внутренней и наружной поверхностях ограждений авторами [35, 41] была составлена схема расположения термопар и тепломеров, которая приведена на рисунке 3.1.3. Согласно ОСТ 20-2-74, термодатчики и тепломеры заэкранированы от непосредственного влияния лучистого тепла нагревательных приборов. Термодатчики закреплены к поверхности ограждения с помощью гипса, толщиной не более 2 мм.

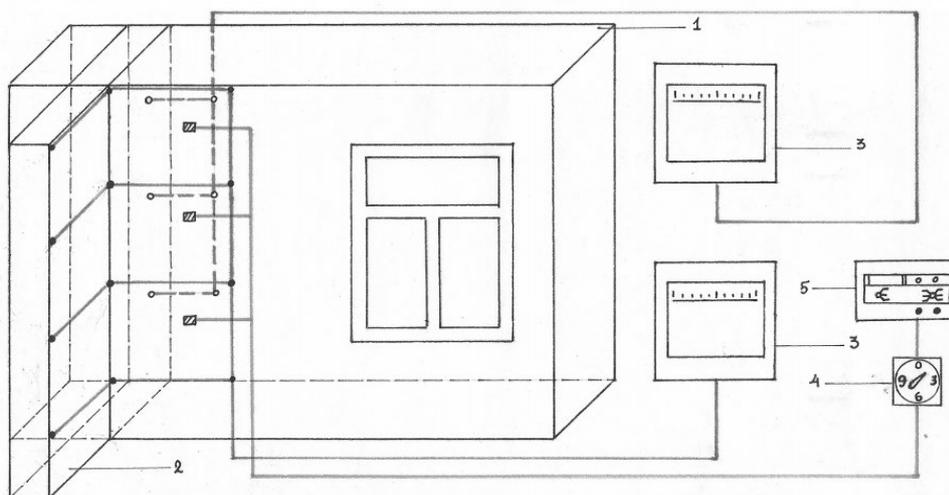


Рисунок 3.1.3 - Схема размещения термопар и термодатчиков на поверхностях ограждений

Для измерения температуры внутреннего воздуха авторами [35] применялись поверенные ртутные термометры с точностью 0,1 °С, а для измерения относительной влажности - аспирационные психрометры типа МВ-4, которые были установлены на высоте 150 см от пола. Замеры температуры и влажности осуществлялись с интервалом 6 часов в течении суток. Кроме того, непрерывная запись температуры и влажности воздуха осуществлялась при помощи недельных термографов типа М-16 Ан и гигрографов типа М21Ан, установленными на высоте 150 см от поверхности пола. Контроль за

показаниями приборов самописцев осуществлялся аспирационным психрометром.

Для измерения скорости и направления ветра авторами [35] использовался анемометр типа МС-13, расположенный на высоте 1,5 до 2 м от земли, а для измерения интенсивности суммарного солнечного облучения и отраженной от ограждения солнечной радиации измерялись альбедометром – пиранометром. Замеры проводились 4 раза в сутки. Вышеуказанные параметры, полученные в ходе эксперимента, сопоставлялись с данными метеостанции города Бишкек.

Испытания по оценке теплозащитных свойств ограждений и их стыковых соединений кирпичного и панельного зданий проводились в зимний (январь - март) и летний (июль) месяцы года с помощью приборов, аттестованных в соответствии с требованиями стандартов и ГОСТ [27-29, 52].

Экспериментальные данные для кирпичного и панельного зданий для разных периодов года, полученные в ходе натурных исследований, представлены в таблицах П 1.2 - 11.2. После обработки данных, рассчитаны их средневзвешенные величины, динамика изменения некоторых из них представлена на рисунках 3.1.4. – 3.1.13. настоящего раздела.

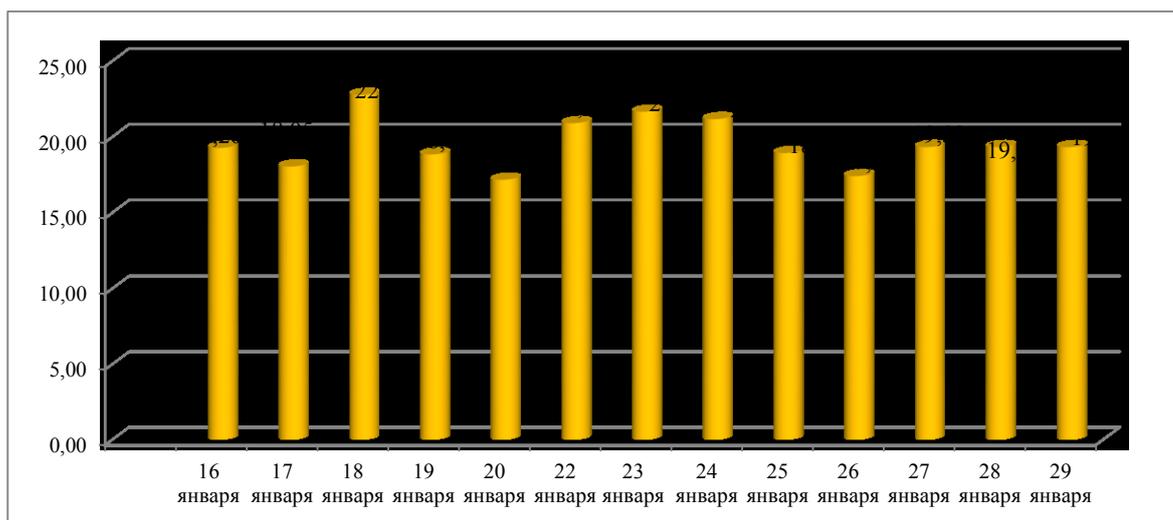


Рисунок 3.1.4 - Динамика среднесуточной зимней температуры внутреннего воздуха в помещении здания с ограждением из кирпича

На рисунке 3.1.4. показана динамика изменения среднесуточной температуры внутреннего воздуха, а на рисунке 3.1.5. – динамика изменения относительной влажности воздуха для помещения здания с ограждением из кирпича в зимний период года. Температура внутреннего воздуха в январе за рассматриваемый период времени колеблется в пределах от 17,18 °С до 22,78 °С, а относительная влажность - от 31,75 % до 40,5 % соответственно.

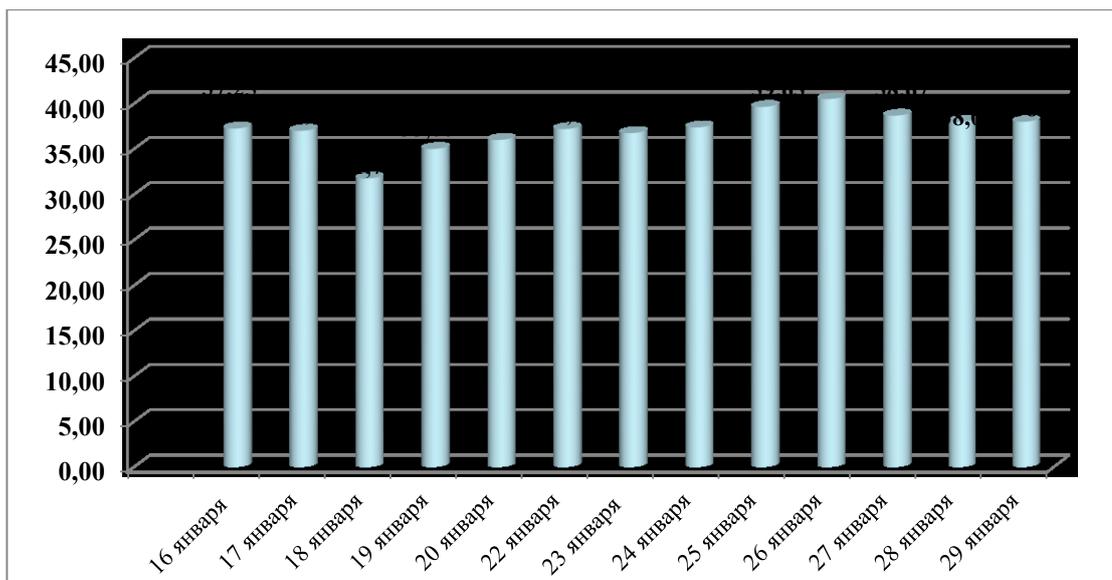


Рисунок 3.1.5 - Динамика среднесуточной зимней относительной влажности воздуха помещения здания с ограждением из кирпича

Среднемаксимальная зимняя температура наружного воздуха за период исследования составила  $t_n = -3,4^{\circ}\text{C}$  ( таблица П.2.2).

На рисунке 3.1.6. показана динамика среднесуточного теплового потока на внутренней поверхности кирпичного ограждения, величина которого колеблется в пределах от 16,09 Вт/м<sup>2</sup> до 30,78 Вт/м<sup>2</sup> , которые получены на основании данных таблицы П.1.2.

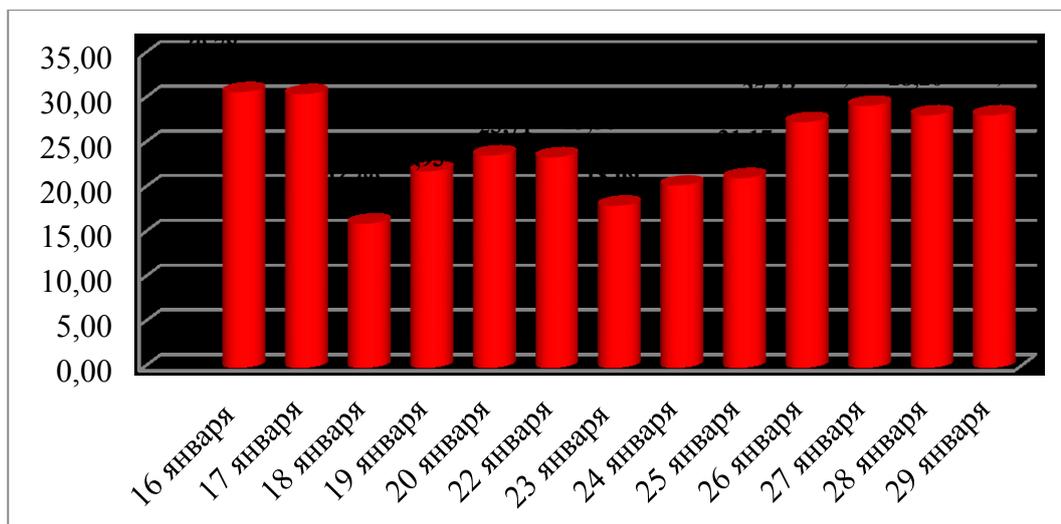


Рисунок 3.1.6 - Динамика зимнего среднесуточного теплового потока на внутренней поверхности кирпичного ограждения

Среднесуточная величина скорости ветра, температуры наружного воздуха и солнечной радиации, полученные в ходе эксперимента в зимний и летний периоды года представлены на рисунках 3.1.7., 3.1.8. и 3.1.9.

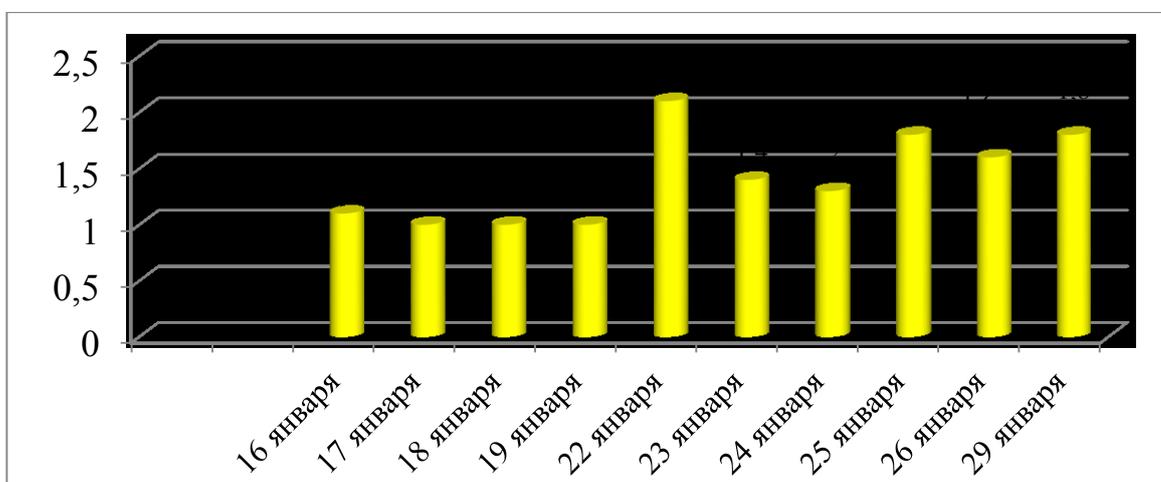


Рисунок 3.1.7 - Динамика среднесуточной скорости ветра в зимний период года

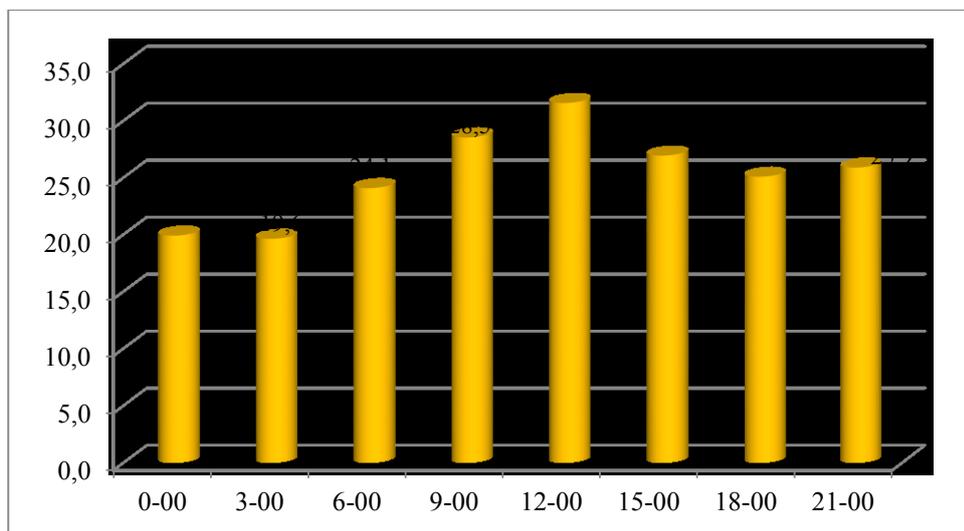


Рисунок 3.1.8 - Динамика среднесуточной температуры наружного воздуха в летний период года

На рисунке 3.1.9. показана динамика среднесуточных величин суммарной и отраженной солнечной радиации в летний период года.

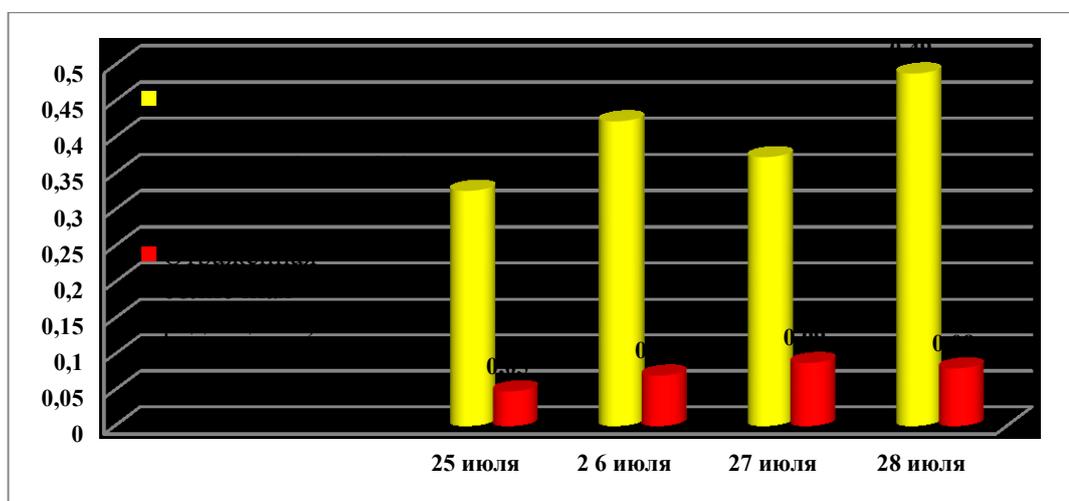


Рисунок 3.1.9 - Динамика среднесуточных величин суммарной и отраженной солнечной радиации в летний период года

На рисунках 3.1.10. и 3.1.11. показана динамика среднесуточной температуры ( $^{\circ}$  C) и относительной влажности (%) внутреннего воздуха в летний период года.

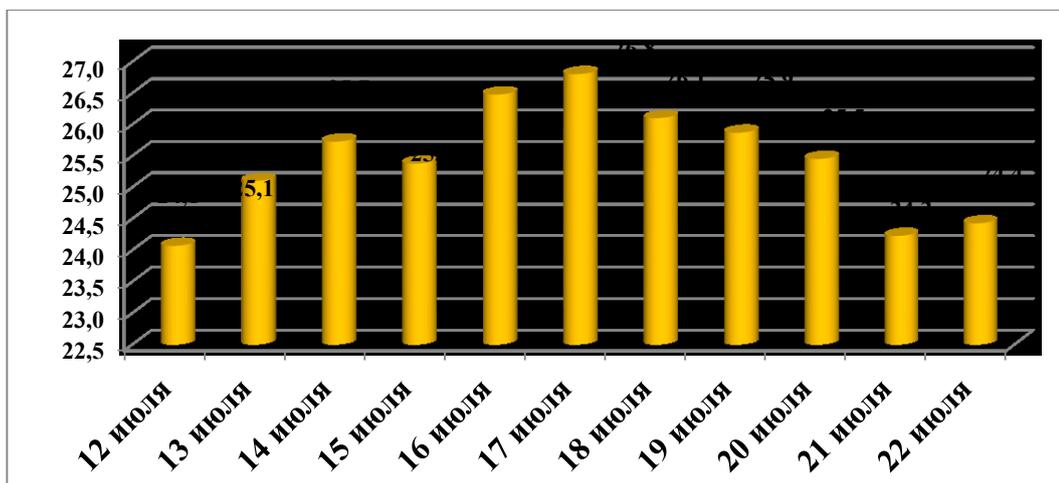


Рисунок 3.1.10 - Динамика среднесуточной температуры внутреннего воздуха в летний период года

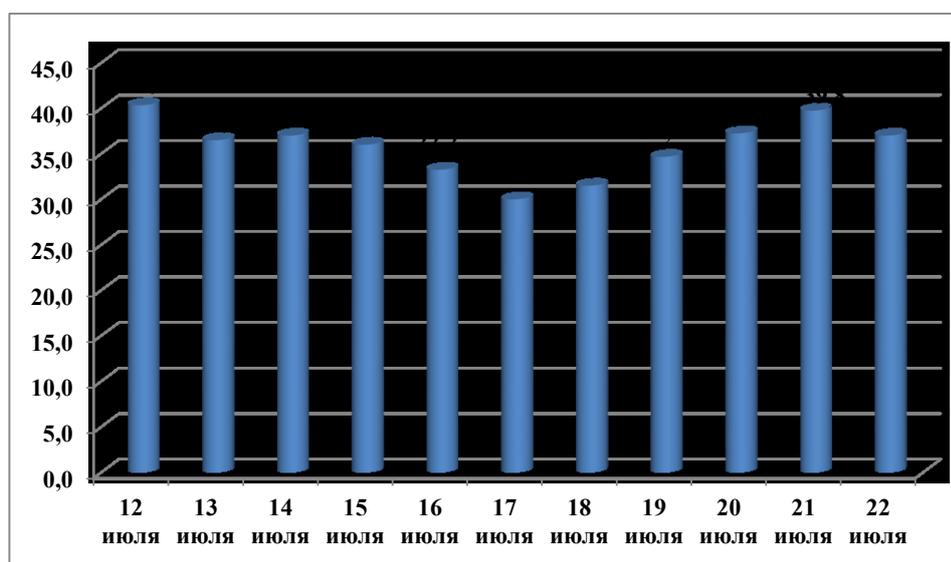


Рисунок 3.1.11 - Динамика среднесуточной относительной влажности внутреннего воздуха в летний период года

По итогам исследования были определены среднечасовые значения температуры на внутренней поверхности стены кирпичного и панельного домов в летний период года, которые представлены на рисунках 3.1.12 и 3.1.13.

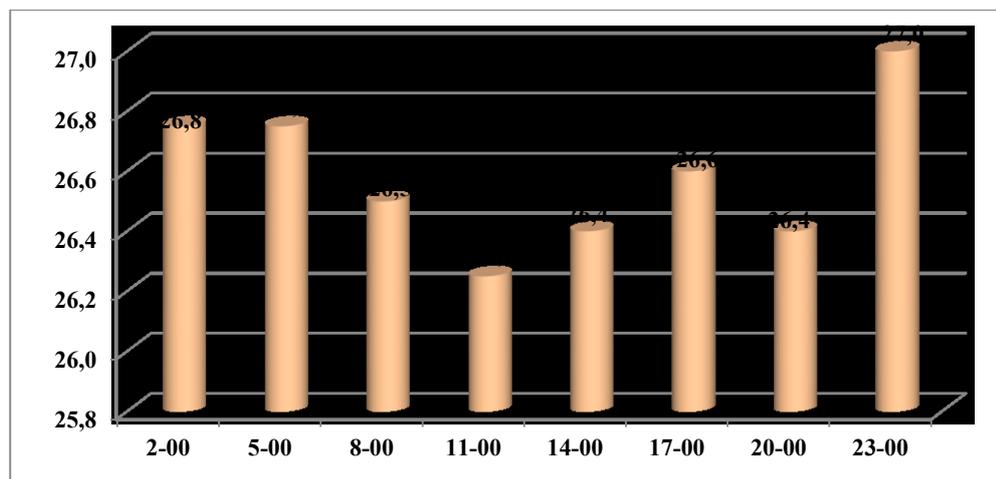


Рисунок 3.1.12 - Динамика среднечасовой температуры на внутренней поверхности стены кирпичного здания в летний период года

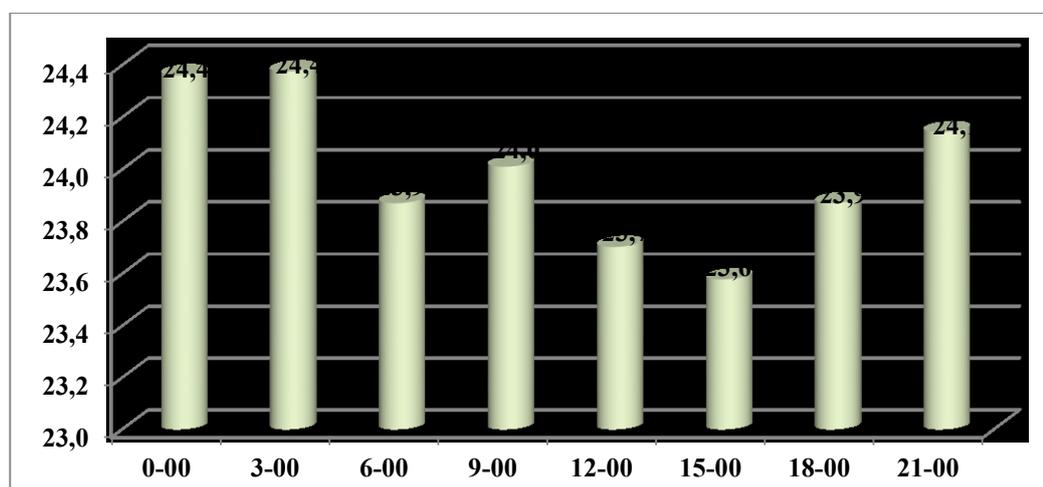


Рисунок 3.1.13 - Динамика среднечасовой температуры на внутренней поверхности стены панельного здания в летний период года

Вышеуказанные параметры внутренней и наружной окружающей среды, наружной и внутренней поверхностей ограждений кирпичного и панельного зданий применяются при оценке теплозащитных качеств стен и их стыковых соединений, а также проверке выпадения конденсата с целью увеличения долговечности зданий. Ниже приводится инженерный метод расчета теплозащитных качеств наружных ограждений и их стыковых соединений для кирпичного и панельного домов с учетом полученных данных натурных измерений для различных периодов года.

### 3.2. Инженерный метод расчета теплозащитных качеств наружных ограждений, стыковых соединений в помещениях в зимний период времени

Инженерный метод расчета критериев оценки теплозащитных качеств ограждений, основанный на теории теплоустойчивости, с учетом влажности, дает возможность получать экспериментально – аналитические данные, которые сравниваются с нормативными значениями согласно СНиП [73].

Величина термического сопротивления ограждения по исследуемому сечению при установке тепломера рядом с термодатчиком определяется по формуле (1) ОСТ 20-2-74 [54], а именно:

$$R_K = \frac{\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н}}}{Q_{\text{изм}}} - R_T \frac{\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} \quad (3.2.1)$$

где:

$\tau_{\text{в}}$  - средняя температура на внутренней поверхности ограждения за период наблюдений, °С;

$\tau_{\text{н}}$  - средняя температура наружной поверхности ограждения за период наблюдений, °С;

$t_{\text{в}}$  - средняя за период наблюдений температура внутреннего воздуха, °С;

$t_{\text{н}}$  - средняя за период наблюдений температура наружного воздуха, °С;

$Q_{\text{изм}}$  - средний за период наблюдений тепловой поток, ккал/(м<sup>2</sup>·ч);

$R_T$  - термическое сопротивление тепломера, (м<sup>2</sup>·ч·°С)/ ккал.

Величина термического сопротивления  $R_T$  составила 3,4 (м<sup>2</sup>·ч·°С)/ккал при чувствительности тепломера = 87 ккал/(м<sup>2</sup>·ч·мВ) и температуре термопары (ТХК - 1 мВ) равной 25,3 °С .

Фактический тепловой поток  $Q_{\text{ф}}$  (ккал/(м<sup>2</sup>·ч)) для стены без воздушной прослойки определяется по формуле:

$$Q_{\text{ф}} = \frac{\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н}}}{R_K}, \quad (3.2.2)$$

Величина сопротивления тепловосприятию внутренней поверхности стены  $R_{\text{в}}$  ( м<sup>2</sup>·ч·°С/ккал) определяется по формуле:

$$R_{\epsilon} = \frac{t_{\epsilon} - \tau_{\epsilon}}{Q_{\phi}}, \quad (3.2.3)$$

Полученное значение сопротивления тепловосприятию внутренней поверхности стены  $R_{\epsilon}$ , рассчитанное по формуле (3.2.3) сравнивается с нормативной величиной  $R^{\text{норм}}$  по СНиП, которое должно быть больше нормативной величины.

Сопротивление теплоотдаче у наружной поверхности стены  $R_n$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}$ )/ккал определяется по формуле (6) ОСТ 20-2-74 [54], а именно:

$$R_n = \frac{\tau_n - t_n}{Q_{\phi}}, \quad (3.2.4)$$

Расчетная величина сопротивления теплоотдаче  $R_n$  сравнивается с нормативной величиной по СНиП [73].

Величина термического сопротивления для отдельных слоев стены  $R_{\text{сл}}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}$ /ккал определяется по формуле (7) ОСТ 20-2-74 [54], а именно:

$$R_{\text{сл}} = \frac{\Delta \tau}{Q_{\phi}}, \quad (3.2.5)$$

где:  $\Delta \tau$  - перепад температуры на границах каждого слоя,  $\text{°C}$ .

Так как, температуру на границах слоя определить сложно, величина сопротивления слоя  $R_{\text{сл}}$  принимается равной экспериментальной величине термического сопротивления ограждения  $R_K$ , определяемая по формуле (3.2.1).

Тогда, при нормативных величинах внутреннего сопротивления  $R_v$  и наружной теплоотдаче  $R_n$  по СНиП и при термическом сопротивлении ограждения  $R_K$  согласно формуле (3.2.1) величина общего сопротивления теплопередаче стены  $R_o$  рассчитывается по формуле:

$$R_o = R_{\epsilon} + R_K + R_n, \quad (3.2.6)$$

Расчетное значение сопротивления теплопередаче для исследуемого участка стены  $R_o^{\text{расч}}$  определяется по формуле:

$$R_o^{\text{расч}} = \frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (3.2.7)$$

где:  $R_n = \frac{\delta_n}{\lambda_n}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ , при этом коэффициент теплопроводности

$\lambda$  материала принимается согласно СНиП.

Расчетная величина сопротивления теплопередачи для кирпичной стены равняется  $R_o^{расч} = 0,83 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ , где сопротивление теплопередаче первого

кирпичного слоя  $R_1 = \frac{0,375}{0,60} = 0,63 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ , а второго слоя, выполненного из

штукатурки  $R_2 = \frac{0,01}{0,60} = 0,02 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ .

Расчетная величина сопротивления теплопередачи для панельного ограждения составляет  $R_o^{расч} = 1,05 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ . При этом, для первого слоя из

керамзитобетона при плотности  $900 \text{ кг} / \text{м}^3$  сопротивление теплопередачи равно

$R_1 = \frac{0,200}{0,25} = 0,80 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ , а для второго слоя из тяжелого бетона

сопротивление теплопередачи равно  $R_2 = \frac{0,100}{1,50} = 0,07 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ .

Фактическое расчетное сопротивление теплопередаче  $R_o^{расч}$  стены сравнивается с величиной требуемого сопротивления теплопередачи  $R_o^{мп}$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ ), которое рассчитывается по формуле :

$$R_o^{мп} = \frac{n(t_{в} - t_{н})}{\Delta t^n \alpha_{в}}, \quad (3.2.8)$$

где:  $\Delta t^n$  - разница между температурами внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждения согласно СНиП [73];

$n$  - коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху согласно СНиП;

$t_{в}$  - расчетная температура внутреннего воздуха ( $\text{°C}$ );

$\alpha_{в}$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения согласно СНиП [73];

$t_n$  – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года согласно СНиП [73].

Тогда, требуемое сопротивление теплопередаче экспериментальных стен кирпичного и панельного зданий  $R_o^{mp} = 0,94 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ .

Величина тепловой инерции  $D$  экспериментальных участков стен исследуемых зданий определяется по формуле (53) СП КР 23-101-2013 [71, с. 40], а именно:

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_n S_n \quad (3.2.9)$$

В результате, при средней температуре наиболее холодных трех суток г. Бишкек ( $-24,5 \text{ °C}$ ) расчетная тепловая инерция для исследуемых участков кирпичного здания равна  $D = 5,04$ , а для панельного –  $4,04$ .

Вышеуказанные экспериментальные и расчетные параметры исследуемых участков ограждения кирпичного и панельного зданий и окружающей среды приведены в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1. - Экспериментальные и расчетные параметры ограждений и окружающей среды

№ п/п	Наименование	Размерность, обозначение	кирпичное ограждение	панельное ограждение
1	температура внутренней поверхности ограждения	$\tau_B, \text{°C}$	13,1	15,7
2	температура наружной поверхности ограждения	$\tau_H, \text{°C}$	-0,4	1,9
3	температура внутреннего воздуха	$t_B, \text{°C}$	19,8	21,7
4	температура наружного воздуха	$t_H, \text{°C}$	-3,4	1,7

5	относительная влажность воздуха	$\varphi$ , %	37	37
6	тепловой поток	ккал/м <sup>2</sup> ·ч·мВ	87	87
7	измеренный тепловой поток	$Q_{изм}$ , Вт/м <sup>2</sup> ккал/м <sup>2</sup> ·ч	23,06 19,83	27,62 23,75
8	термическое сопротивление тепломера	$R_T$ м <sup>2</sup> ·ч·°C/ккал	3,4	3,4
9	термическое сопротивление	$R_K$ м <sup>2</sup> ·ч·°C/ккал;	0,51	0,38
10	фактический тепловой поток	$Q_{ф}$ , ккал/м <sup>2</sup> ·ч	26,47	36,22
11	сопротивление тепловосприятию у внутренней поверхности ограждения	$R_{в}$ , м <sup>2</sup> ·ч·°C/ккал	0,253	0,166
12	сопротивление теплоотдачи у наружной поверхности ограждения	$R_{н}$ , м <sup>2</sup> ·ч·°C/ккал	0,11	0,01
13	сопротивление теплопередаче конструкции	$R_o$ м <sup>2</sup> ·ч·°C/ккал	0,69	0,56
14.	расчетное сопротивление теплопередачи	$R_o^{расч}$ м <sup>2</sup> ·ч·°C/ккал	0,83	1,05
15	Требуемое сопротивление теплопередачи	$R_o^{тр}$ м <sup>2</sup> ·ч·°C/ккал	0,94	0,94

При проверке теплозащитных качеств наружных ограждений в зимний период года за критерий оценки принимается экспериментальная величина температуры на внутренней поверхности ограждений, которая определяется с учетом расчетных температурных условий.

При этом, температура на внутренней поверхности ограждения при расчетных температурных условиях  $\tau'_g$ , °С, определяется по формуле (10) ОСТ 20-2-74 [54, с. 13], а именно:

$$\tau'_g = t_g - (t_g - \tau'_g) \frac{\alpha_g}{\alpha'_g}, \quad (3.2.10)$$

где:

$t_g$  – расчетная температура внутреннего воздуха согласно СНиП [73];

$\alpha_g = \alpha_k + \alpha_l$  – коэффициент тепловосприятия внутренней поверхности ограждения при температурах, полученных в ходе эксперимента  $t_g^{эксп}$  и  $\tau_g^{эксп}$ , ккал/(м<sup>2</sup>·ч·°С);

$\alpha'_g = \alpha'_k + \alpha'_l$  – то же, при  $t_g$  и  $\tau_g$ , ккал/(м<sup>2</sup>·ч·°С);

$\tau'_g$  – температура внутренней поверхности ограждения при  $t_g$  и  $t_n$ , без учета изменения коэффициента тепловосприятия, определяется по формуле:

$$\tau'_g = t_g - (t_g^{эксп} - \tau_g^{эксп}) \frac{t_g - t_n}{t_g^{эксп} - t_n^{эксп}}, \quad (3.2.11)$$

$\alpha_k$  и  $\alpha'_k$  – коэффициенты конвективного теплообмена на внутренней поверхности соответственно при  $(t_g^{эксп} - \tau_g^{эксп})$  и  $(t_g - \tau'_g)$ , определяемые согласно ОСТ 20-2-74 [54, с. 14]

$\alpha_l$  и  $\alpha'_l$  – коэффициенты лучистого теплообмена на внутренней поверхности соответственно при  $(t_g^{эксп} - \tau_g^{эксп})$  и  $(t_g - \tau'_g)$ , определяемые согласно ОСТ 20-2-74 [54, с. 15]

$t_g^{эксп}$  – средняя за период наблюдений температура внутреннего воздуха на высоте 150 см в центре помещения, °С;

$\tau_6^{эксп}$  – средняя за период наблюдений температура внутренней поверхности ограждения в рассматриваемой точке, °С;

$t_H$  – расчетная температура наружного воздуха, которая равна -24,5°С;

$t_H^{эксп}$  – средняя за период наблюдений температура наружного воздуха, °С.

Величина температуры на внутренней поверхности ограждения, рассчитанная по формуле (3.2.11) сравнивается с температурой точки росы  $t_p$  воздушной среды, которая равна 10,2°С согласно Психрометрической таблице при температуре и относительной влажности воздуха, полученных в ходе исследования.

Вышеуказанные экспериментальные и расчетные параметры внутренней поверхности ограждений кирпичного и панельного зданий и окружающей среды представлены в таблице 3.2.2.

Таблица 3.2.2. - Экспериментальные и расчетные параметры внутренней поверхности ограждения

№ п/п	Наименование	Размерность, обозначение	кирпичное ограждение	панельное ограждение
1	температура внутреннего воздуха	$t_B, ^\circ\text{C}$	18	15,7
2	температура внутренней поверхности ограждения	$\tau_6^{эксп}, ^\circ\text{C}$	13,1	15,7
3	экспериментальная температура внутреннего воздуха	$t_a^{y\ddot{e}n\ddot{u}}, ^\circ\text{C}$	19,8	21,7
4	температура наружного воздуха	$t_H, ^\circ\text{C}$	-24,6	-24,5
5	экспериментальная температура наружного воздуха	$t_i^{y\ddot{e}n\ddot{u}}, ^\circ\text{C}$	-3,4	1,7°С
6	температура внутренней поверхности ограждения без	$\tau'_a, ^\circ\text{C}$	5,7	5,3

	учета изменения коэффициента тепловосприятия			
7	коэффициент конвективного теплообмена на внутренней поверхности ограждения	$\alpha_k$ , ккал/м <sup>2</sup> ·ч·°С	2,65	2,6
8	коэффициент конвективного теплообмена на внутренней поверхности ограждения без учета изменения коэффициента тепловосприятия	$\alpha'_k$ , ккал/м <sup>2</sup> ·ч·°С	3,3	3,3
9	коэффициент лучистого теплообмена на внутренней поверхности ограждения	$\alpha_l$ , ккал/м <sup>2</sup> ·ч·°С	3,6	3,6
10	коэффициент лучистого теплообмена на внутренней поверхности ограждения без учета изменения коэффициента тепловосприятия	$\alpha'_l$ , ккал/м <sup>2</sup> ·ч·°С	3,8	3,8
11	коэффициент тепловосприятия внутренней поверхности при температуре $t_g^{эксн}$	$\alpha_{в,}$ , ккал/м <sup>2</sup> ·ч·°С	6,25	6,2
12	коэффициент тепловосприятия внутренней поверхности при температуре $\tau_g^{эксн}$	$\alpha'_{в,}$ , ккал/м <sup>2</sup> ·ч·°С	7,1	3,8
13	экспериментальная расчетная температура внутренней поверхности	$\tau_g^{расч}$ °С	7,2	6,9°С
14	температура точки росы	$t_{рос.}$ °С	10,2	10,2

### **3.3. Проведение экспериментальных испытаний и расчет теплозащитных качеств стыковых соединений наружных ограждений в летний период года**

В данном разделе описан порядок проведения экспериментальных испытаний и аналитический расчет критериев оценки теплозащитных качеств наружных ограждений с целью проверки стыковых соединений ограждений на теплоустойчивость в летний период года.

Экспериментальные исследования теплозащитных качеств наружных ограждений помещений объектов исследования в летний период времени выполнялись согласно ОСТ 20-2-74 [54, с. 16, 17] при следующих режимах:

- круглосуточно закрытых дверях и окнах, снаружи защищенных солнцезащитными устройствами, а также при максимально возможной воздухоизоляции помещения для определения теплоустойчивости ограждений;
- при ночном проветривании, но закрытых и защищенных солнцезащитными устройствами окнах днем – для определения температурного режима помещений.

При исследовании теплозащитных качеств ограждений в летний период времени использовалась такая же схема, как и в зимний период (рисунок 3.1.3.), но без использования термодатчиков на поверхностях ограждений. При проведении натурных исследований были определены следующие параметры:

- температура внутренних и наружных поверхностей;
- температура наружного и внутреннего воздуха;
- скорость и направление ветра;
- суммарное солнечное облучение и альбедо поверхности.

Для контроля параметров наружного воздуха (температура, влажность, скорость и направление ветра, солнечная радиация) использовались данные метеостанции г.Бишкек. Среднее значение температуры наружного воздуха за летний период наблюдений составило 25,9 °С.

Параметры внутреннего и наружного воздуха (температура и влажность), суммарное солнечное облучение, измеренные приборами при проведении натуральных исследований в помещениях зданий с ограждениями из кирпича и панели приведены в таблицах П 1.2 – П 10. 2.

Целью экспериментальных испытаний является определение величины затухания колебаний условной температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции  $V_{t.n. усл}^{эксп}$ , для дальнейшего сравнения ее с расчетной ( $V^{расч}$ ) и нормативной допустимой величиной ( $V^{доп}$ ) затухания колебаний температуры в ограждении.

Согласно ОСТ 20-2-74 [54, с. 20, 21,22], величина затухания колебаний температуры наружного воздуха определяется по формуле:

$$V_{t.n. усл}^{эксп} = \frac{A_{t.n. усл}^{эксп}}{A_{\tau_0 (тн. усл)}^{эксп}}, \quad (3.3.1)$$

где:  $A_{t.n. усл}^{эксп}$  – амплитуда колебаний температуры наружного воздуха с учетом солнечной радиации за период наблюдений ( $^{\circ}\text{C}$ ), принятая по экспериментальным данным и определяется по формуле:

$$A_{t.n. усл}^{эксп} = \left[ \frac{\rho(J_{\max} - J_{cp})}{\alpha_n} + A_{t_n}^{эксп} \right] \mu, \quad (3.3.2)$$

где:

$J_{\max}$  и  $J_{cp}$  – максимальное и среднесуточное значение суммарной солнечной радиации на наружной поверхности ограждения в течение наблюдения, приведенные в таблице П 9.2.

$\rho$  – коэффициент поглощения солнечной радиации наружной поверхностью ограждения, определяемый по формуле:

$$\rho = 1 - \alpha,$$

$\alpha$  – альbedo наружной поверхности ограждения принимается по данным Кыргызгидромета.

При таких значениях, коэффициент поглощения солнечной радиации наружной  $\rho = 1 - 0,17 = 0,83$ .

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции  $\alpha_n$  (ккал/( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}$ )) определяется по формуле:

$$\alpha_n = 5 + 10\sqrt{g},$$

Средневзвешенная величина скорости ветра, принимаемая согласно данным, полученным в ходе натурных исследований за период наблюдений и принята из таблиц П 4.2, П 6.2. Тогда, при вышеуказанных параметрах, среднее значение коэффициента теплообмена на наружной поверхности равно:

а) для кирпичного ограждения:

1) при  $g' = 0,61$  м/с ( $h = 0,5$  м);  $\alpha_n = 12,8$  ккал/ $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}$ ;

2) при  $g'' = 1,22$  м/с ( $h = 2,0$  м);  $\alpha_n = 16,0$  ккал/ $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}$ ;

$$\alpha_{cp} = \frac{12,8 + 16,0}{2} = 14,40 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} = 0,017 \text{ кВт/м}^2 \cdot \text{°C}$$

б) для панельного ограждения:

$$g_{cp} = 1,7 \text{ м/с}; \quad \alpha_n = 18,04 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} = 0,021 \text{ кВт/м}^2 \cdot \text{°C}$$

Амплитуда колебания температуры наружного воздуха за рассматриваемый период наблюдений ( $A_{t,n}^{эксн}$ ) определяется как разница между среднемаксимальной и средней температурой наружного воздуха согласно табл. П 1.2. и равна для кирпичной стены –  $5,9$   $\text{°C}$ , а для панельной –  $3,4$   $\text{°C}$ .

Коэффициент  $\mu$ , учитывающий несовпадение во времени максимумов температуры наружного воздуха  $t_{n,max}$  и суммарной солнечной радиации на наружную поверхность наружных ограждений  $J_{max}$ , определяется по ОСТ 20-2-74 [54, с. 23] и для кирпичного и панельного ограждений равен  $\mu = 0,92$ .

Расчетная эквивалентная амплитуды колебаний температуры  $A_{t,экв}$  определяется по нижеуказанной формуле:

$$A_{t,экв} = \frac{\rho(J_{max} - J_{cp})}{\alpha_n}$$

Тогда эквивалентная амплитуда колебаний температуры для кирпичной стены равна  $20,5^{\circ}\text{C}$ , а для панельной -  $20,2^{\circ}\text{C}$ .

Максимальная величина амплитуды колебания температуры наружного воздуха за самый жаркий период года (июль) равна  $23,3^{\circ}\text{C}$  согласно СНиП.

При соотношении  $\frac{A_{t, \text{экв}}}{A_{t, \text{н}}} = 0,89$ , градиент амплитуды температур для кирпичного здания равен  $\Delta A = A_{t, \text{н}} - A_{t, \text{экв}} = 2,9^{\circ}\text{C}$ , а для панельного – при соотношении  $\frac{A_{t, \text{экв}}}{A_{t, \text{н}}} = 0,87$ , градиент равен  $\Delta A = A_{t, \text{н}} - A_{t, \text{экв}} = 3,1^{\circ}\text{C}$ .

Амплитуда колебаний условной температуры наружного воздуха с учетом солнечной радиации на наружных поверхностях ограждений, определяется по формуле (3.3.2) и для кирпичной стены равна  $A_{t, \text{н. усл}}^{\text{эксп}} = 24,3^{\circ}\text{C}$ , а для панельной -  $A_{t, \text{н. усл}}^{\text{эксп}} = 21,7^{\circ}\text{C}$  соответственно.

Амплитуда колебания температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции по отношению к колебаниям условной температуры наружного воздуха согласно ОСТ 20-2-74 [54, с. 24] определяется по формуле:

$$A_{\tau_{\theta}(t, \text{н. усл. } t_{\theta})}^{\text{эксп}} = \sqrt{A_{\tau_{\theta}(t, \text{н. усл. } t_{\theta})}^2 - 2A_{\tau_{\theta}(t, \text{н. усл. } t_{\theta})} \frac{A_{t_{\theta}}}{v_{(t_{\theta})}} \cos 15(z_1 - z_2) + \left( \frac{A_{t_{\theta}}}{v_{(t_{\theta})}} \right)^2}, \quad (3.3.3.)$$

$A_{\tau_{\theta}(t, \text{н. усл. } t_{\theta})}$  – амплитуда колебания температуры внутренней поверхности ограждения определяется как разность среднемаксимальной и средней температуры на внутренней поверхности ограждений  $\tau_{\theta}$ ,  $^{\circ}\text{C}$  для кирпичного и панельного дома, которые представлены в таблицах П 10.2 и П 11.2., рассчитывается по формуле (3.3.3.) и равна для кирпичного ограждения  $A_{\tau_{\theta}(t, \text{н. усл. } t_{\theta})} = 0,71^{\circ}\text{C}$ , а для панельной -  $A_{\tau_{\theta}(t, \text{н. усл. } t_{\theta})} = 1,3^{\circ}\text{C}$ .

$A_{t_{\theta}}$  – экспериментальная амплитуда колебания температуры внутреннего воздуха рассчитывается на основании данных, приведенных в Табл. П 1.2. и равна для кирпичного здания  $A_{t_{\theta}} = 1,5^{\circ}\text{C}$ , для панельного -  $A_{t_{\theta}} = 2,5^{\circ}\text{C}$ .

Величина затухания амплитуды колебания температуры внутреннего воздуха при переходе ее от воздуха к внутренней поверхности  $v_{(тв)}$  согласно ОСТ 20-2-74 [54, с. 24] вычисляется по формуле:

$$v_{(тв)} = 1 + \frac{J_{в}}{\alpha_{в}}, \quad (3.3.4.)$$

где:  $J_{в}$  – коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения, (Вт/м<sup>2</sup>·°С) рассчитывается по формулам СП 23-101-2013 [71, с. 41] :

– для первого слоя:

$$J_1 = \frac{R_1 \rho_1^2 + \alpha_{в}}{1 + R_1 \alpha_{в}}, \quad (3.3.5)$$

– для  $i$ -го слоя:

$$J_i = \frac{R_i \rho_i^2 + J_{i-1}}{1 + R_i J_{i-1}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С},$$

В вышеуказанной формуле  $\alpha_{в}$  – коэффициент теплоперехода у внутренней поверхности ограждения равен 7,56 Вт/м<sup>2</sup>·°С.

По итогам расчета, величина сопротивления теплопередачи первого слоя двухслойного кирпичного ограждения равна  $R_1 = 0,375/0,70 = 0,54$  м<sup>2</sup>·°С/Вт при коэффициенте теплоусвоения  $J_1 = 10,5$  Вт/м<sup>2</sup>·°С, толщине  $\delta_1 = 0,375$  м, коэффициенте теплопроводности  $\lambda_1 = 0,70$  Вт/м·°С и плотности  $\rho_1 = 9,2$  Вт/м<sup>2</sup>·°С.

Для второго слоя (штукатурка) величина сопротивления теплопередачи равна  $R_2 = 0,01/0,7 = 0,01$  м<sup>2</sup>·°С/Вт при толщине  $\delta_2 = 0,01$  м, коэффициенте теплопроводности  $\lambda_2 = 0,70$  Вт/м·°С и плотности  $\rho_2 = 8,95$  Вт/м<sup>2</sup>·°С.

При вышеуказанных параметрах и  $J_{в} = J_2 = 10,1$  Вт/м<sup>2</sup>·°С, величина затухания амплитуды колебания температуры внутреннего воздуха равна  $v_{(тв)} = 1 + 10,1/7,56 = 2,34$ .

Для первого слоя (керамзитобетон) двухслойного ограждения панельного дома толщиной  $\delta_1 = 0,200$  м, теплопроводностью  $\lambda_1 = 0,29$  Вт/м·°С, плотностью  $\rho_1 = 4,43$  Вт/м<sup>2</sup>·°С и коэффициенте теплоусвоения  $J_1 = 3,39$  Вт/м<sup>2</sup>·°С величина сопротивления теплопередачи равна  $R_1 = 0,69$  м<sup>2</sup>·°С/Вт, а для второго слоя

(тяжелый бетон) толщиной  $\delta_2=0,100$  м,  $\lambda_2 = 1,74$  Вт/м·°С и плотности  $\rho_2 = 16,67$  Вт/м<sup>2</sup>·°С величина сопротивления теплопередачи равна  $R_2 = 0,06$  м<sup>2</sup>·°С/Вт.

Величина затухания амплитуды колебания температуры внутреннего воздуха при переходе ее от воздуха к внутренней поверхности ограждения равна  $\nu_{(t_6)} = 1+16,72/7,56 = 3,21$  при условии если  $J_b = J_2 = 16,72$  Вт/м<sup>2</sup>·°С.

где:  $z_1$  – время наступления максимума температуры внутренней поверхности  $\tau_e^{\max}$  ограждения, ч;

$z_2$  – время наступления максимума температуры внутреннего воздуха  $t_6^{\max}$ , ч, которые определяются и принимаются равными:  $15(z_1 - z_2)$  – град.

а)  $z_1 = 3$  ч;  $z_1 = 2$  ч;

б)  $z_1 = 20$  ч;  $z_1 = 18$  ч;

При вышеуказанных параметрах, амплитуда колебания температуры внутренней поверхности ограждения кирпичной стены равна  $A_{\tau_{\theta(t,n,ycl)}}^{\text{эксп}} = 0,73$ , и для панельного ограждения -  $A_{\tau_{\theta(t,n,ycl)}}^{\text{эксп}} = 0,73$ .

Экспериментальная величина затухания для кирпичной стены составляет  $\nu_{(t,n,ycl)}^{\text{эксп}} = \frac{24,3}{0,73} = 33,3$  и для панельного -  $\nu_{(t,n,ycl)}^{\text{эксп}} = \frac{21,7}{0,73} = 29,8$ . Значение величины затухания колебаний условной температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции  $\nu_{(t,n,ycl)}^{\text{эксп}}$ , полученное по формуле (3.3.1) сравнивается с расчетной величиной  $\nu^{\text{расч}}$ , определяемой по формуле (47) СП 23-101-2013 [71, с. 37, 38]:

$$\nu^{\text{расч}} = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(S_1 + \alpha_6)(S_2 + J_1) \dots (S_n + J_{n-1})(\alpha_n + J_n)}{(S_1 + J_1)(S_2 + J_2) \dots (S_n + J_n)\alpha_n}, \quad (3.3.6)$$

и с допустимой величиной затухания колебаний условной температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции  $\nu^{\text{дон}}$ , которая вычисляется по формуле (20) ОСТ 20-2-74 [54, с. 25]:

$$\nu^{\partial on} = \frac{A_{t.n.ysl}^{расч}}{A_{\tau_e}^n}, \quad (3.3.7.)$$

где:  $A_{t.n.ysl}^{расч}$  – расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха в °С с учетом солнечной радиации (30,4 °С), которая рассчитывается по формуле (49) СП 2-101-2013 [71, с. 38]:

$$A_{t.n.ysl}^{расч} = 0,5A_{тн} + \frac{\rho(J_{max} - J_{cp})}{\alpha_n}, \quad (3.3.8.)$$

$$A_{t.n.ysl}^{расч} = 0,5 \cdot 23,3 + \frac{0,7(748 - 175)}{21,36} = 30,4 \text{ °С}$$

При этом, максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле месяце  $A_{тн}$  равна 23,3°С, коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждения  $\rho = 0,7$ , максимальное и среднее значения суммарной солнечной радиации равны -  $J_{max} = 748 \text{ Вт/м}^2$  и  $J_{cp} = 175 \text{ Вт/м}^2$  соответственно.

Нормируемая амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждения  $A_{\tau_e}^n$ , определяется по формуле:

$$A_{\tau_e}^n = \frac{A_{t.n.ysl}^{расч}}{\nu}, \quad (3.3.9)$$

где:  $\nu$  – величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха  $A_{t.n.ysl}^{расч}$  в ограждающей конструкции, определяемая по формуле (3.3.6).

В расчетах, коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения для летнего периода определяется по формуле (48) СП 23-101-2013 [71, с. 38]:

$$\alpha_n = A(5 + 10\sqrt{\vartheta}),$$

где:  $\vartheta$  – минимальная из средних значений скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которых составляет 16% и более, но не менее 1 м/с и принимается согласно СНиП. При полученных параметрах, коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждений равен  $\alpha_n = 21,36 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}$ .

Тогда, для кирпичной стены расчетная величина затухания  $\nu^{расч} = 27,8$  при тепловой инерции  $D = 5,05$ , а для панельной - при  $D = 4,06$  величина  $\nu^{расч} = 24,8$ . Нормативная величина амплитуды колебаний температуры на внутренней поверхности ограждения кирпичного здания равна  $A_{t_e}^н = \frac{30,4}{27,8} = 1,09$  °С, а величина затухания допустимой амплитуды колебаний температуры равна  $\nu^{дон} = \frac{30,4}{1,09} = 27,9$ , а для панельного здания - нормативная величина амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности равна  $A_{t_e}^н = \frac{30,4}{24,8} = 1,23$ , а величина затухания допустимой амплитуды колебаний температуры наружного воздуха -  $\nu^{дон} = \frac{30,4}{1,23} = 24,8$ .

В результате обработки экспериментальных данных при рассматриваемых режимах исследования (в ночное время - проветривание, а днем – при закрытых окнах и дверях, а на окнах - солнцезащитные устройства) определяется среднемаксимальная температура внутреннего воздуха независимо от того, к какому часу суток они относятся. Тогда, для кирпичного помещения среднемаксимальная экспериментальная температура воздуха  $t^{сп. макс.} = 29,7$  °С, а для панельного –  $t^{сп. макс.} = 26,7$  °С. Среднемаксимальная температура внутреннего воздуха, полученная при натуральных испытаниях, сопоставляется с нормативной температурой внутреннего воздуха равной  $t_e^{норм} = 28$  °С.

Для сравнения расчетных параметров с экспериментальными данными применяется инженерный метод расчета теплозащитных качеств стыковых соединений наружных ограждений согласно методики ОСТ 20-2-74 [54], по которой проводится оценка теплозащитных качества исследуемых участков стыковых соединений кирпичного и панельного помещения зданий.

Исследования также проведены для стыковых соединений панельного ограждения толщиной  $\delta = 0,3$  м, толщина внутреннего слоя которого равна  $\delta_e = 0,1$  м, коэффициент теплопроводности  $\lambda_l = 1,74$  Вт/м·°С, удельная теплоемкость  $\gamma = 2400$  кг/м<sup>3</sup>, плотность  $\rho = 16,67$  Вт/м<sup>2</sup>·°С, а сопротивление теплопередачи

$R = 0,06 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Толщина наружного слоя стыкового соединения равна  $\delta_n = 0,2 \text{ м}$  с коэффициентом теплопроводности равным  $\lambda = 0,29 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$ , удельной теплоемкостью  $\gamma = 900 \text{ кг}/\text{м}^3$ , плотностью  $\rho = 4,43 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$  и сопротивлением теплопередачи  $R = 0,69 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . В качестве теплоизоляционного материала панельного ограждения используется полистирол толщиной  $\delta = 0,05 \text{ м}$  с коэффициентом теплопроводности равным  $\lambda = 0,04 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$  и плотностью  $\gamma = 40 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

При расчетах, температура внутреннего воздуха принята равной  $t_g = 18^\circ\text{C}$ , относительная влажность в помещении за период наблюдений составила  $\phi^{\text{эксн}} = 37\%$ , температура наружного воздуха  $t_{н1} = -23^\circ\text{C}$  и холодной 5-ти дневки -  $t_{н5} = -26^\circ\text{C}$ , а градиент температуры  $\Delta t^{\text{н}} = 6^\circ\text{C}$ , коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности ограждения  $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ , а с внутренней поверхности -  $\alpha_g = 8,7 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ .

Средняя температура наружного воздуха равна  $t_n = -24,5^\circ\text{C}$ , которая рассчитывается по формуле:

$$t_n = \frac{t_{н1} + t_{н5}}{2} = -24,5^\circ\text{C};$$

Требуемое сопротивление теплопередаче, определяется по формуле (3.2.8) и равна  $0,81 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч}^0\text{C)}/\text{ккал}$ , а тепловая инерция, определяемая по формуле (3.2.9) равна  $D = 4,06$ . При этом, сопротивление теплопередачи стыкового соединения ограждения принимается равной величине требуемого сопротивления, т.е.  $R_o = R_o^{mp}$ ,

Требуемое сопротивление теплопередаче стыкового соединения  $R_{occ}^{mp}$  определяется по формуле:

$$R_{occ}^{mp} = \frac{n}{c \cdot w} \ln \frac{A-1}{A - \exp b}, \quad (3.3.10)$$

где:  $A$  определяется по формуле:

$$A = \frac{\tau_g^{mp} - t_n}{\alpha_g (t_g - t_n)}; \quad (3.3.11)$$

Согласно формуле (3.3.10.), требуемое сопротивление теплопередачи стыка равно  $R_{o,cm}^{mp} = 1,14 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . При этом, температура на внутренней поверхности панельного ограждения  $\tau_{\epsilon}^{mp}$  принимается равной температуре точки росы  $t_{росы} = 10,2 \text{°C}$  воздушной среды помещения, полученная по итогам испытания ограждения согласно табл. 3.2.2., а  $A = 0,84$ , рассчитанная по формуле (3.3.11).

Для определения приведенного сопротивления теплопередачи стыка ( без учета воздухопроницаемости) необходимо рассчитать приведенную температуру внутренней поверхности по формуле:

$$\tau_{\epsilon} = t_{\epsilon} - \frac{(t_{\epsilon} - t_{н})}{R_o \alpha_{\epsilon}}, \quad (3.3.12)$$

В итоге, при температурном перепаде  $\Delta t = t_{\epsilon} - \tau_{\epsilon} = 6 \text{°C}$  величина приведенной температуры внутренней поверхности равна  $\tau_{\epsilon} = 12 \text{°C}$ .

Расчетная температура внутренней поверхности в углу стыка (без учета воздухопроницаемости) составила  $\tau_{\epsilon}^{cm} = 10,4 \text{°C}$  и была рассчитана по формуле:

$$\tau_{\epsilon}^{cm} = t_{\epsilon} - \frac{(t_{\epsilon} - t_{н})}{R_o^{cm}} R_{\epsilon\epsilon}, \quad (3.3.12)$$

Расчетное сопротивление теплопередачи  $R_{\epsilon\epsilon}$  при примыкании перекрытия или внутренней стены к стыку составило  $0,16 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , которое было рассчитано по формуле:

$$R_{\epsilon\epsilon} = R_{\epsilon}^{cm} \frac{2}{k_{\epsilon}}, \quad (3.3.13)$$

где: коэффициент  $k_{\epsilon} = 1,61$ , зависит от критерия БИО и определяется по формуле:

$$k_{\epsilon} = 1 + \frac{1}{\sqrt{B_i}} \quad (3.3.14)$$

Критерий БИО, зависящий от характеристик ограждения и принят равным  $B_i = 2,7$  и рассчитан по формуле:

$$B_i = \frac{\alpha_{\epsilon} \delta}{\lambda} \quad (3.3.15)$$

Тогда, расчетная величина приведенного сопротивления теплопередачи панельного ограждения равна  $R_o^{cm} = 0,9 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) /Вт}$  и рассчитана по формуле:

$$R_o^{cm} = \frac{(\delta_{\epsilon} + \delta_3 + \delta_p + \dots + \delta_n)}{\frac{\delta_{\epsilon}}{R_{o\epsilon}} + \frac{\delta_3}{R_{o3}} + \frac{\delta_p}{R_{op}} + \dots + \frac{\delta_n}{R_n}} \quad (3.3.16)$$

а, расчетная приведенная температура внутренней поверхности панельного ограждения равна  $\tau_{\epsilon}^{np} = 11,9 \text{ °C}$  и рассчитана по формуле:

$$\tau_{\epsilon}^{np} = \frac{\tau_{\epsilon,cm}^{np} \cdot F_{cm} + \tau_{\epsilon} \cdot F_r}{F_{cm} + F_r} \quad (3.3.17)$$

где:  $F_{cm}$  - площадь поверхности стыка, рассчитанная по формуле:

$$F_{cm} = l_{cm} \cdot 1,5\sigma = 2,5 \cdot 1,5 \cdot 0,3 = 1,13 \text{ м}^2$$

$$F_r = F_{об} - F_{cm} = 12,5 - 1,13 = 11,37 \text{ м}^2$$

Приведенная температура внутренней поверхности зоны стыка равна  $\tau_{\epsilon}^{np} = 12,5 \text{ °C}$  и определяется по формуле:

$$\tau_{\epsilon,cm}^{np} = \frac{\tau_{\epsilon,r} + \tau_{\epsilon,cm}}{2} \quad (3.3.18)$$

где:  $\tau_{\epsilon,r} = 14,6 \text{ °C}$  – температура на внутренней поверхности и рассчитана по формуле:

$$\tau_{\epsilon,r} = t_n + (t_{\epsilon} - t_n) \frac{(\exp 0,14R_x - 1) \cdot 0,99}{\exp 0,14R_o - 1} \quad (3.3.19)$$

При этом, значения сопротивления теплопередачи  $R_x$  и  $R_o$  рассчитываются по нижеуказанным формулам и равны:

$$R_x = R_k + \frac{1}{\alpha_n} = 0,73 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) /Вт};$$

$$R_o = R_k + \frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + \frac{1}{\alpha_n} = 0,84 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) /Вт}$$

Приведенное сопротивление наружной панели (без учета воздухопроницаемости) равно  $R_o^{np} = 0,99 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/В}$  и рассчитывается по формуле:

$$R_o^{np} = \frac{t_g - t_n}{(t_g - \tau_g^{np})\alpha_g} \quad (3.3.20)$$

По итогам вышеуказанных расчетов, величина приведенного сопротивления теплопередачи панельного ограждения оказалась выше требуемой величины сопротивления теплопередаче, чем по СНиП.

Температура внутренней поверхности стыка панельного ограждения, с учетом допустимой воздухопроницаемости, равна  $\tau_g^{cm} = 6,6^\circ\text{C}$  и рассчитана по формуле:

$$\tau_g^{cm} = t_g - \frac{(t_{gn} - t_n)}{R_o^{cm}} R_g K_m, \quad (3.3.21)$$

где,  $K_m = 2,2$  и рассчитан по формуле:

$$K_m = \frac{1}{b(0,24\sqrt{n \frac{c \cdot w \cdot R_o^{cm}}{\ell}} + 1)} \quad (3.3.22)$$

Ниже приводится оценка теплозащитных качеств с учетом влаги в стыковых соединениях для кирпичного ограждения здания. При этом, сохраняется такая же последовательность расчетов, как и для стыкового соединения панельного ограждения здания.

Расчет был проведен для стыкового соединения двухслойного кирпичного ограждения толщиной равной  $\delta = 0,385$  м (кладка 1,5 кирпича), где толщина внутреннего слоя равна  $\delta_g = 0,01$  м, коэффициент теплопроводности  $\lambda_I = 0,70$  Вт/м·°С, плотность  $\rho = 8,95$  Вт/м<sup>2</sup>·°С и сопротивление теплопередачи  $R = 0,01$  м<sup>2</sup>·°С/Вт. А для наружного слоя стыкового соединения толщиной  $\delta_n = 0,375$  м, коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,70$  Вт/м·°С, плотность  $\rho = 9,20$  Вт/м<sup>2</sup>·°С, а требуемое сопротивление теплопередачи  $R = 0,54$  м<sup>2</sup>·°С/Вт.

В качестве теплоизоляционного материала используется полистирол толщиной  $\delta = 0,05$  м с теплофизическими характеристиками равными  $\lambda = 0,04$  Вт/м·°С и  $\gamma = 40$  кг/м<sup>3</sup>.

При оценке теплозащитных качеств стыковых соединений кирпичной стены принята температура внутреннего воздуха  $t_g = 18^\circ\text{C}$ , а данные по относительной влажности  $\varphi^{\text{экс}}$ , температуры наружного воздуха  $t_n$  и на поверхности ограждения  $\tau_g$  приняты по итогам исследования, а именно:  $\varphi^{\text{эксн}} = 37\%$ ,  $t_n = -24,5^\circ\text{C}$ ,  $\tau_g = 12^\circ\text{C}$ . При таких параметрах, сопротивление теплопередаче равно  $R_o^{\text{мп}} = 0,81 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Расчетная температура внутренней поверхности стыка (без учета воздухопроницаемости) равна  $\tau_g^{\text{см}} = 8,4^\circ\text{C}$  и рассчитана по формуле (3.3.12). При этом, расчетный градиент температуры равен  $\Delta t = 18 - 12 = 6^\circ\text{C}$ , что не соответствует нормируемому температурному перепаду по СНиП ( $6,6^\circ\text{C}$ ).

Расчетная величина приведенного сопротивления ограждения (без воздухопроницаемости) равна  $R_o^{\text{см}} = 0,7 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  при примыкании внутренней стены к стыку. При этом, величина сопротивления теплопередачи равна  $R_{\text{вс}} = 0,16 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , а коэффициенты БИО и  $K_\varepsilon$  рассчитаны по вышеуказанным формулам и равны  $K_\varepsilon = 1,65$  и  $B_i = 2,4$ .

При исследовании стыкового соединения двухслойного кирпичного ограждения толщиной  $\delta = 0,51 \text{ м}$  (кладка 2 кирпича), где толщина внутреннего слоя  $\delta = 0,01 \text{ м}$ , а наружного -  $\delta = 0,50 \text{ м}$ . Теплофизические характеристики стыка приняты такие же как и при кладке в 1,5 кирпича, а температура внутреннего воздуха  $t_g = 18^\circ\text{C}$ , наружного -  $t_n = -24,5^\circ\text{C}$ . В результате, расчетная величина сопротивления теплопередачи равна  $R_o^{\text{см}} = 0,81 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , а температура на внутренней поверхности ограждения равна  $\tau_g = 12^\circ\text{C}$ , а градиент температур составил  $\Delta t = 6^\circ\text{C}$ , что соответствует нормативной величине градиента температур  $\Delta t^{\text{н}} = 6,6^\circ\text{C}$ . Температура на внутренней поверхности в углу стыка (без учета воздухопроницаемости) равна  $\tau_g^{\text{см}} = 10,4^\circ\text{C}$  и рассчитана по формуле (3.3.12). Все расчетные величины, включая величину сопротивления теплопередачи стыка и сопротивление теплопередачи  $R_{\text{вс}}$  при примыкании перекрытия или внутренней стены к стыку, полученные при исследовании приведены в табл. 3.2.2.

### **3.4. Сравнение результатов экспериментальных лабораторных и натуральных исследований с нормативными показателями ограждений**

Для определения теплозащитных качеств ограждающих конструкций кирпичных и панельных ограждений и их стыков с учетом влажности воздуха при периодических внутренних и внешних воздействиях тепла и влаги в различные периоды года необходимо провести сравнительный анализ с нормативными требуемыми величинами следующих показателей:

1) расчетные величины сопротивлений теплопередаче, полученные при исследовании кирпичных и панельных ограждений зданий для зимнего периода сравниваются с нормативными требуемыми величинами;

2) расчетная температура внутренних поверхностей ограждений, включая стыковые соединения, полученные в ходе исследования кирпичных и панельных ограждений зданий сравниваются с температурой точки росы воздушной среды помещений с целью проверки выпадения конденсата на поверхностях ограждений;

3) экспериментальные величины затухания колебаний условной температуры наружного воздуха сравниваются с расчетными и допустимыми нормативными величинами затухания колебаний условной температуры наружного воздуха кирпичных и панельных ограждений зданий;

4) экспериментальная среднемаксимальная температура внутреннего воздуха сравнивается с нормативной максимальной температурой воздуха помещений кирпичных и панельных зданий.

Расчетные сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций приведены в табл. 3.2.1. Для кирпичного ограждения расчетная величина сопротивления теплопередаче составляет  $R_0^{\text{расч}} = 0,83 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ , а для панельного ограждения -  $R_0^{\text{расч}} = 1,05 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ ., при этом требуемое сопротивление теплопередаче для ограждения кирпичного и панельного здания составило  $R_0^{\text{тп}} = 0,94 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$  (табл. 3.2.1.). Расчетные требуемые значения

сопротивлений теплопередаче, полученные в ходе исследования должны быть не менее нормативной требуемой величины сопротивления теплопередачи ограждений  $R_0^{TP}$ . На рис. 3.4.1. представлен сравнительный анализ вышеуказанных величин, который показал, что для кирпичного ограждения расчетное сопротивление меньше требуемого и равно  $R_0^{расч} = 0,83 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал} < R_0^{TP} = 0,94 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ , а для панельного -  $R_0^{расч} = 1,05 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал} > R_0^{TP} = 0,94 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ .

Таким образом, вышеуказанный анализ показал, что расчетное сопротивление теплопередаче для ограждений панельного жилого дома удовлетворяет требованиям нормативных документов.

В ходе экспериментальных исследований в зимний период года замерялась температура на внутренних поверхностях ограждений и воздушной среды, которая использовалась в формуле (3.2.11.).

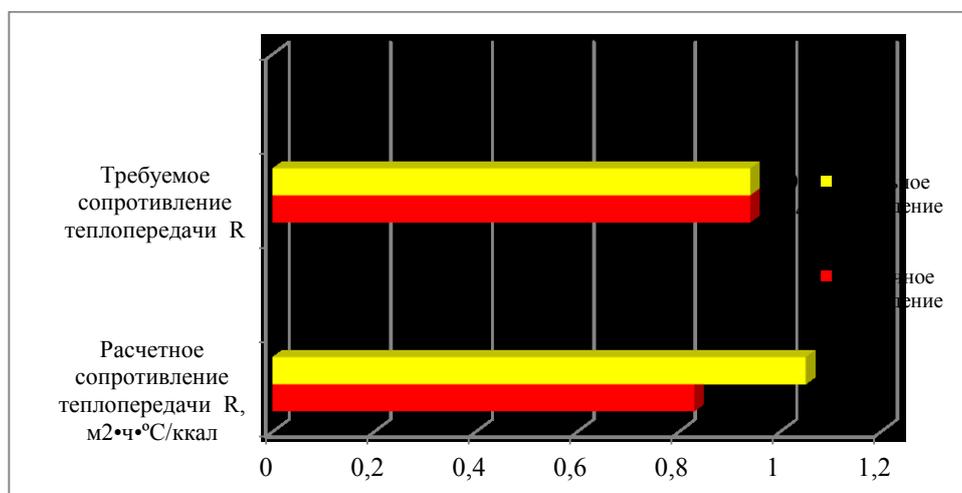


Рисунок 3.4.1 - Расчетные и нормативные величины сопротивления теплопередачи кирпичного и панельного ограждения, ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$ )

Как показано в табл. 3.2.2. расчетная экспериментальная температура на поверхности стыка кирпичного помещения равна  $\tau_B^{расч.} = 7,2 \text{ °C}$ , а для стыка панельного помещения  $\tau_B^{расч.} = 6,9 \text{ °C}$ .

При температуре  $t_{\text{вн}}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $\phi = 60\%$  для кирпичных и панельных зданий допустимая величина температуры точки росы воздуха составляет  $t_p=10,2^{\circ}\text{C}$ .

Сравнительный анализ расчетной температуры внутренней поверхности кирпичных и панельных ограждений помещений с допустимой температурой точки росы воздушной среды показал, что возможно выпадение конденсата на поверхности ограждений и это приведет к накоплению влаги в их толще. Для помещения панельного здания расчетная температура на внутренней поверхности ограждения находится в пределах  $\tau_{\text{в}}^{\text{расч.}} = 6,9\text{ }^{\circ}\text{C} < t_p=10,2^{\circ}\text{C}$ , а температура на внутренней поверхности ограждения кирпичного здания равна  $\tau_{\text{в}}^{\text{расч.}} = 7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , которая также ниже температуры точки росы  $t_p=10,2^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, исследования показали, что на внутренних стыках ограждений кирпичного и панельного зданий может выпадать конденсат, так как расчетные величины температур на внутренней поверхности оказались ниже температуры точки росы.

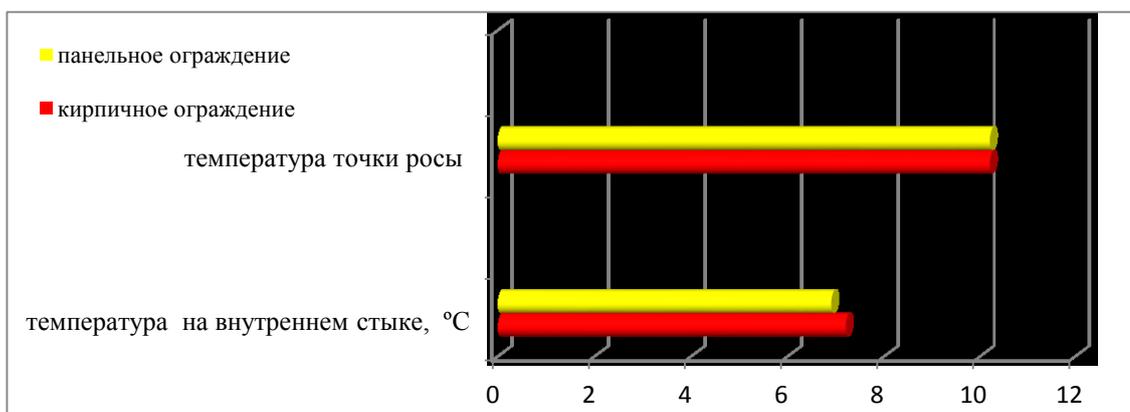


Рисунок 3.4.2 - Сравнительный анализ температуры стыка кирпичного и панельного ограждений  $\tau_{\text{в}}^{\text{расч}}$  с температурой точки росы  $t_p$  °C

Расчетные данные стыковых соединений для многослойного кирпичного и панельного ограждений помещений при различных условиях и параметрах

ограждающих конструкций и окружающей среды были получены с помощью инженерного метода согласно ОСТ 20-2-74 [54].

Для многослойных кирпичных ограждений (кладка 1,5 кирпича) расчетная температура на поверхностях стыковых соединений равна  $\tau_{\text{в}}^{\text{СТ}} = 3,4^{\circ}\text{C}$ , а для ограждения при кладке ограждения в 2 кирпича, расчетная температура стыка равна  $\tau_{\text{в}}^{\text{СТ}} = 10,4^{\circ}\text{C}$ . Расчетная температура на внутренней поверхности стыка с учетом воздухопроницаемости многослойного панельного ограждения равна  $\tau_{\text{в}}^{\text{СТ}} = 6,6^{\circ}\text{C}$ , а без учета воздухопроницаемости -  $\tau_{\text{в}}^{\text{СТ}} = 10,4^{\circ}\text{C}$ .

Анализ расчетной температуры внутренних поверхностей стыковых соединений с допустимой температурой точки росы воздушной среды показал, что выпадение конденсата и накопление влаги в толще ограждений происходит в кирпичном ограждении кладкой в 1,5 кирпича, у которого температура стыка  $\tau_{\text{в}}^{\text{расч.}} = 3,4^{\circ}\text{C} < t_{\text{р}} = 10,2^{\circ}\text{C}$ . Для многослойного ограждения панельного здания серии №105 расчетная температура на поверхности стыка с учетом воздухопроницаемости ниже температуры точки росы  $\tau_{\text{в}}^{\text{расч.}} = 6,6^{\circ}\text{C} < t_{\text{р}} = 10,2^{\circ}\text{C}$ , что говорит также о выпадении конденсата и накоплении влаги в толще ограждения.

Выпадение конденсата не наблюдается у многослойного кирпичного ограждения кладкой в 2 кирпича и у стыка панельного ограждения без учета воздухопроницаемости. Величина расчетной температуры стыка равна  $\tau_{\text{в}}^{\text{СТ}} = 10,4^{\circ}\text{C}$ , которая выше температуры точки росы воздуха равной  $t_{\text{р}} = 10,2^{\circ}\text{C}$ .

Для оценки теплоустойчивости ограждающих конструкций в летний период года проведено сравнение экспериментальной величины затухания колебаний условной температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции  $V_{\text{тн усл}}^{\text{эксп}}$  с расчетной и допустимой величиной затухания колебаний условной температуры наружного слоя ограждений ( $V^{\text{расч}}$  и  $V^{\text{доп}}$ ).

В разделе 3.3 представлены экспериментальные величины затухания колебаний условной температуры наружного воздуха для кирпичного ограждения, которая равна  $V_{\text{тн усл}}^{\text{эксп}} = 33,3$ , а для панельного -  $V_{\text{тн усл}}^{\text{эксп}} = 29,8$ .

Расчетные  $v^{\text{расч}}$  и допустимые  $v^{\text{доп}}$  величины затухания колебаний условной температуры наружного воздуха по отношению к величине колебаний температуры внутренней поверхности ограждений, рассчитаны по формулам (3.3.6) и (3.3.7). Для двухслойной кирпичной стены расчетная величина составила  $v^{\text{расч}} = 27,8$  при допустимой величине равной  $v^{\text{доп}} = 27,9$ , а для панельного ограждения расчетная величина равна  $v^{\text{расч}} = 24,8$  при допустимой величине равной 24,8.

Сравнительный анализ оценки теплоустойчивости ограждающих конструкций показал теплоустойчивость ограждений вышеуказанных объектов исследования к периодическим колебаниям наружного воздуха.

Установлено, что экспериментальные величины затухания колебаний условной температуры наружного воздуха  $U_{(t,n,усл)}^{\text{экс}}$  в ограждениях кирпичного и панельного зданий больше расчетных  $v^{\text{расч}}$  и допустимых величин  $v^{\text{доп}}$ , что отвечает требованию нормативных документов.

Исследования для оценки теплоустойчивости помещения в летний период года проводились при вышеуказанных аналогичных зимним условиям. Экспериментальная среднемаксимальная температура внутреннего воздуха для кирпичного помещения составила  $t_{\text{в}}^{\text{ср. макс}} = 29,7^{\circ}\text{C}$ , а для панельного -  $t_{\text{в}}^{\text{ср. макс}} = 26,7^{\circ}\text{C}$ . Эти величины сравниваются с нормативной максимальной температурой воздуха равной  $t_{\text{в}}^{\text{норм}} = 28^{\circ}\text{C}$ .

Анализ среднемаксимальных температур воздуха кирпичного помещения по сравнению с панельным помещением показал, что температура внутреннего воздуха в панельном здании меньше нормативной величины  $t_{\text{в}}^{\text{ср. макс}} = 26,7^{\circ}\text{C} < 28^{\circ}\text{C}$ , а температура в кирпичном помещении  $t_{\text{в}}^{\text{ср. макс}} = 29,7^{\circ}\text{C}$  больше нормативной температуры воздуха и равна  $28^{\circ}\text{C}$ .

Оценка теплозащитных качеств экспериментальных зданий с учетом влажности проводилась на основании сравнительного анализа критериев оценки, полученных в ходе экспериментальных и аналитических расчетов в сравнении с требуемыми величинами. В итоге, сравнительный анализ показал, что кирпичное

здание с кладкой в 1,5 кирпича и панельное здание не удовлетворяют требованиям нормативных величин и являются менее теплоустойчивым к климатическим воздействиям условий города Бишкек. Анализ ограждений панельного здания показал, что на поверхностях ограждениях в панельном доме наблюдается выпадение конденсата, что приводит к накоплению влаги в толще ограждений. Поэтому рекомендуется улучшение теплозащитных качеств и применение «сухих стыков» с целью увеличения долговечности и поддержания нормативных оптимальных параметров внутренней среды в помещении.

### **Проверка математической модели тепловлажностного режима ограждающих конструкций кирпичного и панельного зданий на основе теории потенциала влажности**

Для оценки тепловлажностного состояния наружных ограждений на основе теории потенциала влажности необходимо определить температуру и потенциал влажности внутреннего и наружного воздуха, которые требуются для решения математической модели ТВРП, предложенной в главе 2.

При проведении исследования помещений кирпичного и панельного зданий определялась температура и относительная влажность внутреннего воздуха, а также параметры наружного воздуха (температура, относительная влажность, солнечная радиация, скорость и направление ветра, осадки) с помощью которых можно рассчитать потенциалы влажности внутреннего и наружного воздуха.

Потенциал влажности внутреннего воздуха  $\Theta_B$ , принимается на основании полученных экспериментальных данных температур и относительной влажности внутреннего воздуха с использованием диаграммы потенциала влажности  $\Theta_B = f(t_B, \varphi_B)$ , предложенной авторами [4,5, 77] и представленной на рисунке 3.4.3.

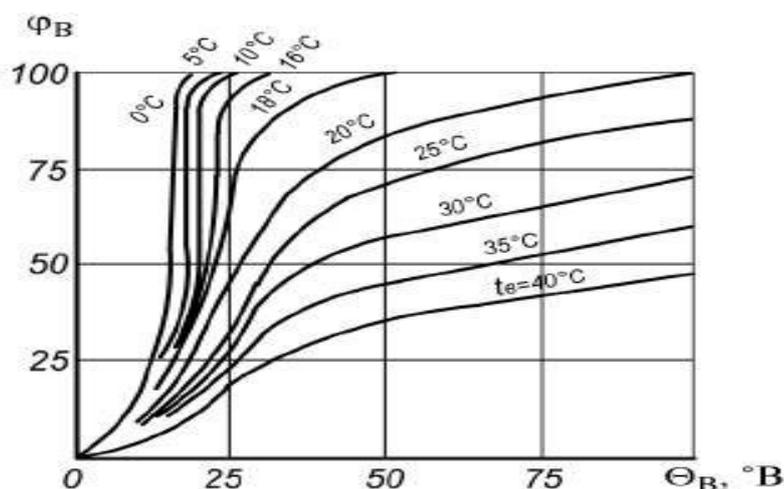


Рисунок 3.4.3 - Зависимость температуры  $t_B$  и относительной влажности воздуха  $\phi_B$  от потенциалом влажности  $\Theta_B$

На основании экспериментальных данных температуры и относительной влажности воздуха и диаграммы  $\Theta_B = f(t_B, \phi_B)$  получены средневзвешенные значения потенциалов влажности внутреннего воздуха для зимнего и летнего периодов года. Потенциал влажности наружного климата  $\Theta_n$  рассчитывается по формуле Б.В.Абрамова, в зависимости от параметров наружной окружающей среды ( $t_n, q_n, \phi_n, \vec{\theta}, i$ ).

На основе параметров внутренней среды (температура и относительная влажность), полученных в ходе экспериментальных исследований в различные периоды года определены данные потенциала влажности внутреннего воздуха, которые приведены в таблицах 3.4.1. и 3.4.2. и показаны на рис. 3.4.4.

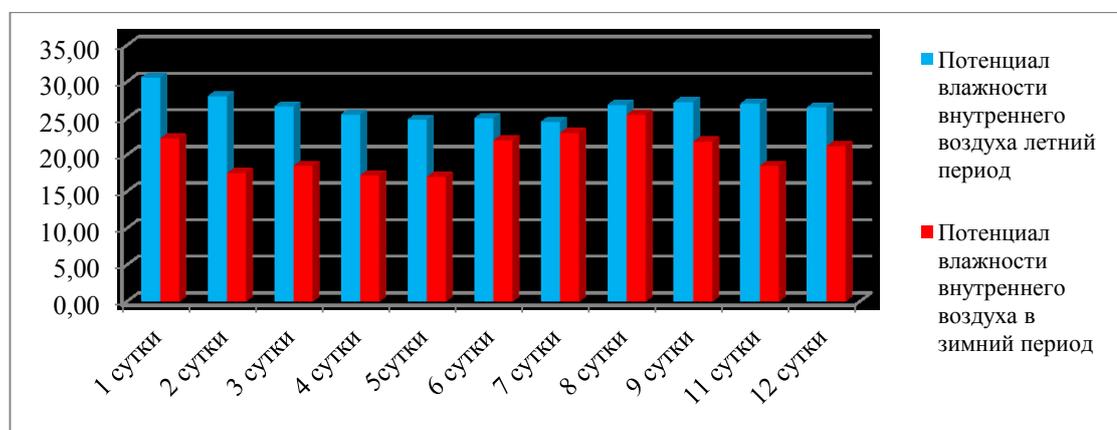


Рисунок 3.4.4 - Среднесуточный ход потенциала влажности внутреннего воздуха помещения в холодный и летний периоды года.

Таблица 3.4.1. - Потенциал влажности внутреннего воздуха  
в летний период года

Дата эксперимента	Температура , $t_{в}$ , °С,	Относительная влажность , $\varphi$ , %,	Потенциал влажности $\Theta_{в}$ , °В
12 июля	24,1	40,3	30,6
13 июля	25,1	36,5	28,0
14 июля	25,7	37,0	26,5
15 июля	25,4	36,0	25,5
16 июля	26,5	33,3	24,8
17 июля	26,8	30,0	25,0
18 июля	26,1	31,5	25,0
19 июля	25,9	34,7	26,8
20 июля	25,5	37,3	27,2
21 июля	24,2	39,8	27,2
22 июля	24,4	37,0	26,5

Таблица 3.4.2. - Потенциал влажности внутреннего воздуха в зимний период года

Дата эксперимента	Температура , $t_{в}$ , °С,	Относительная влажность , $\varphi$ , %,	Потенциал влажности $\Theta_{в}$ , °В
16 января	19,28	37,25	22,24
17 января	18,05	37,00	17,50
18 января	22,78	31,75	18,50
19 января	18,85	35,00	17,20
20 января	17,18	36,00	17,00
22 января	20,91	37,20	22,00
23 января	21,66	36,75	23,00
24 января	21,18	37,38	25,50
25 января	18,94	39,63	21,80
26 января	17,42	40,50	18,50
27 января	19,33	38,67	21,20
28 января	19,33	38,00	22,40
29 января	19,33	38,00	22,40

Для оценки теплозащитных качеств наружных ограждений здания на основе разработанной математической модели нестационарных тепловлажностных процессов необходимо дополнительно иметь сведения о тепловыделениях и влаговыделениях в помещении, входящие в уравнение теплового и влажностного баланса внутреннего воздуха математической модели ТВРП. В ходе эксперимента на вышеуказанных объектах исследования такие данные не проводились.

Таким образом, выбранная методика экспериментальных исследований и инженерный метод оценки теплозащитных качеств ограждений позволяют осуществить лишь приближенную оценку теплозащитных качеств ограждений помещений с учетом периодических выделений тепла и влаги в помещении и наружной среды в различные периоды года.

Реальную оценку теплозащитных качеств наружных ограждений и расчет тепловлажностного состояния воздушной среды помещения при нестационарных внутренних и внешних воздействиях тепла и влаги можно решить с помощью математической модели ТВРП, описанной в главе 2. Достоверность разработанной вышеуказанной математической модели необходимо проверить при проведении натурных исследований в помещении с интенсивными внутренними выделениями тепла и влаги, работе системы обеспечения микроклимата с учетом воздействия комплексных параметров наружного и внутреннего воздуха. Такие исследования представлены в главе 4 настоящей диссертационной работы.

## **ВЫВОДЫ**

1. Проведен анализ литературных источников по выбору экспериментальных лабораторных и натурных методологий по оценке теплозащитных качеств наружных ограждений и их стыковых соединений при переменных внутренних и внешних воздействиях тепла и влаги для различных типов зданий.

2. Выбрана методология для проведения экспериментальных лабораторных и натурных исследований, а также инженерный аналитический метод, основанный на стационарных процессах с целью оценки критериев теплозащитных качеств и долговечности наружных ограждений и их стыковых соединений зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях тепла и влаги для различных типов зданий.

3. Проведены экспериментальные испытания и расчет теплозащитных качеств ограждений и их стыковых соединений в кирпичном и панельном зданиях в различные периоды года и осуществлен сравнительный анализ полученных результатов расчета с требуемыми величинами, принятыми согласно действующим нормативным документам.

4. Анализ результатов расчета с нормативными показателями ограждений показал, что в панельных домах наблюдается выпадение конденсата и накопление влаги в толще ограждений, поэтому рекомендуется улучшение теплозащитных качеств и применение «сухих стыков» с целью увеличения долговечности и поддержания нормативных параметров внутренней среды и в ограждениях зданий.

5. Результаты расчетов критериев оценки теплозащитных качеств ограждений с помощью экспериментально-аналитического метода, основанного на стационарных процессах, позволяют получить только приблизительную картину реальных процессов ТВРП. Поэтому необходимо провести экспериментальные натурные исследования ТВРП с интенсивными переменными выделениями тепла и влаги на основе теории потенциала влажности.

## ГЛАВА 4

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ПОМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ДОСТОВЕРНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ

#### 4.1. Цель и задачи проведения натуральных исследований теповлажностного режима помещений

Исследования показали, что разработанная математическая модель расчета тепловлажностного режима помещения (ТВРП) зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги на основе теории потенциала влажности, представленная в главе 2, требует проверки достоверности данных, полученных с помощью такой модели, путем сравнения их с экспериментальными данными, полученными при проведении натуральных исследований в помещении здания при интенсивных выделениях тепла и влаги, а также переменных воздействиях наружной и внутренней окружающей среды.

Учитывая сложность определения экспериментальным путем многочисленные факторы, влияющие на ТВРП, при проведении исследований были приняты допущения – в натуральных условиях проведены замеры лишь тех параметров, которые приняты в математической модели ТВРП, формирующие тепловлажностный режим помещения. Так, для определения потенциала влажности внутренней и наружной среды необходимо исследовать температуру и влажность внутренней среды, а также параметры наружного воздуха такие как – температура, относительная влажность, скорость и направление ветра, солнечная радиации. Величина тепло - и влагопоступлений от внутренних источников, в том числе выделения от технологического оборудования, а также параметры режима работы СОМ (отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха) приняты при решении математической модели, поэтому эти параметры необходимо исследовать.

Для проведения эксперимента цели необходимо выполнить следующие задачи:

- разработать порядок проведения экспериментальных натуральных исследований с целью определения потенциала влажности внутренней и наружной окружающей среды, тепло – и влаговыделений, параметры наружного климата (температуру, относительную влажность, скорость и направление ветра, солнечную радиацию), формирующие тепловлажностные процессы в помещении здания;

- провести натурные исследования и определить численные значения параметров температурно-влажностного режима внутренней и наружной воздушной среды, наружных ограждений, а также выделения тепла и влаги от источников в влажного помещения производственного здания в летний и зимний периоды года;

- провести обработку и анализ экспериментальных данных с целью определения потенциалов влажности внутреннего и наружного воздуха, внутренних теплопоступлений  $Q_v$  и влагопоступлений  $W_v$ , а также величину воздухообмена  $L_v$  при работе технологического оборудования для различных периодов времени;

- провести сравнительный анализ данных по результатам натуральных исследований с расчетными данными, полученными с помощью разработанной математической модели ТВРП с целью установления достоверности разработанной математической модели ТВРП.

#### **4.2. Порядок проведения экспериментальных натуральных исследований и их результаты**

Для проверки достоверности разработанной математической модели ТВРП необходимо было провести экспериментальные натурные исследования в разные периоды года, установить порядок их проведения и выбрать помещение с интенсивным выделением теплоты и повышенной влажностью.

В качестве объекта исследования было выбрано помещение красильного цеха производственного здания в г. Бишкек Кыргызской Республики. Красильный цех представляет собой одноэтажное здание, оборудованное приточно-вытяжной вентиляцией. Размеры красильного цеха составляют 24\*40\*10 м. Наружные стены здания выполнены из глиняного кирпича на цементно-песчаном растворе плотностью  $\rho=1800 \text{ кг/м}^3$ , оштукатуренные с внутренней и внешней сторон цементно-песчаным раствором. Вследствие повышенной влажности с внутренней стороны ограждающие конструкции окрашены масляной краской. Окна ленточного типа имеют двойное остекление в металлических рамках. Расстояние межстекольного пространства составляет  $\delta=0,1 \text{ м}$ .

Основными источниками выделения тепла и влаги в цехе явились семь красильно-промывных машин типа МКП-1, две красильно-промывные машины типа МКПШ-1 и три красильно-промывных барабана типа КБ-50, работа которых проводилась в две смены. Схема размещения технологического оборудования в красильном цехе представлена на рисунке 4.2.1.

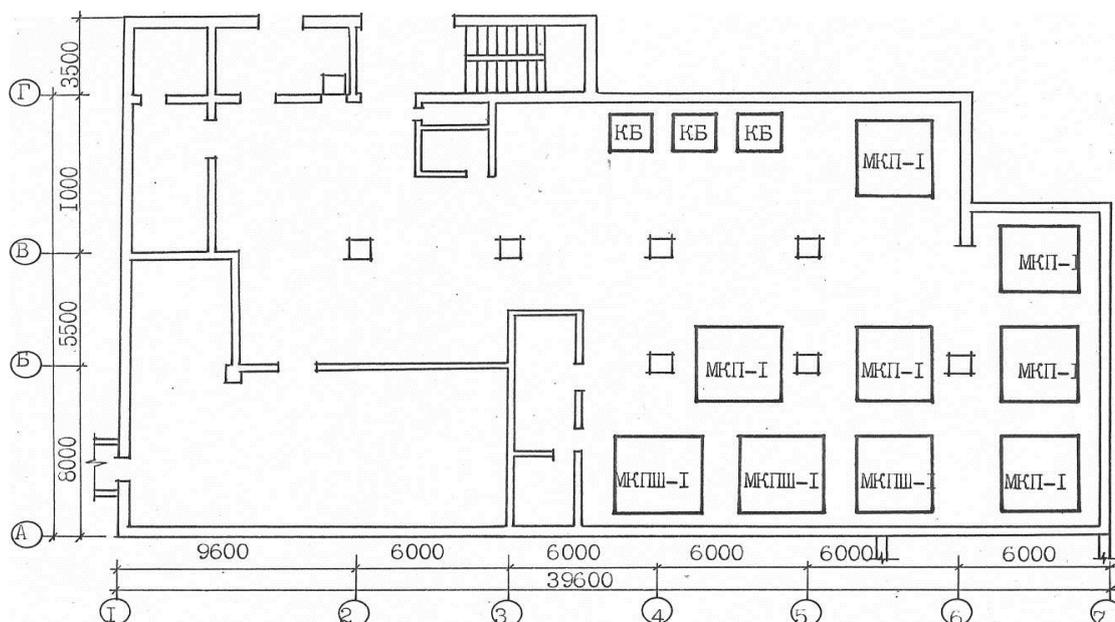


Рисунок 4.2.1 - Схема размещения технологического оборудования в красильном цехе г. Бишкек

Натурные исследования проводились в различные периоды года. Продолжительность исследований в летний период составила 35 дней (август – сентябрь), в зимний период 50 дней (январь – февраль) и переходный период – 75 дней (сентябрь – ноябрь). При проведении натурных исследований температурно-влажностного режима помещения, параметров внутреннего и наружного воздуха использовались методология и измерительные приборы, описанные в главе 3, с помощью которых можно определить – температуру и относительную влажность внутреннего и наружного воздуха, скорость и направление ветра, солнечную радиацию на поверхности ограждения и другие параметры. Для измерения потенциала влажности внутреннего и наружного воздуха применяется датчик влажности, изготовленный из эталонного материала – фильтровальной бумаги. Объемы внутреннего тепло- и влаговыделения от технологического оборудования и других источников тепла и влаги рассчитываются по формулам, с использованием параметров воздуха на входе и выходе из воздухораспределительных устройств, полученных во время исследования. Для определения объема тепловыделения от красильно – промывочных машин проводились замеры температуры боковых поверхностей и крышек оборудования, величины которых определялись с помощью хромель-копелевых термопар типа ТХК, присоединенных к потенциометру типа ПП-63 ГОСТ 9245-68.

Коэффициент конвективной теплоотдачи от боковых поверхностей и крышек технологического оборудования определяется по формулам:

- для боковых поверхностей:

$$\alpha_k^{\text{бок}} = 2,2 \sqrt[4]{t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}} \quad (4.2.1.)$$

- для крышек оборудования:

$$\alpha_k^{\text{кр}} = 2,8 \sqrt[4]{t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}} \quad (4.2.2.)$$

Коэффициент лучистого теплообмена  $\alpha_{\text{л}}$  от излучающих поверхностей технологического оборудования определяется по формуле:

$$\alpha_{л} = \varepsilon_{пр} \cdot V \cdot C_0, \quad (4.2.3.)$$

где:  $\varepsilon_{пр}$  – коэффициент приведенного излучения для поверхностей, взаимодействующих с окружающей средой и определяемый на основании данных литературных источников;

$V$  – температурный коэффициент, зависящий от средневзвешенной температуры поверхностей ограждений за период измерения.

Тепловыделения от технологического оборудования определялись по формуле:

$$Q_{п} = (F_{б} \cdot \alpha_{к}^{бок} + F_{к} \cdot \alpha_{к}^{кр}) \cdot (t_{п.ср} - t_{в}); \quad (4.2.4.)$$

где:

$F_{б}$  и  $F_{к}$  – площадь поверхности и крышки оборудования,  $m^2$ ;

$t_{п.ср}$  и  $t_{в}$  – средняя температура поверхности оборудования и внутреннего воздуха за период наблюдений,  $^{\circ}C$ .

Теплопоступления в помещение через боковые стенки, днища и крышки оборудования определялись по формуле:

$$Q_{п} = (F_{бок} \cdot \alpha^{бок} + F_{к} \cdot \alpha^{к}) \cdot (t_{ср} - t_{в}) \cdot (\tau_{н} + \tau_{к}) \cdot 10^{-3}; \quad (4.2.5.)$$

Количество тепла, поступающее в помещение от искусственного освещения определялось по формуле:

$$Q_{осв} = E \cdot F \cdot q_{осв} \cdot \gamma_{осв}; \quad (4.2.6.)$$

где:  $E$  – нормируемая освещенность принимается согласно назначения помещения, лк ;

$F$  – площадь пола помещения,  $m^2$  ;

$q_{осв}$  – удельные тепловыделения в помещение зависит от типа светильника, Вт/ ( $m^2$  лк ) ;

$\gamma_{осв}$  – доля тепловой энергии, поступающей в помещение.

Количество тепла, поступающего в помещение от работающего человека определялось по формуле:

$$Q_{\text{чел}} = \beta_{\text{и}} \cdot (2,5 + 10,3 \sqrt{V}) \cdot (35 - t_{\text{п}}) \quad (4.2.7.)$$

где:  $\beta_{\text{и}}$  - интенсивность работы ;

$t_{\text{п}}$  - температура внутреннего воздуха в помещении ;

$V$  – подвижность воздуха в помещении, м/сек ;

Теплопоступления от электродвигателей технологического оборудования определялись по формуле:

$$Q_{\text{эл}} = N_{\text{у}} \cdot K_{\text{исп}} \cdot K_{\text{загр}} \cdot K_{\text{одн}} (1 - \eta + K_{\text{т}} \cdot \eta) ; \quad (4.2.8.)$$

где:  $N_{\text{у}}$  - установочная мощность электродвигателей, Вт ;

$K_{\text{исп}}$ - коэффициент использования установочной мощности ;

$K_{\text{загр}}$  – коэффициент загрузки;

$K_{\text{одн}}$  - коэффициент одновременности работы электродвигателей;

$\eta$  - коэффициент полезного действия;

$K_{\text{т}}$  - коэффициент перехода механической энергии в тепловую.

Влагодоступления от каждого типа оборудования определяются в зависимости от упругости водяного пара и влагосодержания поверхностей воды и воздушной среды при известных температуре поверхности смеси раствора в ванне оборудования и температуре внутреннего воздуха по формуле:

$$W = \beta_{\text{м}} \cdot (d_{\text{р}} - d_{\text{в}}) \cdot F_{\text{пов}} \quad (4.2.9.)$$

где:  $\beta_{\text{м}}$  - коэффициент массообмена между поверхностью раствора и воздухом;

$d_{\text{р}}$  - влагосодержание поверхности раствора;

$d_{\text{в}}$  – влагосодержание воздушной среды.

Красильный цех оборудован камерой, с помощью которой подается воздух в помещение через сеть воздуховодов приточно-вытяжной вентиляции. Для

определения расхода приточной и вытяжной вентиляции применяются чашечные анемометры ручные типа МС-13, используемые для измерения скорости воздуха в воздухораспределительных устройствах типа МЭПш2, установленных в воздуховодах.

Расход воздуха через воздухораспределители определяется по формуле:

$$G_{\text{в}} = F_{\text{в}} \cdot V_{\text{ср}} ; \quad (4.2.10.)$$

где:  $F_{\text{в}}$  - площадь живого сечения воздухораспределителя,  $\text{м}^2$ ;

$V_{\text{ср}}$ —средневзвешенная скорость воздуха приточной и вытяжной вентиляции, м/сек.

Для измерения температуры и относительной влажности внутреннего и наружного воздуха применялись метеорологические термографы типа М-16 и гигрографы типа М-21 (суточные и недельные), которые устанавливались в помещения и на крыше красильного цеха в специальной метеорологической будке. Скорость воздуха наружного воздуха регистрировалась с помощью крыльчатого анемометра. Динамика температуры и относительной влажности внутреннего воздуха, полученных с помощью термографа и гигрографа, представлены на рисунке П 3.1. и П 3.2.

По полученным в ходе исследования температуре и относительной влажности воздуха определялся потенциал влажности внутреннего воздуха ( $\Theta_{\text{в}}$ ) с помощью  $\varphi$ - $t$ - $\Theta$  диаграммы, представленной на рисунке 3.4.3., а потенциал влажности наружного воздуха ( $\Theta_{\text{н}}$ ) рассчитывался по формуле, предложенной Б.В. Абрамовым [5] на основании параметров наружного воздуха - температуры, относительной влажности, солнечной радиации, скорости и направления ветра ( $t_{\text{н}}, q_{\text{н}}, \varphi_{\text{н}}, \vec{\vartheta}, i$ ), полученных в ходе исследования.

Кроме того, в целях проверки достоверности расчетных данных, с помощью датчиков влажности (ДВ), изготовленных из фильтровальной бумаги, определялась величина потенциала влажности внутреннего воздуха. Для этого, в красильном цехе размещались по три датчика влажности (ДВ) в различных

местах помещения ( на колоннах и внутренних ограждений) на расстоянии 10 м друг от друга.

Температура датчика влажности замерялась с помощью медь-константовых термопар, присоединенных к переносному потенциометру типа ПП-63 ГОСТа 9245-68. Влагосодержание фильтровальной бумаги из ДВ определялось весовым методом с помощью аналитических весов ВЛР-200 ГОСТ 19491-74. Потенциал влажности воздуха определялся на основании данных измерения температуры и влажности фильтровальной бумаги с помощью шкалы потенциала влажности, представленной на рис. 3.4.3.

Для чистоты эксперимента потенциал влажности наружного воздуха определялся по формуле Абрамова Б.В. , не только по параметрам наружного воздуха, полученного в ходе эксперимента, но и на основании данных, представленных руководством метеостанции, расположенной от красильного цеха на расстоянии 300 м.

По итогам анализа и обработки экспериментальных данных получены средние часовые значения температуры и потенциала влажности внутреннего воздуха. Динамика температуры и потенциала влажности воздуха, измеряемые в течение суток термографом и датчиком влажности при двухсменной работе технологического оборудования в зимний период года представлена на рисунке 4.2.2.



Рисунок 4.2.2 - Динамика температуры и потенциала влажности внутреннего воздуха в красильном цехе в зимний период года

Динамика средней температуры и потенциала влажности наружного воздуха в течение суток для летнего и зимнего периодов года, полученные в ходе эксперимента представлена на рисунках 4.2.3. и 4.2.4. При этом, потенциал влажности определялся с помощью датчика влажности, а также рассчитывался по формуле Абрамова Б.В.



Рисунок 4.2.3 - Динамика среднесуточной температуры и потенциала влажности наружного воздуха в зимний период времени



Рисунок 4.2.4 - Динамика среднесуточной температуры и потенциала влажности наружного воздуха в летний период года

На рис. 4.2.5. представлена динамика среднесуточной температуры и потенциала влажности  $\Theta_n$  наружного воздуха, полученных в ходе эксперимента для летнего, осеннего и зимнего периодов года.



Рисунок 4.2.5 - Динамика среднесуточной температуры и потенциала влажности наружного воздуха для разных периодов года

На рисунке 4.2.6. показана динамика среднесуточной температуры и потенциала влажности внутреннего воздуха, полученных в ходе эксперимента в переходный (осенний) период года с помощью термографа, гигрографа, датчика влажности и диаграммы  $\varphi - t - \Theta$  при условии двухсменной работы технологического оборудования.



Рисунок 4.2.6 - Динамика среднесуточной температуры и потенциала влажности внутреннего воздуха в переходный (осенний) период года

Объем тепло - и влаговыделения от 3-х красильных машин рассчитывался по формулам (4.2.1 - 4.2.9). Замеры температуры боковых поверхностей и крышек оборудования проводились с помощью хромель-копелевых термопар, подсоединенных к потенциометру. Объемы тепло – и влагопоступлений от технологического оборудования, полученные в ходе эксперимента, приведены в таблицах П 1.3 - П 3.3.

Объем тепло - и влагопоступлений в разрезе суток, усредненный за период наблюдений, а также воздухообмен при двухсменной работе технологического оборудования показан на рисунке 4.2.7.



Рисунок 4.2.7 – Объем тепло - и влагопоступлений и воздухообмен в разрезе суток при двухсменной работе оборудования

Характеристики исследуемого красильного цеха, максимальное количество людей, работающих в нем, температура и влажность воздушной среды, выделение тепла и влаги от внутренних источников и оборудования, параметры воздухообмена приточно-вытяжной вентиляции и другие параметры, полученные в ходе эксперимента, приведены в таблице 4.2.1. и в дальнейшем были использованы для расчета нестационарного ТВРП согласно разработанной математической модели.

Таблица 4.2.1 - Параметры красильного цеха производственного здания в зимний и летний периоды года

Наименование помещения	Объем помещения, м <sup>3</sup>	Период года	Параметры воздуха в помещении		Максимальное количество людей, чел.	Поступления тепла в помещение, Вт					Воздухообмен, м <sup>3</sup> /ч		Влаговыведения, кг/ч
			температура, °С	влажность, %		от людей	от оборудования	от электродвигателей	от освещения	всего одновременно	приточного	вытяжного	
1	2	3	4	4"	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Красильный цех	24000	лето	24	65,5	20	3400	66725	23220	9460	98935	60000	60000	230
		зима	23	65	20	3400	66725	23220	9460	98935	60000	60000	230

#### 4.3. Сравнение результатов экспериментальных натуральных исследований с результатами расчета по математической модели тепловлажностного процесса

В целях подтверждения соответствия разработанной математической модели ТВРП и возможности применения разработанной методики и ее программного обеспечения необходимо сравнить экспериментальные тепловлажностные параметры помещения, внутренней и наружной среды в

летний, зимний и переходный периоды года, полученные в ходе натурных исследований с расчетными данными, полученными на основании математической модели ТВРП с использованием компьютерной программы.

Разработанная математическая модель ТВРП и решение ее конечно-разностным численным методом по неявной схеме с использованием компьютерной программы применяется для выбора целесообразных систем обеспечения микроклимата ТВРП для различных вариантов процесса.

Для решения задачи по выбору целесообразных тепловлажностных режимов СОМ с помощью разработанного метода, основанного на математическом моделировании, необходимо иметь исходные параметры для помещения и ограждающих конструкций здания, а именно температура и потенциал влажности воздуха в соответствии с почасовыми графиками  $t_g = f(z)$  и  $\Theta_g = f(z)$ . При выборе нестационарного суточного тепловлажностного режима помещения исходные данные температуры и потенциала влажности задаются по часам суток, начиная с 24-00 часов. График зависимости температуры от времени суток принимается таким, чтобы в ночное время температура воздуха не была ниже  $+5^{\circ}\text{C}$ . В последующие часы температура в помещении повышается до требуемой с помощью систем обеспечения микроклимата (отопление и вентиляция). Во время рабочей смены при интенсивных тепловыделениях необходимый уровень температуры и влажности внутреннего воздуха поддерживается с помощью приточно-вытяжной вентиляции. В конце смены, после отключения технологического оборудования, происходит естественный процесс охлаждения помещения и внутренних поверхностей ограждающей конструкции. Однако при отключении технологического оборудования возникает опасность выпадения конденсата на внутренних поверхностях конструкций, участвующих в процессе влагообмена. В связи с чем, используя математическую модель необходимо решить задачу по выбору целесообразных режимов работы СОМ с целью определения предельных значений температуры и влажности, при которых будет соблюдено условие

недопустимости выпадения конденсата на поверхностях ограждающей конструкции.

Для решения вышеуказанной задачи принимаются среднесуточные температура и потенциал влажности наружного воздуха, объемы тепло- и влаговыделения при двухсменной работе технологического оборудования и других источников тепла и влаги, полученные в ходе эксперимента и указанные в разделе 3.2. С помощью комплекса программ, составленных на персональном компьютере, решается задача по определению изменений температуры и потенциала влажности внутреннего воздуха и на поверхности ограждения помещения.

При решении задачи нестационарного тепловлажностного режима помещения в разрезе года параметры наружного воздуха задаются по среднемесячным значениям температуры и потенциала влажности.

Исходные данные, вводимые в компьютерную программу при определении тепловлажностного режима помещения, а именно, показания суточной температуры и потенциала влажности наружного воздуха, суммарной солнечной радиации, воздействующей на наружную поверхность ограждения для переходного периода представлены на рисунке 4.3.1.

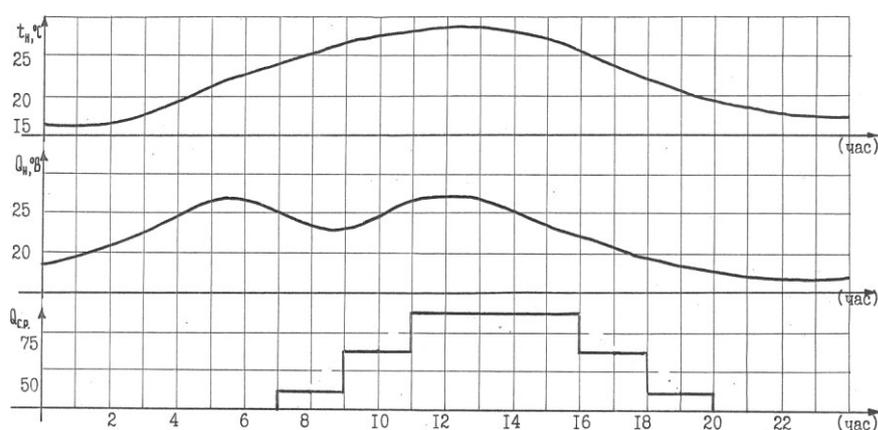


Рисунок 4.3.1 - Исходные параметры наружного воздуха, вводимые в программу расчета ТВРП для переходного периода

Исходные параметры внутреннего тепло - и влагопоступления, объем воздухообмена, а также температура и потенциал влажности внутреннего воздуха, вводимые в компьютерную программу при определении температуры внутреннего воздуха и температуры на внутренних поверхностях ограждений помещения представлены на рисунке 4.3.2.



Рисунок 4.3.2 - Исходные параметры тепла и влаги в помещении, вводимые в программу для определения температуры внутреннего воздуха и на внутренних поверхностях ограждений для летнего периода года

Для подтверждения соответствия разработанной математической модели ТВРП проведен сравнительный анализ расчетных данных тепловлажностного режима помещения, полученных с помощью разработанной методики, основанной на математической модели с данными, полученными в ходе эксперимента при переменных внешних и внутренних воздействиях тепла и влаги.

Результаты сопоставления динамики расчетной среднесуточной температуры ( $t_{\theta}$ ), потенциала влажности ( $\Theta_{\theta}$ ) и относительной влажности ( $\varphi_{\theta}$ ) внутреннего воздуха, полученные с помощью компьютерной программы с данными, полученными в ходе эксперимента показаны на рисунке 4.3.3.



Рисунок 4.3.3 – Сопоставление динамики расчетной температуры, потенциала влажности, относительной влажности внутренней среды, полученных на основе математической модели и данных натуральных исследований

Примечание: \* -x-x-x- данные по ДВ; \_\_ \_ расчетная кривая; \_\_ \_ натурные данные.

Сравнительный анализ расчетных данных с данными, полученными в ходе эксперимента, подтвердил достоверность разработанной математической модели ТВРП в пределах 85%. Расхождение между экспериментальными и расчетными данными колеблется в пределах 15% , в связи с невозможностью моделирования реальных условий в полном объеме для процесса и необходимостью принятия ряда допущений.

Исходя из вышеизложенного следует, что разработанную математическую модель ТВРП можно применять при решении задач управления и оптимизации тепловлажностными процессами при внешних и внутренних воздействиях теплоты и влаги для различных периодов года.

Используя экспериментальные данные температуры, потенциала влажности и относительной влажности внутреннего воздуха, а также температуры на внутренней поверхности ограждения можно рассчитать температуру точки росы внутреннего воздуха в течение суток. Вышеуказанные параметры приведены в таблице 4.3.1.

Таблица 4.3.1 - Параметры внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждения, расчетная температура точки росы воздуха

Время суток (ч)	$t_B$	$\varphi_B$	$\theta_B$	$t_p$	$E_t$	$e_t$	$\tau_B$
	$^{\circ}\text{C}$	%	$^{\circ}\text{B}$	$^{\circ}\text{C}$	Па	Па	$^{\circ}\text{C}$
1-00	34	40	36	14,9	4899,57	1959,83	28,87
7-00	28	50	35	16,6	3703,71	1851,86	23,41
10-00	35	43	50	15,2	5117,17	2200,38	29,78
11-00	40	45	55	17,2	6283,55	2827,60	34,33
15-00	24	80	38	20,3	3010,98	2408,78	19,77
18-00	30	60	43	21,4	4081,43	2448,86	25,23
19-00	32	55	45	20,0	4480,05	2464,03	27,05
22-00	23	82	38	20,5	2850,86	2337,70	18,86
24-00	20	84	35	16,9	2401,85	2017,56	16,13

На рисунке 4.3.4. представлена температура на внутренней поверхности ограждений ( $\tau_B$ ) и температура точки росы внутреннего воздуха ( $t_p$ ) в разрезе суток в летний период года. Сравнительный анализ этих данных показал, что выпадение конденсата на внутренней поверхности ограждения происходит только в течение 1,5 часов, а именно в 15-00 час и в 22-00 часов. В остальной период времени, существующий режим работы системы обеспечения микроклимата (отопление и приточно-вытяжная вентиляция) в красильном цехе позволяет упреждать выпадение конденсата на поверхностях ограждений помещения объекта исследования.

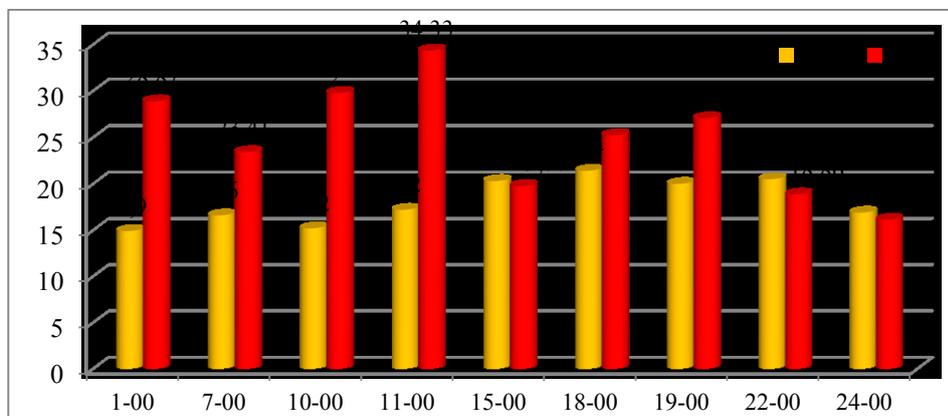


Рисунок 4.3.4 - Сравнительный анализ температуры внутренней поверхности ограждений и температуры точки росы внутреннего воздуха

## ВЫВОДЫ

1. Разработан порядок проведения натурных исследований тепловлажностного режима красильного цеха Фрунзенского трикотажного объединения «Илбирс» г. Бишкек с целью определения параметров тепловлажностных процессов (температура, относительная влажность, потенциал влажности внутреннего и наружного воздуха, объем тепло – и влаговыделений, скорость ветра и солнечная радиация).

2. Проведены натурные исследования температурно-влажностного режима внутреннего и наружного воздуха, поверхностей наружных ограждений, объем теплоты и влаги в помещении здания в различные периоды года.

3. Проведена обработка и анализ данных, полученных в результате натурных исследований для определения потенциала влажности внутреннего и наружного воздуха, объемов поступления теплоты и влаги в красильном цехе в условиях двухсменной работы технологического оборудования в разные периоды года.

4. Проведен сравнительный анализ данных, полученных в ходе натурных исследований, с расчетными данными, полученными с помощью разработанной математической модели ТВРП с целью установления возможности применения разработанной методики и ее программного обеспечения при решении задач расчета и управления температурно-влажностным режимом помещения на основе разработанной математической модели ТВРП.

5. Получено подтверждение достоверности разработанной математической модели ТВРП в пределах 85% на основании сравнительного анализа расчетных данных с данными, полученными в ходе эксперимента. Расхождение между экспериментальными и расчетными данными колеблется в пределах 15% , в связи с тем, что при разработке математической модели не представляется возможным описать реальные условия в полном объеме для процессов в помещении и необходимости принятия ряда допущений в части изменений параметров воздуха по площади и высоте помещения.

## **ГЛАВА 5. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ (АУДИТ). ВЫБОР ЦЕЛЕСООБРАЗНЫХ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ РЕЖИМОВ ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЯ**

### **5.1. Современные методы, практические варианты и выбор целесообразных тепловлажностных режимов помещений при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги**

Как показала практика, при проектировании и строительстве зданий значительную роль в обеспечении рационального использования энергоносителей, теплозащитных качеств и долговечности здания играет правильный выбор строительных материалов для ограждений и подбор систем обеспечения микроклимата (СОМ) (отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха).

Выбор теплозащитных качеств ограждающих конструкций, подбор инженерного оборудования и соответственно нагрузки СОМ на стадии проектирования осуществляются на основании принятых инженерных методов расчета. При расчетах зачастую применяются среднегодовые значения внутренних и внешних параметров окружающего воздуха, которые не в полной мере учитывают реальную картину нестационарных тепловлажностных процессов.

Для обеспечения долговечности ограждений помещения здания важными являются выбор эффективных строительных материалов ограждений и целесообразных режимов работы СОМ.

Разработанные теоретические, экспериментальные лабораторные, натурные и инженерные методы позволяют решать задачи по выбору целесообразных тепловлажностных режимов СОМ в помещении, по оценке теплозащитных качеств ограждений в целях обеспечения допустимых значений тепловлажностных параметров воздуха в помещении.

В главе 3 диссертации приведены результаты проведенных экспериментальных исследований теплозащитных качеств наружных

ограждений, с учетом влажности, с помощью инженерного метода расчета, так как проведение исследования с помощью лабораторной установки, разработанной по ОСТ, сложны и трудоемки, требуют использование большого количества измерительных приборов, а также значительного времени для замеров и обработки полученных данных.

При проведении натурных исследований в красильном цехе также требовалось большое количество измерительных приборов и длительное время для обработки полученных экспериментальных данных. Несмотря на это, такой подход по оценке теплозащитных качеств и долговечности ограждений помещения на практике используется.

На сегодняшний день, применяются экспресс-методы с использованием современных портативных измерительных приборов (электронные термогигрометры с дисплеями, тепловизоры и др.) и компьютерных программ. Это позволяет ускорить процесс проведения натурных исследований, получения необходимых параметров ТВРП, включая проверку выпадения конденсата на поверхность ограждений здания и обеспечения более высокого уровня их достоверности.

Современные портативные электронные термогигрометры с дисплеями, оснащенные индикацией значений температуры окружающего воздуха, его влажности и температуры точки росы воздуха, позволяют оценивать наличие выпадения конденсата на поверхности ограждения и на их стыковых соединениях. Тепловизионная съемка с помощью тепловизора позволяет зафиксировать температуру точки росы воздуха в помещении и на поверхности ограждения. Параметры тепловлажностного режима помещения, полученные с помощью тепловизора, можно обработать с помощью компьютерной программы и получить термограммы участков ограждений и стыковых соединений, которые попадают в зону конденсации.

В основном, экспресс-метод используется для энергетического обследования (энергоаудит) здания, по итогам которого принимаются решения по применению энергоэффективных мероприятий по рациональному и

эффективному использованию энергоносителей, снижению затрат на их приобретение с целью обеспечения допустимых и приемлемых тепловлажностных параметров в помещении.

В качестве пилотного проекта по проведению энергоаудита здания была выбрана общеобразовательная школа – лицей № 2 с. Новопокровка Чуйской области Кыргызской Республики. Наружные ограждения школы выполнены из кирпича толщиной 510 мм, оштукатуренные с 2-х сторон цементно-песчаным раствором без теплоизоляции.

Основными задачами проведения энергоаудита являлись:

- сбор информации о технических и теплотехнических характеристиках основных элементов оболочки здания (окна, двери, наружные ограждения, пол и потолок), режимах работы СОМ, расходах энергоносителей;

- визуальное, инструментальное и тепловизионное исследование тепловлажностных параметров внутреннего и наружного воздуха, температуры на внутренних и внешних поверхностях элементов оболочки здания с использованием современных измерительных приборов;

- расчет необходимых теплозащитных качеств элементов оболочки здания с целью выбора энергоэффективных теплоизоляционных материалов для ограждений в целях поддержания тепловлажностных режимов работы систем обеспечения микроклимата здания в допустимых пределах;

- расчет технико-экономических показателей ограждающих конструкций здания и их стыковых соединений и выбор целесообразных тепловлажностных режимов СОМ с целью исключения выпадения конденсата на поверхностях ограждений и обеспечения рационального и экономного расходования энергоносителей.

Энергоаудит здания школы с локальной местной угольной котельной проводился в зимний период года (январь – февраль) путем инструментального и визуального обследования элементов оболочки и инженерного оборудования СОМ. Визуальное обследование здания школы показало незначительное повреждение наружного поверхностного слоя стенового материала.

В ходе энергоаудита была собрана информация о характеристиках здания, его функциональном назначении, типовых и конструктивных решениях основных элементов оболочки здания, а также необходимая информация о локальной угольной котельной ( табл. П 4.1 - П 4.3.).

Замеры параметров внутреннего воздуха (температура, относительная влажность, концентрация вредных выбросов, температура на внутренних и внешних поверхностях окон и ограждений) и необходимые параметры наружного воздуха проводились экспресс-методом с помощью современных портативных измерительных приборов.

Экспериментальные данные внутреннего и наружного воздуха (температура, относительная влажность, CO<sub>2</sub>), температура внутренней и наружной поверхности ограждений, окон на каждом из этажей здания в зимний период года приведены в табл. П 4.4.

В зимний период года проводилось тепловизионное обследование основных элементов оболочки здания, включая стыковые соединения, с помощью тепловизора типа EasIR-9 с/н 1002101.

Тепловизионная съемка поверхностей внутренних и наружных стен и их стыковых соединений, оконных проемов и откосов, плит перекрытий, полов первого этажа, кровельных конструкций проводилась 27 января с 5:00 часов до 8:00 часов утра. При этом, температура наружного воздуха была (- 4 °С), а температура воздуха в классах школы колебалась в пределах от 13,5°С до 18,5°С. Результаты фотофиксации на примере некоторых элементов оболочки здания (стыковые соединения наружных стен, окон), полученные при тепловизионном обследовании показаны на рисунках 5.1.1 – 5.1.2.

Как показали результаты тепловизионного обследования стыковых соединений между отметкой земли +0 °С и наружной стеной по горизонтали, а также на поверхности их стыковых соединений между стенами наблюдаются «мостики холода», особенно в тех местах, где минимальная температура на наружной поверхности стены в точках измерения максимальная температура на

наружной поверхности ограждения в точках измерения составила (- 3,2°C), а минимальная – (-9,1°C), перепад между которыми составляет 5,9°C.

Inspected By :			Audited By: (Operator)			
Inspected Time: 2015-03-23 2:01 PM			Inspected Location: (Location)			
File Name	IR001578	Created Date	02.02.2015	Created Time	4:19:36	
Emissivity	0,98	Humidity	70%	Min Temp	-11,1°C	
Ambient	25,3°C	Max Temp	12,7°C			
IR Image					Параметры	Значение
					Max	12,7°C
					Max:Коэф. изл.	0,98
					Min	-11,1°C
					Min:Коэф. изл.	0,98
					R1:Avgtemp	-6,9°C
					R1:Макс. темп.	-5,0°C
					R1:Мин. темп.	-9,0°C
					R1:Коэф. изл.	0,98
					P1:AvgTemp	-5,4°C
P1:Макс. темп.	-1,8°C					
P1:Мин. темп.	-9,9°C					
P1:Коэф. Изл.	0,98					
Visible Image						

Рисунок 5.1.1 - Фотофиксация стыковых соединений наружных ограждений здания в зимний период

По результатам тепловизионной съемки получена среднесуточная температура поверхностей наружных стен в точках измерения. Величина

максимальной зимней температуры поверхности ограждений находилась в пределах (-10,9 °С) до (-2,8 °С), перепад между которыми составил 8,1 °С.

Для оценки теплозащитных качеств, долговечности и эффективности наружных ограждений при воздействии теплоты и влаги необходимо определить величину сопротивления теплопередачи, температуру поверхности ограждения, а для проверки условий выпадения конденсата на поверхностях ограждений здания-точку росы внутреннего воздуха.

Анализ экспериментальных данных внутренней среды в помещениях классов показал, что содержание углекислого газа CO<sub>2</sub> находится в пределах от 520 до 3500 ppm при нормативной величине равной 650-1000 ppm. Температура внутреннего воздуха в помещениях колебалась в пределах от 13,5 °С до 18,5 °С при нормативной температуре 20 °С, а относительная влажность - от 28,6% до 80% при нормативной - от 50% до 60%.

При температуре воздуха в помещении 15 °С и относительной влажности 45% температура точки росы воздуха составила 3,17 °С, а по СНиП [55] для холодного периода года при нормативной температуре 20 °С и относительной влажности 50% температура точки росы составляет 9,3 °С.

Для холодного периода года оптимальная температура внутреннего воздуха должна быть от 20 °С до 22 °С, а допустимая относительная влажность - не более 50% , а для теплого периода - допустимая температура равна 28 °С и относительная влажность - не более 60%.

Как показал анализ параметров помещения и подтвердила фотофиксация обследуемого участка в местах стыковых соединений с наружной стороны ограждения и земли отмечается выпадение конденсата и накопления влаги в толще наружных ограждений (рисунок 5.1.1 ).

Для исключения выпадения конденсата на поверхностях наружных ограждений и их стыковых соединений необходимо осушить и провести изоляцию наружных ограждений. Кроме этого, было предложено возобновить работу вентиляции в здании, которая на период обследования не работала.

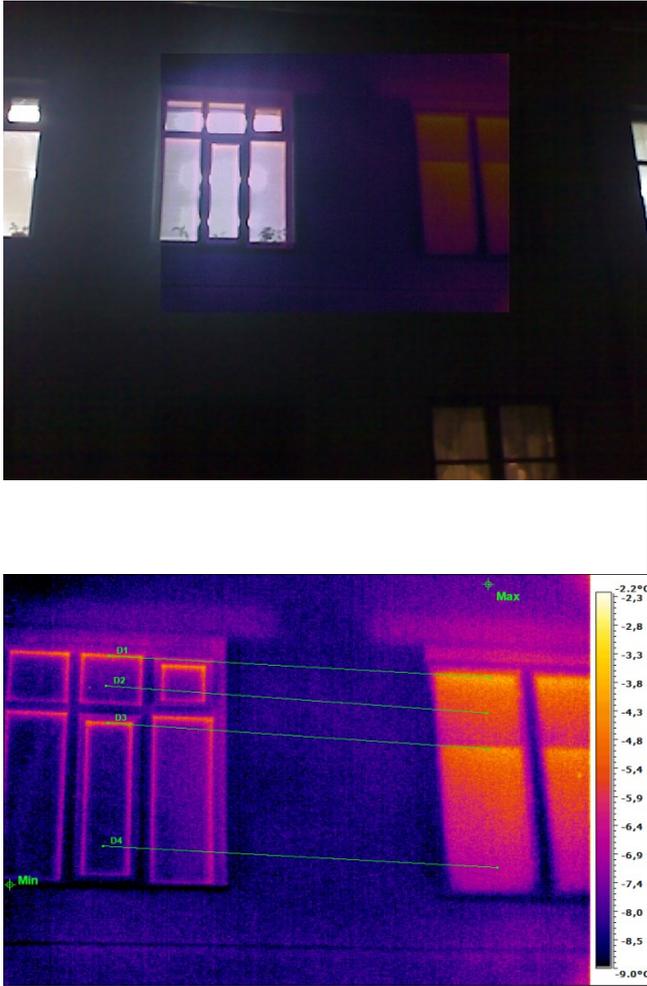
Время съемки: 2015-01-17 2:01 PM			Место съемки: Новопокровка, Чуйская область, Кыргызстан		
Файл	IR001641	День	17.01.2015 г.	Дата:	4:58:41
Emissivity	0,98	$\varphi_B$	70%	$t_{\text{мин}}$	-10,4 °C
Ambient	18,6 °C			$t_{\text{макс}}$	10,1 °C
IR Image				Параметр объекта	Значение
				Max	10,1°C
				Min	-10,4°C
				D1:Темп.-А	-4,8°C
				D1:Темп.-В	-4,4°C
				D1:Разность температур	0,4°C
				D1:Отношение	100,0%
				D2:Темп.-А	-7,5°C
				D2:Темп.-В	-5,3°C
				D2:Разность температур	2,2°C
				D2:Отношение	100,0%
				D3:Темп.-А	-5,3°C
				D3:Темп.-В	-4,4°C
				D3:Разность температур	0,9°C
				D3:Отношение	100,0%
D4:Темп.-А	-8,6°C				
D4:Темп.-В	-6,6°C				
D4:Разность температур	2,0°C				
D4:Отношение	100,0%				

Рисунок 5.1.2. - Фотофиксация оконных проемов здания в зимний период года

Для выбора целесообразных тепловлажностных режимов СОМ выполнен теплотехнический расчет по определению требуемого и фактического сопротивления теплопередачи элементов оболочки здания, тепловой отопительной нагрузки и воздухообмен для вентиляции.

Для оценки теплозащитных качеств основных элементов конструкций зданий были рассчитаны величины сопротивления теплопередачи, которые сравнивались с требуемой величиной сопротивления теплопередачи.

Величина сопротивления теплопередачи многослойного наружного ограждения составила  $1,22 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$  при нормативной величине равной  $0,41 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$  по СНиП [55]. Коэффициент теплопередачи чердачного перекрытия составил  $0,79 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$  и не соответствовал нормативной величине равной  $0,27 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ .

Во время обследования установлено, что существующая приточно-вытяжная вентиляция не работает длительное время, а мощность локальной угольной котельной для выработки тепловой энергии недостаточно для отопления всего здания в зимний период года, что подтвердилось полученными экспериментальными данными обследования. Поэтому для поддержания комфортных условий в классах в зимний период года использовались дополнительные электрообогреватели, что приводило к увеличению расхода электрической энергии и денежных средств на их приобретение.

По итогам обследования, установлено, что фактическая отопительная нагрузка системы отопления составила  $232,7 \text{ Гкал}$ , а фактический расход угля -  $129,3 \text{ тонн}$ . Как показал расчет, для поддержания оптимальных параметров внутреннего воздуха в помещениях школы необходима выработка тепловой энергии в отопительный период в объеме  $395,23 \text{ Гкал.}$ , расход угля при этом составит  $219,6 \text{ тонн}$ .

Необходимо отметить, что при расчете технико-экономических показателей за базовый год принимался 2013 год. Расчетные нормативные и фактические отопительные нагрузки представлены в таблице 5.1.1.

Таблица 5.1.1 - Расчетное и фактическое потребление тепловой энергии на отопление

Объем здания по наружн. обмеру	Удельная отопительная характеристика	Внутренняя температура	Январь	Февраль	Март	Ноябрь	Декабрь	Расход тепловой энергии за год
м <sup>3</sup>	ккал/(м <sup>3</sup> °С)	°С	Потребление тепловой энергии, Гкал					Гкал
11440	0,382	20	97,52	80,68	62,41	66,06	88,55	395,23
При фактической температуре, °С		15	58,90	54,96	20,67	38,13	60,07	232,7

По итогам энергетического аудита и проведенных расчетов технико-экономических показателей здания школы, а также в целях обеспечения оптимальных параметров воздушной среды, исключения выпадения конденсата на поверхностях ограждений руководству школы были рекомендованы следующие мероприятия:

1. Замена деревянных окон на энергоэффективные пластиковые окна.
2. Утепление наружных ограждений и чердачного перекрытия здания теплоизоляционным эффективным материалом.
3. Восстановление работы приточно-вытяжной вентиляции с целью недопущения выпадения конденсата на поверхностях ограждений и их стыковых соединений

## **5.2. Рекомендации по выбору целесообразных тепловлажностных режимов помещений и работы СОМ помещений**

Выбор целесообразных тепловлажностных характеристик ограждений

помещения и режимов работы СОМ, включая подбор энергоэффективных теплоизоляционных материалов, обеспечивающих оптимальную температуру температуры поверхностей ограждений, температуру и влажность воздуха помещений школы могут быть достигнуты за счет внедрения энергосберегающих мероприятий.

Расчет для выбора целесообразных тепловлажностных режимов СОМ и эффективных теплоизоляционных материалов, используемых для поддержания оптимальных параметров температуры и влажности воздуха, осуществлялся с помощью программы ENSI «KN. Ключевые числа». Исходными данными были: теплофизические характеристики ограждений, расходы энергоносителей и затраты на их покупку в базовом 2013 году, а также параметры согласно действующим нормативным документам. При расчете текущая цена на тепловую энергию была 0,025 \$/кВтч, с учетом НДС. Необходимый объем тепловой энергии и воздуха приточно-вытяжной вентиляции рассчитывался с учетом обеспечения нормативной температуры внутреннего воздуха 20<sup>0</sup>С в помещениях школы, до внедрения энергоэффективных мероприятий.

С помощью программы был рассчитан потенциал энергосбережения, с учетом энергосберегающих мероприятий, удельный расход энергии для отопления и вентиляции до и после внедрения предлагаемых энергосберегающих мероприятий (ЭС). Фактические и нормативные величины расчетного удельного потребления энергии отопления и вентиляции, до и после проведения энергосберегающих мероприятий, представлены в таблице 5.2.1.

На рисунке 5.2.1. показана диаграмма расчетного нормативного удельного потребления энергии, расчетного удельного потребления энергии до внедрения энергосберегающих мероприятий (до ЭС) и после внедрения ЭС при работе системы отопления и вентиляции. При фактической средневзвешенной температуре внутреннего воздуха равной 15<sup>0</sup>С до внедрения ЭС и при работе системы отопления и вентиляции, расчетное удельное потребление энергии системы отопления составило 194,1 кВт·ч/м<sup>2</sup>, а вентиляции – 34,7 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Таблица 5.2.1 - Удельное потребление энергии до и после внедрения энергосберегающих мероприятий

Наименование системы обеспечения микроклимата	Расчетное удельное потребление энергии ( $t_{вн}=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) до ЭС кВт·ч/м <sup>2</sup> в год	Расчетное удельное нормативное потребление энергии до ЭС ( $t_{вн}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) кВт·ч/м <sup>2</sup> в год	Расчетное удельное нормативное потребление энергии после ЭС кВт·ч/м <sup>2</sup> в год
1. Отопление	194,1	248,6	60,2
2. Вентиляция	34,7	34,7	34,7
<b>Всего:</b>	228,80	283,3	94,9

До внедрения ЭС и при работе системы отопления и вентиляции при нормативной температуре внутреннего воздуха равной 20°C, расчетное удельное потребление энергии системы отопления составило 248,6 кВт·ч/м<sup>2</sup> и вентиляции – 34,7 кВт·ч/м<sup>2</sup>, а после внедрения - расчетное удельное потребление энергии системы отопления составило 60,2 кВт·ч/м<sup>2</sup>, а вентиляции – 34,7 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

При расчетах удельного потребления энергии системы отопления в качестве ЭС мероприятий рассматривались - утепление чердачного покрытия и наружных стен теплоизоляционным материалом – плитами из базальтового волокна, а также замена деревянных окон на энергоэффективные пластиковые окна.

В базовом 2013 году фактическое удельное потребление энергии при работе системы отопления и вентиляции до внедрения ЭС мероприятий, составило 154,7 кВт·ч/м<sup>2</sup>, что в 1,5 раза ниже расчетного удельного потребления энергии равного 228,8 кВт·ч/м<sup>2</sup> на период проведения аудита. Причиной этому, были неэффективные режимы работы системы отопления, некачественный уголь, низкие теплозащитные качества конструкций здания и отсутствие вентиляции. После внедрения энергосберегающих мероприятий

годовая величина удельного потребления энергии здания снизилась до 94,9 кВтч/м<sup>2</sup>

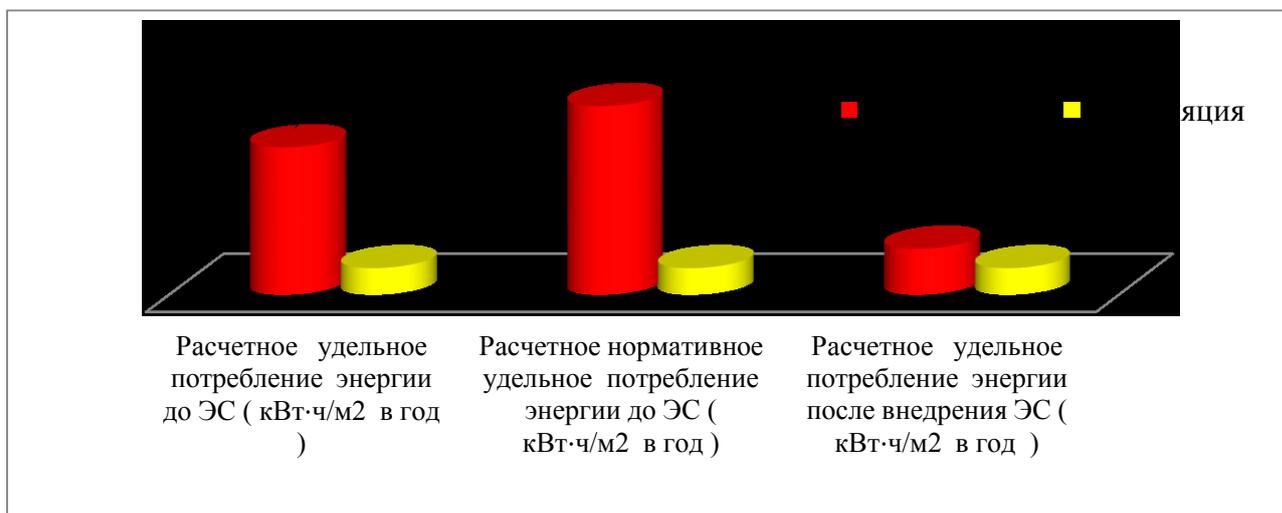


Рисунок 5.2.1. - Расчетные фактические и нормативные удельные потребности энергии до и после энергосберегающих мероприятий

Анализ расчетного удельного потребления энергии системы отопления и вентиляции показал целесообразность выбранных тепловлажностных режимов систем обеспечения микроклимата при внедрении рекомендуемых ниже энергосберегающих мероприятий:

1. Утепление чердачного покрытия теплоизоляционным материалом - плитами из базальтового волокна толщиной  $\delta = 50$  мм, а наружных ограждений - толщиной  $\delta = 100$  мм.
2. Замена деревянных окон на энергоэффективные пластиковые окна.

### 5.3. Техничко-экономические показатели энергосберегающих мероприятий для достижения целесообразных тепловлажностных режимов помещения

При определении технико-экономических показателей после внедрения энергосберегающих мероприятий для достижения целесообразных тепловлажностных режимов помещения использовался программный продукт

ENSI EAB, величины которых, включая потенциал энергосбережения, приведены в таблицах 5.3.1. и 5.3.2.

Таблица 5.3.1. - Техничко-экономические показатели при внедрении энергосберегающих мероприятий

Наименование	Замена деревянных окон	Утепление чердачного перекрытия	Утепление наружных ограждений
1	2	3	4
Расход энергии, кВтч/год	131711	74308	151360
Экономия энергии, \$/год	3293	1858	3784
Затраты, \$/год			
Материалы	33 040	7885	15 213
Монтаж	2 562	1182	3 043
Другие затраты	3 304	786	1 521
Налоги с учетом НДС	4 669	1182	2373
Затраты всего, \$/год	43 574	11 085	22159

Таблица 5.3.2. - Потенциал энергосбережения при внедрении энергосберегающих мероприятий

Потенциал сохранения Энергии – Энергетический Аудит						
Площадь поверхности для теплоизоляции здания $S_{\text{обогр.}} = 3154 \text{ м}^2$						
№ п/п	Мероприятия по сохранению энергии	Инвестиции, \$	Чистая экономия		Срок окупаемости лет	К-т чистой приведен. прибыли, NPVQ
			кВт·ч/год	\$/год		
1.	Замена окон	43574	131711	3293	10,3	-0,48

2.	Утепление крыши	11085	74308	1858	4,8	0,16
3.	Утепление стен	22159	151360	3784	4,6	0,19
ИТОГО:		76818	357379	8935	6,5	

Итоги энергетического обследования здания школы экспресс-методом показали, что наиболее рентабельным из рекомендуемых мер по энергосбережению является утепление чердачного перекрытия и наружных ограждений. При этом, экономия энергии составила 225 668 кВт·ч/год на сумму 330,0 тыс. сомов в год (таблица 5.3.3).

Таблица 5.3.3. - Экономические показатели школы, полученные в ходе энергообследования

Наименование	Ед. измерения	Количество
Чистая экономия энергии	кВт·ч/год	357379
Чистая экономия	\$/год	8935
Общие инвестиции	\$	76818
Общий срок окупаемости	лет	6,5

## ВЫВОДЫ

1. Осуществлен сбор информации о технических характеристиках основных элементов оболочки здания (окна, двери, наружные ограждения, пол и потолок), режимах работы СОМ, расходах энергоносителей.

2. Проведено визуальное, инструментальное и тепловизионное исследование тепловлажностных параметров внутреннего и наружного воздуха, температуры на внутренних и внешних поверхностях элементов оболочки здания с использованием современных измерительных приборов.

3. Рассчитаны показатели теплозащитных качеств элементов оболочки здания с целью выбора энергоэффективных теплоизоляционных материалов для ограждений в целях обеспечения поддержания тепловлажностных режимов работы систем обеспечения микроклимата здания в допустимых пределах.

4. Проведен расчет теплотехнических показателей ограждающих конструкций здания и их стыковых соединений и выполнен выбор целесообразных тепловлажностных режимов СОМ с целью исключения выпадения конденсата на поверхностях ограждений и обеспечения рационального и экономного расходования энергоносителей.

5. Проведен технико-экономический расчет по выбору целесообразных тепловлажностных режимов СОМ при внедрении энергоэффективных мероприятий. Экономия энергии при внедрении мероприятий по утеплению наружных ограждений и чердачного перекрытия и замене старых окон на эффективные пластиковые окна, рассчитанная с помощью компьютерной программы ENSI «KN. Ключевые числа», составляет 151,36 тыс. кВтч/год или 330,0 тыс. сомов в год. Срок окупаемости составляет 6 лет.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Проведен анализ литературных источников, изучены современное состояние основ теории теплового переноса и особенности тепловлажностного режима помещения, исследованы современные теоретические, экспериментальные, лабораторные и практические методы решения тепловлажностного режима помещений и наружных ограждений зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги на основе различных теорий теплового переноса.

2. Разработана и решена задача прогнозирования тепловлажностного режима помещений зданий, основанная на математической модели, при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги с некоторыми

допущениями с использованием конечно-разностного численного метода по неявной схеме на основе теории потенциала влажности.

3. Разработан комплекс прикладных программ для расчета, моделирования и оптимизации выбора целесообразных тепловлажностных режимов систем обеспечения микроклимата помещений зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги для решения предложенной математической модели.

4. Проведены экспериментальные исследования тепловлажностного режима помещения и наружного климата на примере влажного цеха производственного здания процессов помещений зданий с использованием теории потенциала влажности. Проверено соответствие расчетных результатов математической модели с экспериментальными данными, полученными в натуральных условиях.

5. Проведены лабораторные и экспериментальные исследования тепловлажностных процессов помещений и ограждающих конструкций различных категорий зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги на основе созданных экспериментальных установках в натуральных условиях.

6. Проведен анализ расчетных, экспериментальных и нормативных данных тепловлажностных режимов систем обеспечения микроклимата при переменных воздействиях теплоты и влаги, полученных для помещений и ограждений различных категорий зданий с целью выбора целесообразных тепловлажностных режимов обеспечения микроклимата помещений, улучшения теплозащитных качеств ограждений и увеличения долговечности наружных ограждений.

7. Проведены технико-экономические расчеты выбора целесообразных тепловлажностных режимов СОМ при внедрении энергоэффективных мероприятий для здания школы с экономией энергии в объеме 151,36 тыс. кВтч/год или 3 784 дол. США/год при сроке окупаемости 6 лет.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Разработанные модели расчета, моделирования и оптимизация тепловлажностного режима помещения здания позволяют вырабатывать научно обоснованные решения при проектировании и эксплуатации производственных зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги. Разработанный комплекс программ для расчета, моделирования и оптимизации тепловлажностного режима помещения здания можно использовать в проектных, научно-исследовательских институтах и в проектных отделах в производственных зданиях, занимающихся вопросами энергосбережения.

По итогам экспериментальных натурных исследований наружных ограждений панельного и кирпичного зданий было предложено усовершенствование и применение «сухих стыков» для панельных домов массового строительства с целью исключения выпадения конденсата и накопления влаги в толще стыковых соединений для улучшения теплозащитных качеств стыковых соединений и увеличения долговечности здания.

В ходе энергетического обследования (аудит) руководству школы-лицея было рекомендовано возобновить работу систему вентиляции, высушить стены площадью 1383 м<sup>2</sup> и произвести тепловую изоляцию наружных стен и чердачного перекрытие плитами из базальтового волокна толщиной 100 мм и 50 мм соответственно . Экономия энергии при этом составит 151,36 тыс. кВт·ч/год на сумму 330,0 тыс. сомов в год. Акты внедрения прилагаются (Приложение 5).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Богословский, В.Н. Расчет тепловлажного режима наружных ограждений зданий методом гидравлических аналогий [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В.Н. Богословский. - Москва, 1953
2. Богословский, В.Н. Исследования температурно-влажностного режима наружных ограждений зданий методом гидравлических аналогий [Текст]: автореф. дис. ... канд. тех. наук / В.Н. Богословский. – Москва, 1954 г. – 18 с.
3. Богословский, В.Н. О потенциале влажности [Текст] : ИФЖ. Т. 8. № 2./ В.Н. Богословский. - Москва, 1965.
4. Богословский, В.Н. Шкала относительного потенциала влажности и ее использование для оценки влажностного режима ограждений [Текст]: сб.тр. МИСИ / В.Н. Богословский, Е.И. Тертичник. - Москва, 1969, № 68 -
5. Богословский, В.Н. К определению потенциала влажности наружного климата [Текст]: / В.Н. Богословский, Б.В. Абрамов // Сб. тр. МИСИ вып. 176 - Москва, 1980, - С.33-41 .
6. Богословский, В.Н. Оптимизация систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и теплогазоснабжения [Текст]: / В.Н. Богословский, Н.И. Жирнов, АА. Ионин // Москва, 1980.– 203 с.
7. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика [Текст]: /В.Н. Богословский – М., 1982.- 416 с.
8. Богословский, В.Н. Применение потенциала влажности к расчету теплообмена между воздухом и жидкостью [Текст]: / В.Н. Богословский, А.Н. Гвоздков // Водоснабжение и санитарная техника. –1985. –№ 10. – С. 8 - 9.
9. Богословский, В.Н. Потенциал влажности. Теоретические основы [Текст]: / В.Н. Богословский, В.Г. Гагарин // Российская академия

- архитектуры и строительства. Вестник отделения строительных наук. - Москва, 1996. - Вып. 1. - С. 12 -14.
10. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) [Текст]: учебник / В.Н. Богословский. - АВОК Северо-Запад. – Изд. 3-е, 2006. - 400 с.
  11. Богословский, В.Н. Основы теории потенциала влажности материала применительно к наружным ограждениям оболочки зданий [Текст]: монография // В.Н. Богословский под ред. В.Г. Гагарина // МОН РФ, ФГБОУ ВПО МГСУ, 2013. - 112 с.
  12. Бодров, М.В. Создание энергоэффективных вентиляционных систем в помещениях птицефабрик [Текст] / М.В. Бодров, А.Е.Руин, А.А.Смыков, А.Ф.Юланова // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика, - М., 2024. №1 – С.20-24.
  13. Бодров, М.В. Испытание лабораторной модели лучистой системы отопления на базе водяных инфракрасных излучателей [Текст] / М.В.Бодров, А.А.Смыков // СОК, 2023, №3 – С.40-41.
  14. Боронбаев, Э.К. Математическая модель тепловлажностного режима помещений зданий [Текст]: / Э.К. Боронбаев, Г.Т. Касымова, А.М. Абдылдаева // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. - Бишкек, 2019. - вып. №2. – С.3-9.
  15. Боронбаев, Э.К. Натурные исследования суточного изменения температуры на внешней и внутренней поверхностях наружных стен здания [Текст]: / Э.К. Боронбаев // Промышленное и гражданское строительство. – Бишкек, 2011. – № 2. – С. 57-58.
  16. Боронбаев, Э.К. Концепция оптимизации «ножниц» потерь и поступлений теплоты здания [Текст]: / Э.К. Боронбаев //

- Объединенный научный журнал. – Москва: Тезарус, 2002. – № 31 (54). – С. 64-67.
17. Боронбаев, Э.К. Графики оптимизации круглогодичных режимов теплообеспечения микроклимата в здании [Текст]: / Э.К. Боронбаев // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск, 2004. – № 10. – С. 60-64.
  18. Боронбаев, Э.К. Исследование теплового режима мавзолея Шах-Фазиль [Текст]: / Э.К. Боронбаев, Д.Д. Иманкулов, А.М. Абдылдаева, Б.В. Абрамов, Ю.В. Поляков // Вестник КГУСТА. 2017. №1(55). – С. 181-187.
  19. Брилинг, Р.Е. Миграция влаги в строительных ограждениях [Текст]: / Р.Е. Брилинг. - Исследования по строительной физике.- ЦНИПС. - М.: Л., 1949. ЖЗ.- С. 85-120.
  20. Брилинг, Р.Е. Исследования морозостойкости строительных материалов в наружных ограждениях [Текст]: / Р.Е. Брилинг. - ЦНИПС, 1951. Я4. - С. 60-84.
  21. Власов, О.Е. Основы строительной теплотехники [Текст]: / О.Е. Власов. - М.:ВИА, 1938.
  22. Власов, О.Е. Основы теории капиллярной диффузии [Текст]: / О.Е. Власов. - ЦНИИПС, 1940.
  23. Власов, О.Е. и др. Долговечность ограждающих и строительных конструкций [Текст]: / О.Е Власов и др. - М.: НШСФ, 1963. - 116 с.
  24. Гагарин, В.Г. Математическая модель и инженерный метод расчета влажностного состояния ограждающих конструкций [Текст]: / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Academia. Архитектура и строительство.- М.: 2006. - № 2.
  25. Гагарин, В.Г. Исследование потенциальности векторного поля потока влаги в капиллярно-пористом материале методами векторного анализа

- [Текст]:/ В.Г. Гагарин. - Academia. Архитектура и строительство. М., 2008. - № 3.- С. 70—73.
26. Горочек, Е.В. Прочность и жесткость стыковых соединений панельных конструкций [Текст]: / Е.В. Горочек, В.И. Лишак и др. // М., 1980. – С. 36-37, 98-99, 155-156.
  27. ГОСТ 24555-81. СГИП. Порядок аттестации испытательного оборудования. Основные положения. [Текст]. – Введ.
  28. ГОСТ 24104-80. Весы лабораторные общего назначения и образцовые. Общие технические условия. [Текст]. - Введ. Указатель 1988. Госстандарты СССР. Том 4.
  29. ГОСТ 8. 513-84 Государственная система измерений. Проверка средств измерений. Организация и порядок проведения. [Текст]. - Введ:
  30. Ильинский, В.М. Расчет влажностного состояния ограждающих конструкций при диффузии водяного пара [Текст]: / В.М. Ильинский.- Промышленное строительство, 1965. - № 2. - С. 223-228.
  31. Ильинский, В.М. Коэффициенты переноса водяного пара для расчета влажностного состояния ограждающих конструкций зданий [Текст]: / В.М. Ильинский. - ИФЖ. 1965. - Т.8. - С. 223-228.
  32. Ильинский, В.М: Строительная теплофизика [Текст]: / В.М. Ильинский. - М.:Высш. шк., 1974. - 320 с.
  33. Касымова, Г.Т. Энергобезопасность Кыргызской Республики в региональном разрезе [Текст]: / Г.Т. Касымова. - Экономический вестник, НВЦ «Экономист», Бишкек, 2000.- С. 27-36.
  34. Касымова, Г.Т. Бюджетная сфера Кыргызской Республики на энергосберегающем пути развития [Текст]: / Г.Т. Касымова. - Международная научно-практическая конференции «Энергетика: состояние, проблемы, перспективы», Бишкек, 2014. - С. 206-209.
  35. Касымова, Г.Т. Исследования теплозащитных качеств ограждающих конструкций и стыковых соединений панельных и кирпичных жилых

- домов [Текст]: / Г.Т. Касымова, А.М. Абдылдаева. - Вестник, КГУСТА, вып. №4 (62), Бишкек, 2018. - С. 145-153.
36. Касымова, Г.Т. Сравнение результатов натуральных исследований с математической моделью тепловлажностного режима помещения при нестационарных внутренних и внешних воздействиях [Текст]: / Г.Т. Касымова, А.М. Абдылдаева. - Вестник, КГУСТА, вып. №4 (62), Бишкек, 2018. - С. 154-164
37. Касымова, Г.Т. Применение инновационных теплоизоляционных материалов «Изоллат» при тепловлажностных воздействиях климата на предприятиях топливно-энергетического комплекса Кыргызской Республики [Текст]: / Г.Т. Касымова, Н.А. Богатова, Г.А. Стамбекова. - Известия №4 (48), КГТУ, Бишкек, 2018. – С. 108-115.
38. Касымова, Г.Т. Политика энергосбережения в теплоэнергетической отрасли Кыргызской Республики [Текст] / Г.Т. Касымова. - Известия № 4 (48) КГТУ, Бишкек, 2018. – С.133-137.
39. Касымова, Г.Т. Продвижение политики энергосбережения в Кыргызской Республике [Текст] / Касымова Г.Т. // Материалы Международной научно-технической конференции, Самара, 2019. – С.
40. Касымова Г.Т. Энергосбережение в общественных зданиях бюджетной сферы при различных климатических условиях Кыргызской Республики [Текст] / Касымова Г.Т., Абдылдаева А.М. // Вестник, СамГТУ, Самара, 2019. –С.27-30.
41. Касымова Г.Т. Отчет о научно-исследовательской работе «Провести исследования по определению теплофизических характеристик и воздухопроницаемости стыков наружных ограждений для панельных жилых домов для условий Кыргызской ССР [Текст]: / Г.Т. Касымова, В.И. Саньков, М.С. Чейчебаев, Т.А. Асанбеков // Бишкек, 1990, УДК 699.86:692.237, № гос. регистрации 01890048176.

42. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики [Текст]: // Минск, АН БССР, 1963, 520 с.
43. Лыков, А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах [Текст] / А.В. Лыков. – М.: Гостехиздат, 1954. 296 с.
44. Лыков, А.В. Теория тепло- и массопереноса [Текст] / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов // М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. 535 с.
45. Лукьянов В.И. Определение тепловлажностного режима ограждающих конструкций зданий на ЭВМ БЭСМ-2М [Текст] // Вычислительная и организационная техника в строительстве и проектировании. М., 1966. № 4.
46. Лукьянов В.И., Перехоженцев А.Г. Температурно-влажностное состояние неоднородных ограждающих конструкций при нестационарных условиях тепло- и массопереноса (постановка задачи для решения на ЭВМ) [Текст]: // Вопросы гражданского и промышленного строительства. Волгоград, 1976. С. 59-66.
47. Лукьянов В.И. Снижение потерь тепла через наружные стены за счет оптимизации их влажностного режима. [Текст]: // Исследования по вопросам экономии энергии при строительстве и эксплуатации зданий: Науч. тр. НММСФ. М., 1982. С. 140-145.
48. Мачинский В.Д. Теплотехнические основы гражданского строительства. [Текст]: // М. Госиздат, 1928. 262 с.
49. Мачинский В.Д. Метод характеристических величин в строительной теплотехнике. [Текст]: // М., 1950. 88 с.
50. Мачинский В.Д. О конденсации паров воздуха в строительных ограждениях [Текст]: // Строительная промышленность. 1927. I. С. 60-62.
51. Мачинский В.Д. К вопросу о конденсации водяных паров в строительных ограждениях [Текст]: // Вестник инженеров и техников. 1935. III. С. 742-745.

52. Межгосударственный стандарт ГОСТ 9245-79. Потенциометры постоянного тока измерительные [Текст]: // Общие технические условия. Госстандарта СССР, 26 марта 1979 г. N 1067. Взамен ГОСТ 9245-68 1973 г.
53. Одельский Э.Х. Графоаналитический метод построения тепло-влажностной характеристики деревянных покрытий [Текст]: // Минск, 1937. 48 с.
54. ОСТ 20-2-74 Методы проверки теплозащитных качеств и воздухопроницаемости ограждающих конструкций в крупнопанельных зданиях [Текст]: // Москва, Стройиздат, 1976. ЦНИИЭП жилище. Актуализирован 01.01.2021. 42 с.
55. Поликанов М.В. Оптимальная влажность ограждения с пароизоляцией из бетона [Текст]: // "Строительство и архитектура". Новосибирск, 1966. С. П2-П20.
56. Постановление Правительства Кыргызской Республики № 47 от 13.02.2008 года «Национальная энергетическая программа Кыргызской Республики на 2008- 2010 г. г. и Стратегия развития топливно-энергетического комплекса до 2025 года»
57. Постановление Правительства Кыргызской республики №601 от 25 августа 2015 года «Об утверждении Программы Правительства Кыргызской Республики по энергосбережению и планированию политики по энергоэффективности в Кыргызской Республики на 2015 -2017 годы»
58. Постановление Правительства Кыргызской Республики №5 от 4 января 2017 года «О внесении изменений и дополнения в Постановление Правительства Кыргызской Республики «Об утверждении Программы Правительства Кыргызской Республики по энергосбережению и планированию политики по

- энергоэффективности в Кыргызской Республики на 2015 -2017 годы» от 25 августа 2015 года №601»
59. Родина, Е.М. Решение задач энергосбережения и энергоэффективности в Кыргызской Республике [Текст]: / Е.М. Родина, Г.Т. Касымова. - Материалы VI Международной научно-практической конференции «Наука XXI века: проблемы и перспективы». - Уфа, 2018. – С. 72-76.
  60. Родина, Е.М. Изменение климата – главный вызов экологической безопасности среднеазиатского региона [Текст]: / Е.М. Родина, Г.Т. Касымова. - Материалы в Сборнике научных трудов КРСУ «Технические средства мониторинга гидротехнических сооружений и экологическая безопасность среднеазиатского региона». - Бишкек, 2018 г. – С. 24-31.
  61. Рекомендации по расчету и конструированию монолитных и панельных стен жилых зданий для сейсмических районов [Текст]: / ЦНИИЭП жилища. – М, 1985, с. 52.
  62. Рекомендации по применению программы «СТЫК» для расчета прочности и податливости стыков крупнопанельных зданий [Текст]: / ЦНИИЭП жилища – М,1987, с. 3-7.
  63. Рекомендации по проверке и учету воздухопроницаемости наружных ограждающих конструкций жилых зданий [Текст]: / ЦНИИЭП жилища. – М, 1983. с. 4-49, 61-63.
  64. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика [Текст]:. Москва, 1958.
  65. Рымаров, А.Г. Особенности прогнозирования микроклимата в помещениях и зданиях с применением мониторинга параметров микроклимата в помещении [Текст]: / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов, В.В. Савичев // Сантехника, отопление, кондиционирование. С.О.К. - 2009. - №5. - С. 78-81.
  66. Рымаров, А. Г. Особенности действия температурно-влажностного режима в системе вентиляции с регенерацией воздуха [ Текст ]:

- / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Научное обозрение. - 2013. - № 12. - С. 112-115.
67. Рымаров, А. Г. Математическая модель процессов распределения примесей в воздухе при неорганизованном поступлении вредных веществ: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.03 [Текст]: / Рымаров Андрей Георгиевич. -М., 1995. - 19 с.
68. Рымаров, А.Г. Прогнозирование долговечности несущих ограждающих конструкций помещения бассейна под влиянием тепло-влажностно-газового режима. Материалы Академических чтений «Актуальные вопросы строительной физики» [Текст]: / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов // Academia. Архитектура и строительство. - 2009. - №5. - С. 525-526.
69. Рымаров, А.Г., Смирнов, В.В. Сущность метода энергетического обследования объекта строительства (энергоаудит) [Текст]: / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов // Строительная инженерия. - 2007. - №1. - С. 56-62.
70. Самарский А.А. Теория разностных схем [Текст]: М. Наука, 1977, 656 с.
71. СП КР 23-101 - 2013. Проектирование тепловой защиты зданий [Текст]. – Госстрой КР: взамен СНиП КР 23.01.2009. – Введ. 2013-01-07.- Бишкек: 2013. – С. 58.
72. СНиП КР 23-02-00 Строительная климатология (взамен СНиПа 2.01.01.-82 Строительная климатология и геофизика) [Текст]:
73. СНиП КР 23-01:2013. Строительная теплотехника (Тепловая защита зданий) [Текст]:. Госстрой КР: взамен СНиП КР 23.01.2009. дата введ. 01.07.2013 г. Бишкек, 2013.– С. 58.
74. Тертичник Е.И. Определение влажностных характеристик строительных материалов способом разрезной колонки [Текст]: // Инженерно-физический журнал. 1965. Т. 8. № 12. С. 247—250.

75. Тертичник Е.И. Исследование влажностного состояния наружных ограждений зданий на основе потенциала влажности [Текст]: Диссертация на присуждение кандидата технических наук. М.: МИСИ, 1966.
76. Тертичник, Е.И. Тепловлажностный режим наружных ограждений при периодической работе системы кондиционирования микроклимата [Текст]: / Е.И. Тертичник, Г.Т. Касымова. - Республиканская научно-практическая конференция. Совершенствование методов рационального использования водных ресурсов. Госкомприроды КР, Минводхоз КР, МНО КР, ФПИ. – Бишкек, 1989. - С. 91-92.
77. Тертичник, Е. И. Шкала потенциала влажности для изотермических и неизотермических условий влагопередачи [Текст]: / Е. И. Тертичник. – Сб. труд. МИСИ. М., 1976. - № 19. - С. 55-60.
78. Третьяков, А. Сырость и меры борьбы против нее в жилищах [Текст]: /А. Третьяков. - Инженерный журн. 1916. J6 4. С. 311-347; J6 5.- С. 415-460.
79. Ушков, Ф.В. Теплотехнические свойства крупнопанельных зданий и расчет стыков [Текст]: / Ф.В. Ушков. – М, 1967. - 125 с.
80. Ушков, Ф.В. Метод расчета увлажнения ограждающих частей зданий [Текст]: /Ф.В. Ушков. - МКХ РСФСР. М., 1955. - 104 с.
81. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий [Текст]: / К.Ф. Фокин. - 5-е изд. М., 2006. - 256 с.
82. Франчук, А.У. Вопросы теории и расчета влажности ограждающих частей зданий [Текст]: / А.У. Франчук. - М.: Стройиздат, 1957. - 188 с.
83. Франчук, А.У. Теоретические основы и метод расчета увлажнения ограждающих частей зданий [Текст]: / А.У. Франчук. -М.: 1951.- С. 17-59.

84. Шкловер, А.М. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий [Текст]: / А.М. Шкловер, Б.Ф. Васильев, Ф.В. Ушков. - М., 1956. - 350 с.
85. Эштейн, А. С. Механизм движения влаги в некоторых строительных материалах при перепаде температур [Текст]:. / А.С. Эштейн. - Киев, 1953. - 16 с.
86. Ясин, Ю.Д. Термодинамическая интерпретация математической модели равновесного состояния фаз влаги в капиллярно-пористых материалах [Текст]: /Ю.Д. Ясин. -ИФЖ. 1984. Т. 47. Л 3. - С. 221
87. Arsad F.A., Hod R., Assesment of indoor thermal comfort behavioural adaptations:a systematic review [Text]: /Environmental Science and Pollution Research, 2023, V.30 - p.73137-73149
88. Afonso, C.F.A., Maldonado, E.A.B., Skaret, E.A.A. Single Tracer-gas Method to Characterize Multi-room Air Exchanges [Text]: / C.F.A. Afonso, E.A.B. Maldonado, E.A.A. Skaret // Energy and Buildings. - 1986. - 9. - p. 273 - 280.
89. Bodrov,M/ Energy efficiency of radiant eating based on water emitting profiles [Text] / M.Bodrov, A. Smykov // 2022. Construction of Unique Buildings and Structures - 104 Article № 10402/ doi: 10.4123/CUBS.104.02
90. Brukhanov, O., Rymarov, A., Malysheva, A., Titkov, D. Analysis of heat losses of underground tunnel for engineering utilities with available methods [Text]: / O. Brukhanov, A. Rymarov, A. Malysheva, D. Titkov // MATEC Web of Conferences . - 2016. -V.86. - 04028.
91. Buonomano A., Montanaro U., Palombo A., Santini S., Temperature and humidity adaptive control in multi-enclosed thermal zones under unexpected external disturbances, [Text]: / Energy and Builings, 2016, V.135, P. 263-285, DOI:10.1016/j.enbuild.2016.11.015
92. Dawoodjee I., Talami R. , Ghahramani A., “Quanifyng Energy Savings from Optimal Selection of HVAC Tempurate Setpoints and Setbacks across

- diverse Occupancy Rates and Patterns” [Text]:. / Buildings, 2023, 13(12) - P.23 DOI:10.3390/buildings13122998
93. Eguia-Oller P., Alvarez E., Simulation and validation of indoor temperatures and relative humidity in multizone buildings under occupancy conditions using multi-objective calibration, [Text], Building and Environment, 2021, V.200, p.25, DOI: /10.1016 /j.buildenv.2021.107973
  94. He R., Gonzalez H., Comfort-Aware Building Climate Control Using Distributed-Parameter Models, [Text]: / arXiv, 2018, P.10, DOI: /10.48550/arXiv.1708.08495
  95. Lewis G., Wayne G., Humidity Control Design Guide for commercial and Institutional Buildings, [Text]: / Lewis G., Wayne G., - Humidity Control Design Guide - Atlanta, US – 512 p.
  96. Ma X., Yu.S, Shao X., Chen J., Optimal Determining Air Supply Humidity for Multi-Location Demands Under Different Objectives in an Indoor Moisture Environment: A Comprehensive Method and Case Study,[Text]:/Buildings,2024,14(10),P.17,DOI:10.3390/buildings14103326
  97. Peterková J., Zach J., Novák V.,Korjenic A. ,Sulejmanovski A., Sesto E., Optimizing Indoor Microclimate and Thermal Comfort Through Sorptive Active Elements: Stabilizing Humidity for Healthier Living Spaces, [Text]: / Buildings, 2024, 14(12), P.20, DOI:/10.3390/buildings14123836
  98. Ryzhov A., Bischi A., Ouerdane H, Model predictive control of indoor microclimate:existing building stock comfort improvement [Text]:./arXiv,2018,V.179,P.219-228, DOI:/10.1016/.2018.10.046
  99. Rymarov, A., Davidsson, H. Analysis of heat losses in underground tunnels for preheating of ventilation air / A. Rymarov, H. Davidsson // IJCET-IAEME -International Journal of Civil Engineering and Technology. Volume 8, Issue 11, November 2017, p. 1172-1180.

100. Woloszyn M., Rode C., Tools for performance simulation of heat, air and moisture conditions of whole buildings, [Text]:/ Woloszyn M., Rode C., Building Simulation, 2008, - V.1, p. 5-24
101. Yang L., Yan H., Lam J., Thermal comfort and building energy consumption implications, [Text], Applied Energy, 2014, V.11 –164-173 p.

**СОВРЕМЕННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ  
РЕШЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ  
ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ DELPHI В ПРОЦЕДУРЕ PROGK**

```

{ Метод прогонки}
procedure progk (var hx,ht:Real;var np:Integer;var up:MyArray);
var
  i,i1,n1,n2:Integer;
  a1,a1,b1: Real;
  alf,bet: array[1..9] of Real;
{Тело процедуры }
begin
n1:=np-1;
n2:=np-2;
  a1:=ht/sqr(hx);
  a1:=1+2*a1;
b1:=-a1;
{ Прямой ход прогонки }
alf[1]:=-b1/a1;
bet[1]:=(up[2]-b1*up[1])/a1;
  for i:=2 to n2 do
    begin
      alf[i]:=-b1/(b1*alf[i-1]+a1);
      bet[i]:=(-b1*bet[i-1]+up[i+1])/(a1+b1*alf[i-1]);
    end;
{ Обратный ход прогонки}
  up[np]:=(up[np]-b1*up[np-1]-b1*bet[np-1])/(b1*alf[np-1]+a1);
  for i:=1 to n2 do
    begin
      i1:=np-i;

```

```

    up[i1]:=bet[i1-1]+alf[i1-1]*up[i1+1];
end;
end;

```

Программа решения задачи теплопроводности с начальным условием

```

{ Начальноеусловие }
function f(x:Real):Real;
begin
if (x-0.45)<=0 then
f:=12*(x-0.45)+12
else
f:=24-(x-0.45)*17/0.55;
end;

```

ИМЕЕТ ВИД:

```

{ Основная программа }
begin
n:=10;
hx:=0.1; ht:=0.02;
xp[1]:=0; xp[11]:=1.0;
u[1]:=12; u[11]:=7.0;
for i:=2 to n do
begin
x:=(i-1)*hx;
xp[i]:=x;
u[i]:=f(x);
end;
write(' ');
for I:=1 to 11 do
write(' ',xp[i]:4:2);
Writeln;
t:=0;

```

```

write(t:4:2, ' ');
for I:=1 to 11 do
    write(u[i]:5:3, ' ');
    Writeln;
for j:=1 to 50 do
begin
    { прогонка }
    progk(hx,ht,n,u);
    t:=t+ht;
    if t>=tc then
        begin
            tc:=tc+10*ht;
            write(t:4:2, ' ');
            for I:=1 to 11 do
                write(u[i]:5:3, ' ');
            Writeln
        end
    end;
end;
Readln;
end.

```

Приводим скрин примера решения уравнения теплопроводности по программе:

```

C:\Users\Администратор\Desktop\progonpr\Project2.exe
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
0.00 12.000 7.800 9.000 10.200 11.400 22.455 19.364 16.273 13.182 10.091 7.000
0.02 12.000 10.667 10.767 11.750 13.509 16.323 16.070 14.171 11.221 7.291 7.000
0.22 12.000 11.322 10.599 9.792 8.865 7.791 6.557 5.162 3.621 1.964 7.000
0.40 12.000 10.920 9.829 8.717 7.576 6.402 5.191 3.945 2.667 1.366 7.000
0.60 12.000 10.823 9.643 8.460 7.271 6.076 4.874 3.665 2.451 1.231 7.000
0.80 12.000 10.804 9.608 8.411 7.213 6.014 4.814 3.612 2.410 1.206 7.000
1.00 12.000 10.801 9.602 8.402 7.203 6.003 4.803 3.602 2.402 1.201 7.000

```

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

**ПАРАМЕТРЫ ВНУТРЕННЕГО И НАРУЖНОГО ВОЗДУХА И  
ОГРАЖДЕНИЙ КИРПИЧНОГО И ПАНЕЛЬНОГО ЗДАНИЙ,  
ПОЛУЧЕННЫЕ В ХОДЕ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Таблица 1.2 - Показания тепломеров и параметры внутреннего воздуха, полученные в ходе проведения испытаний для кирпичного и панельного зданий

Дата	Время	Тепломеры, Вт/м <sup>2</sup>			Температура, °С	Влажность, %
		1	2	3		
1	2	3	4	5	6	7
а) для кирпичной стены						
16 января	13 <sup>00</sup>	35,32	35,32	36,19	21,6	36
	16 <sup>00</sup>	27,67	26,27	26,27	20,0	37
	19 <sup>00</sup>	29,06	27,67	29,06	18,5	38
	22 <sup>00</sup>	32,54	32,02	32,02	17,0	38
17 января	01 <sup>00</sup>	34,80	34,80	34,80	16,2	38
	04 <sup>00</sup>	33,41	33,41	36,19	15,8	38
	07 <sup>00</sup>	32,02	33,41	37,06	15,5	38
	10 <sup>00</sup>	33,41	32,02	34,80	16,4	37
	13 <sup>00</sup>	27,67	27,67	31,32	18,5	38
	16 <sup>00</sup>	26,27	29,06	31,32	20,5	36
	19 <sup>00</sup>	27,67	29,06	29,06	20,0	36
18 января	22 <sup>00</sup>	20,53	21,92	21,92	21,5	35
	01 <sup>00</sup>	17,75	17,75	17,75	22,5	34
	04 <sup>00</sup>	14,79	14,79	15,49	23,8	33
	07 <sup>00</sup>	12,18	12,18	14,27	24,5	33
	10 <sup>00</sup>	14,79	12,18	15,49	24,0	32
	13 <sup>00</sup>	15,49	13,39	14,79	24,5	30
	16 <sup>00</sup>	17,75	16,35	17,75	22,0	28
	19 <sup>00</sup>	17,75	17,23	19,14	20,9	32
19 января	22 <sup>00</sup>	18,79	18,27	20,01	20,0	32
	01 <sup>00</sup>	20,53	20,53	21,75	19,5	33
	04 <sup>00</sup>	21,92	20,53	22,79	19,0	34
	07 <sup>00</sup>	23,49	22,79	24,53	18,6	34
	10 <sup>00</sup>	23,49	21,05	23,49	19,4	34
	13 <sup>00</sup>	21,92	20,53	19,14	19,0	36
	16 <sup>00</sup>	21,92	21,05	21,05	18,8	36
	19 <sup>00</sup>	22,79	21,92	20,53	18,5	37
20 января	22 <sup>00</sup>	24,01	23,49	21,05	18,0	36
	01 <sup>00</sup>	24,01	23,49	21,65	17,5	36
	04 <sup>00</sup>	24,38	23,49	23,49	17,2	36
	07 <sup>00</sup>	25,75	24,01	24,88	17,2	36

	10 <sup>00</sup>	24,01	23,49	21,92	16,8	36
20.01.90 13 <sup>00</sup> – 07 <sup>00</sup> 22.01.90						
22 января	10 <sup>00</sup>	33,41	34,80	36,71	22,0	37
	13 <sup>00</sup>	21,05	20,53	21,05	20,0	36
	16 <sup>00</sup>	20,53	20,53	24,01	21,5	37
	19 <sup>00</sup>	20,53	20,53	20,53	21,0	38
	22 <sup>00</sup>	19,14	19,14	20,01	20,05	38
23 января	01 <sup>00</sup>	18,27	18,27	18,27	20,5	38
	04 <sup>00</sup>	17,75	17,75	17,75	20,5	38
	07 <sup>00</sup>	16,36	16,36	16,36	20,5	38
	10 <sup>00</sup>	19,14	19,14	20,53	21,0	38
	13 <sup>00</sup>	15,48	14,79	14,79	23,2	36
	16 <sup>00</sup>	14,79	14,79	16,36	23,5	34
	19 <sup>00</sup>	22,79	22,79	22,79	22,5	36
22 <sup>00</sup>	20,01	18,27	20,53	21,6	36	
24 января	01 <sup>00</sup>	21,05	20,53	23,49	21,0	37
	04 <sup>00</sup>	25,75	24,88	24,88	20,2	37
	07 <sup>00</sup>	26,25	25,75	26,27	20,2	37
	10 <sup>00</sup>	23,49	23,49	24,01	21,0	36
	13 <sup>00</sup>	14,79	13,39	19,14	23,0	36
	16 <sup>00</sup>	14,27	12,55	13,39	23,0	37
	19 <sup>00</sup>	18,27	17,75	17,75	21,0	39
	22 <sup>00</sup>	20,53	18,27	19,14	20,0	40
25 января	01 <sup>00</sup>	21,92	20,53	21,92	19,5	40
	04 <sup>00</sup>	20,53	19,14	20,36	19,0	40
	07 <sup>00</sup>	21,05	19,14	22,79	18,5	38
	10 <sup>00</sup>	21,92	21,92	24,88	18,5	39
	13 <sup>00</sup>	19,14	19,14	21,92	20,0	39
	16 <sup>00</sup>	16,36	14,79	14,79	20,0	39
	19 <sup>00</sup>	23,49	21,05	21,05	18,5	41
	22 <sup>00</sup>	27,66	26,27	26,27	17,5	41
26 января	01 <sup>00</sup>	29,75	28,54	28,54	16,5	41
	04 <sup>00</sup>	30,45	29,75	29,06	16,0	41
	07 <sup>00</sup>	32,02	31,32	30,62	15,0	42
	10 <sup>00</sup>	32,02	32,02	29,06	16,0	42
	13 <sup>00</sup>	22,79	21,92	21,05	19,0	40
	16 <sup>00</sup>	17,23	19,14	28,53	22,0	37
26.01.90 19 <sup>00</sup> – 29.01.90 07 <sup>00</sup>						
29 января	11 <sup>00</sup>	32,01	29,06	24,88	19,0	40
	13 <sup>00</sup>	33,06	30,62	23,49	18,0	40
	16 <sup>00</sup>	24,88	28,54	36,71	21,0	36
Средние за период 23,6 Вт/м <sup>2</sup> (19,83 ккал/м <sup>2</sup> ·ч), t <sub>в</sub> = 19,8, φ = 37%						
а) для панельного ограждения						

22 февраля	18 <sup>00</sup>	41,064	41,064	38,976	21,8	38
	21 <sup>00</sup>	30,450	30,978	28,536	21,5	39
23 февраля	00 <sup>00</sup>	28,884	29,058	26,274	21,7	40
	03 <sup>00</sup>	28,884	29,058	25,404	21,7	41
	06 <sup>00</sup>	29,406	29,406	25,404	21,8	38
	09 <sup>00</sup>	29,754	29,928	26,724	21,9	37
	12 <sup>00</sup>	29,406	29,406	25,665	20,7	36
	15 <sup>00</sup>	28,362	28,536	23,925	20,5	36
	18 <sup>00</sup>	27,144	26,796	23,142	21,0	36
	21 <sup>00</sup>	25,143	25,143	21,054	21,1	37
24 февраля	00 <sup>00</sup>	24,534	24,534	20,973	21,4	38
	03 <sup>00</sup>	25,143	25,665	21,402	21,6	37
	06 <sup>00</sup>	26,535	26,970	22,974	21,7	36
	09 <sup>00</sup>	28,884	29,058	21,315	21,9	37
Средние значения за экспериментальный период теплового потока равного 27,618 Вт/м <sup>2</sup> ; $t_e = 21,7$ ; $\varphi = 37\%$ ; 23,751 ккал/м <sup>2</sup> ·ч						

Таблица 2.2 - Параметры наружного воздуха по данным метеостанции г. Бишкек

Дата	Время (местное)	Температура $t_n, ^\circ\text{C}$	Ветер	
			напр.	скор.
1	2	3	4	5
16 января	ср.сут.	-10,1	143	1,1
17 января	-"-	-5,7	156	1,0
18 января	-"-	-1,9	232	1,0
19 января	-"-	-0,6	222	1,0
22 января	-"-	-0,4	230	2,1
23 января	-"-	-0,7	250	1,4
24 января	-"-	-3,5	054	1,3
25 января	-"-	+2,8	140	1,8
26 января	-"-	-1,0	345	1,6
29 января	-"-	-12,7	157	1,8
Среднее	-	-3,4	193	1,4
22 марта	15 <sup>00</sup> /18 <sup>00</sup> /	+1,5	250	2
	18 <sup>00</sup> /21 <sup>00</sup> /	+0,6	263	1
23 марта	21 <sup>00</sup> /00 <sup>00</sup> /	+0,4	000	0
	00 <sup>00</sup> /03 <sup>00</sup> /	+0,1	064	2
	03 <sup>00</sup> /06 <sup>00</sup> /	-1,0	172	1
	06 <sup>00</sup> /09 <sup>00</sup> /	+1,0	160	1
	09 <sup>00</sup> /12 <sup>00</sup> /	+3,3	180	2
	12 <sup>00</sup> /15 <sup>00</sup> /	+4,9	014	1
	15 <sup>00</sup> /18 <sup>00</sup> /	+4,7	320	2

	18 <sup>00</sup> /21 <sup>00</sup> /	+3,1	230	2
24 марта	21 <sup>00</sup> /00 <sup>00</sup> /	+0,5	143	1
	00 <sup>00</sup> /03 <sup>00</sup> /	+1,5	134	2
	03 <sup>00</sup> /06 <sup>00</sup> /	-1,3	114	1
	06 <sup>00</sup> /09 <sup>00</sup>	+3,8	070	1
Среднее	-	+1,7	151	1,4

Таблица 3.2 - Среднесуточная температура наружного воздуха в летний период года

Время суток Дата	00	03	06	09	12	15	18	21	Среднее значение $t_n$ за сутки
25 июля	17,0	18,1	23,7	27,9	31,4	31,7	25,5	24,4	24,9
26 июля	21,6	22,4	26,6	30,6	32,2	30,6	28,6	25,2	27,2
27 июля	18,6	18,8	18,8	24,1	29,3	30,1	26,1	24,5	23,8
28 июля	22,4	19,2	27,2	31,5	33,3	33,2	27,5	26,2	27,6

Таблица 4. 2 - Скорость ветра и параметры солнечной радиации за период наблюдений

Число месяца	Время суток	Скорость ветра		Время суток / среднесуточное $\tau$ , ч	Суммарная солнечная радиация $Q$ , кВт/м <sup>2</sup>	Отраженная солнечная радиация $R$ , кВт/м <sup>2</sup>	Альбеда $\alpha$
		$h = 0,5$ м; $v'$ , м/сек	$h = 20$ м; $v''$ , м/сек				
1	2	3	4	5	6	7	8
25.07.90	01	0,2	0,4	6 <sup>30</sup>	0,13	0,01	0,077
	07	0,2	0,6	9 <sup>30</sup>	0,31	0,04	0,139
	10	0,4	0,7	12 <sup>30</sup>	0,37	0,06	0,16
	13	0,7	1,4	15 <sup>30</sup>	0,79	0,12	0,15
	16	1,4	2,4	18 <sup>30</sup>	0,03	0,01	0,33
	19	0,9	1,9	—	—	—	—
26.07.90	0,1	0	0	6 <sup>30</sup>	0,26	0,03	0,15
	0,7	0,2	1,5	9 <sup>30</sup>	0,58	0,06	0,12
	10	0,6	1,0	12 <sup>30</sup>	0,79	0,11	0,14
	13	1,2	1,8	15 <sup>30</sup>	0,47	0,08	0,17
26.07.90	16	0,8	1,5	18 <sup>30</sup>	0,01	0,00	—
	19	0,4	0,9	—	—	—	—

27.07.90	01	–	1,0	6 <sup>30</sup>	0,00	0,00	–
	07	–	1,8	9 <sup>30</sup>	0,18	0,03	0,17
	10	0,5	1,1	12 <sup>30</sup>	0,82	0,13	0,16
	13	0,9	1,7	15 <sup>30</sup>	0,46	0,18	0,17
	16	0,8	1,8	18 <sup>30</sup>	0,03	0,01	0,33
	19	0,2	0,7	–	–	–	–
28.07.90	01	0,3	0,6	6 <sup>30</sup>	0,17	0,03	0,18
	07	0,2	0,5	9 <sup>30</sup>	0,70	0,11	0,16
	10	0,6	1,1	12 <sup>30</sup>	0,88	0,13	0,15
	13	0,8	1,5	15 <sup>30</sup>	0,61	0,11	0,18
	16	1,1	2,2	18 <sup>30</sup>	0,08	0,02	0,25
	19	0,5	1,0	–	–	–	–
Среднее значение		0,61	1,22	–	–	–	0,174

\*Примечание: местное время отличается на два часа две минуты.

Таблица 5.2 - Температура и влажность внутреннего воздуха в летний период года

Дата	Время	Т по спиртовому термометру, °С	φ, % по волоскову гигрометру	Аспирационный психрометр			Давление, гПа	Примечание
				сух.	смоч	φ, %		
Лента заправлена 24 июля в 10 <sup>00</sup>								
25 июля	10 <sup>17</sup>	28,5	17,5	–	–	–	–	
	17 <sup>00</sup>	29,0	18,0	–	–	–	–	
26 июля	10 <sup>10</sup>	29,1	19,0	29,0	20,2	45	9,15	
	17 <sup>10</sup>	30,0	19,0	29,1	20,4	46	9,16	
27 июля	10 <sup>10</sup>	30,0	23,5	29,5	21,2	47	9,20	ДОЖДЬ
	17 <sup>00</sup>	29,5	29,0	28,2	22,2	60	9,20	
29 июля	10 <sup>10</sup>	29,0	23	28,8	20,4	47	9,22	
	17 <sup>20</sup>	29,9	23	29,0	20,0	44	9,21	

Таблица 6.2 - Параметры температуры и относительной влажности наружного воздуха, скорость и направление ветра в летний период года

Время		Т воздуха, °С	Относительная влажность, %	Ветер	
Дата	Срок			направление	скорость, м/сек
1	2	3	4	5	6
12.07.90	12 <sup>00</sup>	22,8	35	–	2,5
	17 <sup>00</sup>	26,8	23	–	1,8
	23 <sup>00</sup>	23,0	42	159	2
13.07.90	05 <sup>00</sup>	19,6	45	138	2
	11 <sup>00</sup>	27,8	31	–	1,5
	17 <sup>00</sup>	30,0	33	–	1,3
14.07.90	23 <sup>00</sup>	26,6	46	172	1
	05 <sup>00</sup>	22,4	65	230	2
	11 <sup>00</sup>	25,4	31	–	1,0
15.07.90	17 <sup>00</sup>	27,2	31	0	0
	23 <sup>00</sup>	21,9	59	078	3
	05 <sup>00</sup>	18,4	61	043	2
16.07.90	11 <sup>00</sup>	24,5	41	037	1
	17 <sup>00</sup>	36,7	28	261	3
	23 <sup>00</sup>	24,5	47	122	2
17.07.90	05 <sup>00</sup>	20,0	54	115	2
	11 <sup>00</sup>	27,8	41	0	0
	17 <sup>00</sup>	31,8	25	–	1,8
18.07.90	23 <sup>00</sup>	27,3	36	197	1
	05 <sup>00</sup>	21,0	39	166	2
	11 <sup>00</sup>	25,2	26	–	1,9
19.07.90	17 <sup>00</sup>	27,0	29	–	2,4
	23 <sup>00</sup>	26,0	43	149	1
	05 <sup>00</sup>	20,1	50	089	1
20.07.90	11 <sup>00</sup>	27,4	31	–	1,3
	Режим при закрытых окнах				
18.07.90	17 <sup>00</sup>	30,0	31	–	2,8
	23 <sup>00</sup>	25,6	41	174	2
19.07.90	05 <sup>00</sup>	21,3	43	106	2
	11 <sup>00</sup>	28,2	30	–	1,8
	17 <sup>00</sup>	31,4	26	–	1,5
20.07.90	23 <sup>00</sup>	27,9	34	120	2
	05 <sup>00</sup>	24,3	41	137	2
	11 <sup>00</sup>	22,8	49	0	0
20.07.90	17 <sup>00</sup>	28,6	35	–	1
	23 <sup>00</sup>	20,7	65	276	2

21.07.90	05 <sup>00</sup>	19,6	56	137	2
	11 <sup>00</sup>	26,5	38	–	2,2
	17 <sup>00</sup>	24,2	48	–	1,3
	23 <sup>00</sup>	21,8	62	107	2
22.07.90	05 <sup>00</sup>	19,9	63	112	1
	11 <sup>00</sup>	23,6	44	–	1
	17 <sup>00</sup>	23,4	38	–	2,5
	23 <sup>00</sup>	23,6	37	185	1
Среднее	–	24,6	–	–	1,7

Таблица 7.2 - Параметры солнечной радиации в летний период времени по данным метеостанции г. Бишкек

Время		Q, суммарная радиация, кВт/м <sup>2</sup>	α, альbedo, кВт/м <sup>2</sup>
Дата	Срок (ср.сут.)		
1	2	3	4
18 июля	06 <sup>30</sup>	0,25	0,20
	09 <sup>30</sup>	0,68	0,17
	12 <sup>30</sup>	0,94	0,16
	15 <sup>30</sup>	0,56	0,18
	18 <sup>30</sup>	0,10	0,20
19 июля	06 <sup>30</sup>	0,28	0,18
	09 <sup>30</sup>	0,68	0,15
	12 <sup>30</sup>	0,97	0,16
	15 <sup>30</sup>	0,57	0,16
	18 <sup>30</sup>	0,07	0,16
20 июля	06 <sup>30</sup>	0,20	0,22
	09 <sup>30</sup>	0,57	0,17
	12 <sup>30</sup>	0,80	0,20
	15 <sup>30</sup>	0,45	0,17
	18 <sup>30</sup>	0,08	0,19
21 июля	06 <sup>30</sup>	0,23	0,11
	09 <sup>30</sup>	0,61	0,17
	12 <sup>30</sup>	0,86	0,18
	15 <sup>30</sup>	0,49	–
	18 <sup>30</sup>	0,12	0,21
22 июля	06 <sup>30</sup>	0,18	0,13
	09 <sup>30</sup>	0,55	0,16
	12 <sup>30</sup>	0,78	0,16
	15 <sup>30</sup>	0,39	0,16
	18 <sup>30</sup>	0,08	0,10
Среднее	–	–	0,17

Таблица 8.2 - Параметры внутреннего воздуха и относительной влажности в летний период года

Время		$t_{в}$ , °С, температура воздуха	$\varphi$ , %, относительная влажность
Дата	Срок (местное)		
1	2	3	4
12 июля	12 <sup>00</sup>	23,7	42
	17 <sup>00</sup>	24,5	39
	23 <sup>00</sup>	24,0	40
13 июля	05 <sup>00</sup>	23,5	37
	11 <sup>00</sup>	25,0	39
	17 <sup>00</sup>	26,0	34
14 июля	23 <sup>00</sup>	25,9	36
	05 <sup>00</sup>	25,5	38
	11 <sup>00</sup>	26,0	34
15 июля	17 <sup>00</sup>	26,4	37
	23 <sup>00</sup>	25,0	39
	05 <sup>00</sup>	24,0	36
16 июля	11 <sup>00</sup>	25,2	36
	17 <sup>00</sup>	26,0	35
	23 <sup>00</sup>	26,3	37
17 июля	05 <sup>00</sup>	25,7	34
	11 <sup>00</sup>	26,0	38
	17 <sup>00</sup>	27,2	31
18 июля	23 <sup>00</sup>	27,0	30
	05 <sup>00</sup>	26,5	26
	11 <sup>00</sup>	26,3	31
19 июля	17 <sup>00</sup>	27,4	32
	23 <sup>00</sup>	27,0	31
	05 <sup>00</sup>	26,0	30
20 июля	11 <sup>00</sup>	26,2	33
	Режим при закрытых окнах		
	17 <sup>00</sup>	27,6	38
19 июля	23 <sup>00</sup>	27,0	32
	05 <sup>00</sup>	22,0	31
	11 <sup>00</sup>	25,8	35
20 июля	17 <sup>00</sup>	28,0	37
	23 <sup>00</sup>	24,8	35
	05 <sup>00</sup>	22,8	35
	11 <sup>00</sup>	26,0	38
	17 <sup>00</sup>	28,0	36
	23 <sup>00</sup>	25,0	40

21 июля	05 <sup>00</sup>	22,2	38
	11 <sup>00</sup>	24,9	38
	17 <sup>00</sup>	26,8	42
	23 <sup>00</sup>	23,0	41
22 июля	05 <sup>00</sup>	22,8	40
	11 <sup>00</sup>	24,5	32
	17 <sup>00</sup>	26,6	42
	23 <sup>00</sup>	23,8	34

Таблица 9.2 - Среднее и максимальное значение солнечной радиации в летний период года для кирпичной и панельной стены

кирпича панель

Дата Солнечная радиация	25 июля	26 июля	27 июля	28 июля	Максимальное и среднее значение солнечной радиации
$J_{\max}$ , кВт/м <sup>2</sup>	0,79	0,79	0,82	0,82	0,82
$J_{\text{ср}}$ , кВт/м <sup>2</sup>	0,33	0,42	0,37	0,49	0,40

б) для панели:

Дата Солнечная радиация	18 июля	19 июля	20 июля	21 июля	22 июля	Максимальное и средние значения солнечной радиации
$J_{\max}$ , кВт/м <sup>2</sup>	0,94	0,97	0,80	0,86	0,78	0,97
$J_{\text{ср}}$ , кВт/м <sup>2</sup>	0,51	0,51	0,42	0,46	0,40	0,46

Таблица 10.2 - Температура внутренней поверхности ограждения в летний период года для кирпичного здания

Среднее значение за сутки	Время	00	03	06	09	12	15	18	21
	Сутки								
23,91	24 июля	–	–	–	24,5	24,25	23,28	23,63	23,81
23,34	25 июля	23,88	23,81	23,5	23,19	22,56	22,81	23,31	23,63
24,11	26 июля	24,0	24,0	23,04	23,88	23,69	23,81	24,31	25,25

24,67	27 июля	25,50	25,5	25,06	24,92	24,63	24,19	23,85	23,88
23,83	28 июля	24,06	24,19	23,88	23,56	23,38	23,80	24,25	–
23,97	Среднее значение температуры за наблюдаемый период								
24,68	Среднемаксимальное значение температуры за наблюдаемый период								

Таблица 11.2 - Максимальная температура внутренней поверхности для панельного ограждения в летний период года

Дата	Максимальная температура внутренней поверхности ограждения, по часам суток, °С							
	02	05	08	11	14	17	20	23
1	2	3	4	5	6	7	8	9
18 июля	–	–	–	–	27	28	28	28
19 июля	28	28	28	26	27	26	26	28
20 июля	26	27	28	27	27	28	26	26
21 июля	26	26	25	26	26	26	26	27
22 июля	27	26	25	26	25	25	26	26
Среднее значение	26,6							

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ КРАСИЛЬНОГО ЦЕХА

Таблица 1.3 – Экспериментальные и расчетные данные технологического оборудования

	Наименование параметров	Обозначение	Размерность	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Оборудование			МКП-1							
2	Продолжительность работы	Z	час	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
3	Продолжительность испытания	Z <sub>и</sub>	час	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
4	Температура холодной воды	t <sub>x</sub>	°C	22,00	25,00	24,00	22,00	23,00	25,00	22,00	22,00
5	Температура воздуха	t <sub>в</sub>	°C	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
6	Температура средняя за операцию в ванне	t <sub>ср</sub>	°C	47,80	54,30	42,20	48,80	43,20	46,00	45,60	48,20
7	Коэффициент черноты	ε		0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
8	Величина "B"			6,40	6,30	5,88	6,40	5,90	6,30	6,20	6,39

9	Коэффициент теплоотдачи излучением			6,08	5,98	5,58	6,08	5,60	5,98	5,89	6,07
10	Коэффициент теплоотдачи:										
	-от боковых стен	$\alpha_{\text{к}^{\text{бок}}}$	ккал/м <sup>2</sup> · ч · °С	4,84	4,93	4,90	4,90	4,82	4,80	4,82	4,89
	-от крышек	$\alpha_{\text{к}^{\text{кр}}}$	ккал/м <sup>2</sup> · ч · °С	6,16	6,27	6,20	6,20	6,16	6,18	6,20	6,27
11	Коэффициент теплоотдачи:										
	-от боковых поверхностей	$\alpha^{\text{бок}}$	ккал/м <sup>2</sup> · ч · °С	10,92	10,91	10,48	10,98	10,00	10,38	10,84	10,92
	-от крышек	$\alpha^{\text{кр}}$	ккал/м <sup>2</sup> · ч · °С	12,24	12,25	11,78	12,28	11,76	11,58	12,25	12,03
12	Теплопоступления в помещение через боковые стенки, днища и крышки оборудования	Qп	тыс. ккал	48,10	24,40	37,60	70,30	31,40	39,60	32,50	33,00

Таблица 2.3 - Экспериментальные и расчетные данные технологического оборудования красильного цеха

1	Наименование параметров	Обозначение	Размерность	Расчетные формулы	Технологическое оборудование			
					6	7	8	9
1	Наименование оборудования				КБ-50	КБ-50	КБ-50	КБ-50
2	Продолжительность работы	Z	час		16,00	16,00	16,00	16,00
3	Продолжительность испытания	Z <sub>и</sub>	час		6,50	6,50	6,50	6,50
4	Температура холодной воды	t <sub>x</sub>	°С		22,00	25,00	24,00	22,00
5	Температура воздуха	t <sub>в</sub>	°С	данные эксперимента	25,00	25,00	25,00	25,00
6	Температура средняя раствора ванны	t <sub>ср</sub>	°С	данные эксперимента	40,00	40,00	40,00	40,00
7	-за операцию	t <sub>в</sub>	°С	данные эксперимента	69,00	69,00	69,00	69,00
	Коэффициент черноты изл. пов-ти	ε		по справочнику	0,63	0,63	0,63	0,63
8	Величина "В"			по справочнику	5,37	5,27	5,20	5,21
9	Коэффициент теплоотдачи конвекцией от боковых стен :	α <sub>к<sup>бок</sup></sub>	ккал/м <sup>2</sup> ·ч·°С	α <sub>к<sup>бок</sup></sub> = 2,2 $\sqrt[4]{t_{ср} - t_{в}}$	3,84	3,93	3,90	3,89
10	-от крышек	α <sub>к<sup>кр</sup></sub>	ккал/м <sup>2</sup> ·ч·°С	α <sub>к<sup>кр</sup></sub> = 2,8 $\sqrt[4]{t_{ср} - t_{в}}$	5,16	4,93	4,90	4,90

1 1	Коэффициент теплоотдачи излучением:	$\alpha_{\text{л}}$	ккал/м <sup>2</sup> ·ч·°С	$\alpha_{\text{л}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \nu$	3,37	3,50	3,50	3,50
Коэффициент теплоотдачи:								
1 2	-от боковых поверхностей	$\alpha^{\text{бок}}$	ккал/м <sup>2</sup> ·ч·°С	$\alpha^{\text{бок}} = \alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}}^{\text{бок}}$	7,21	7,30	7,21	7,24
1 3	-от крышек	$\alpha^{\text{кр}}$	ккал/м <sup>2</sup> ·ч·°С	$\alpha^{\text{кр}} = \alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}}^{\text{кр}}$	8,41	8,64	8,57	8,56
1 4	Теплопоступления в помещение через боковые стенки, днища и крышки оборудования	Qп	тыс. ккал	$Q_{\text{п}} = (F_{\text{бок}} \alpha^{\text{бок}} + F_{\text{к}} \alpha^{\text{к}}) \cdot (t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}) \cdot (\tau_{\text{н}} + \tau_{\text{к}}) \cdot 10^{-3}$	34,00	25,80	27,80	29,00

Таблица 3.3 - Таблица параметров воздушной среды, тепло-, влагопоступления, воздухообмена красильного цеха производственного здания г.Бишкек Кыргызской Республики

Наименование помещения	Объем помещения, м <sup>3</sup>	Период года	Параметры воздуха в помещении		Максимальное количество людей, чел.	Поступления тепла в помещение, Вт					Воздухообмен, м <sup>3</sup> /ч		Влаговыделения, кг/ч
			температура, °С	влажность, %		от людей	от оборудования	от электродвигателей	от освещения	всего одновременно	приточного	вытяжного	
1	2	3	4	4"	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Красильный цех	24000,0	лето	24,0	65,5	20,0	3400	66725	23220	9460	98935	60000	60000	230
		зима	23,0	65,0	20,0	3400	66725	23220	9460	98935	60000	60000	230

$t_{\text{сух}} = 32,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{мокр}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

24 сентября с 19<sup>30</sup>

25 сентября



Рисунок 3.1 - Динамика относительной влажности внутреннего воздуха в красильном цехе в течение суток

23 сентября

24 сентября

25 сентября

26 сентября

27 сентября

28 сентября

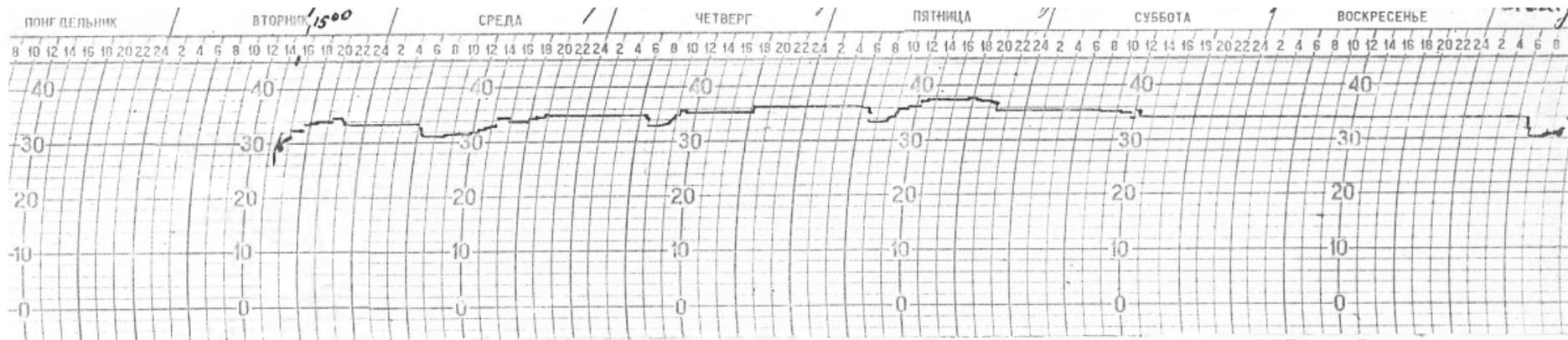


Рисунок 3.2 - Динамика температуры внутреннего воздуха в красильном цехе в течение недели

**ПРИЛОЖЕНИЕ 4**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ ШКОЛЫ**

Таблица 4.1 - Основные строительные характеристики школы

Основное здание	Год строительства	1969
Школа	село	Новопокровка
	Адрес:	ул. Советская
	Количество этажей	2
	Подвал	Нет
	Крыльцо, м <sup>2</sup>	есть
	Объем (отапливаемый) здания, м <sup>3</sup>	10 916
	Общая отапливаемая площадь, м <sup>2</sup>	3 154
	Площадь первого этажа, м <sup>2</sup>	1 557
	Число помещений	47
Внешние теплоотдающие поверхности		Количество
Поверхность стен (без окон), м <sup>2</sup>		1 383
Поверхность окон, м <sup>2</sup>		427
Двери, м <sup>2</sup>		41,4
Площадь , м <sup>2</sup>		1 577
Площадь пола, м <sup>2</sup>		1 577
Высота светового проема: 1 этаж, м <sup>2</sup>		2,8
2 этаж (м <sup>2</sup> )		2,8
Строительный объем, м <sup>3</sup>		11 440

Таблица 4.2 - Расчетные и фактические параметры угольной котельной школы

Вид топлива	Выработка тепловой энергии, Гкал	Средний КПД источника, %	Кол-во условного топлива, т у.т.	Количество натурального топлива (тонн)	Теплотворная способность топлива ккал/кг
Уголь	395,23	45	125,47	219,6	4000
Факт.	232,74	45	73,89	129,3	4000

Таблица 4.3 - Функциональное назначение, тип и конструктивное решение здания

Размещение в		Описание объекта энергоаудита	Параметры здания (конструкций)
Тип		Отдельно стоящее	
Конструктивное решение:	фундамент	- цементобетонный	
	наружные и внутренние капитальные стены	- кирпич толщиной 510 мм с цементно-песчаной штукатуркой с наружной и внутренней стороны, без теплоизоляции.	
	перегородки	- кирпич	
Перекрытия:	Крыша	2-х скатная кровля из шифера.	0,79 Вт/м <sup>2</sup> °С
	Чердачное перекрытие	Между ж/б перекрытием, засыпанным шлаком, и кровлей имеется не отапливаемое чердачное	
	Междуэтажное	- железобетонные плиты перекрытия	
Отделочные работы:	внутренние	штукатурка (цементным раствором); побелка	
	наружные	штукатурка (цементным раствором)	

	окна	- двойным остеклением в отдельных деревянных переплетах , количество: Укоэф. определяется в соответствии	151 шт 2,58 Вт/м <sup>2</sup> °С
	двери	Деревянные одностворчатые	41,4 м <sup>2</sup>
Пол:		Деревянный на лагах, покрытый	1 577 м <sup>2</sup>
Пол первого этажа		Пол деревянный на лагах, подвала нет Укоэф. определяется в соответствии СНиП КР 23-01-2013 «Строительная	0,36 Вт/м <sup>2</sup> °С

Таблица 4.4 - Экспериментальные параметры воздуха и ограждений здания школы

Наименование помещения	Температура, t <sup>0</sup> C												
	высота помещения	Внутреннего и наружного воздуха, и ограждений здания						Пластик. окна		деревянные окна		φ %	CO <sub>2</sub> , ppm
		нар	внутри помещен	потолок	пол	внут. стена	наруж. стена	внеш. стекло	внут. стекло	внеш. стекло	внут. стекло		
<b>ПЕРВЫЙ ЭТАЖ ОБЪЕКТА ЭНЕРГОАУДИТА</b>													
учительская	2,75	-4	18,5	17,3	18,2	17,7	16,6	1,7	15,5			53,6	934
Кабинет 14	2,98	-4	18	14,5	17	15	13			12,4	24	28,6	1389
кабинет № 12	3	-4	17,6	14,8	16,1	13,9	12,1			8	13,6	35	1258
каб. № 11	2,9	-4	18	13,3	14,2	14,2	12			4,2	21,7	40	2350
каб. № 10	2,84	-4	17,4	14,2	14,7	14	11,9			11	13,2	40,3	1549
кабинет № 20	2,69	-4	15	13,5	12,5	12,6	10,8					35,3	520
коридор	3	-4	14	11	10,6	14,4	10,7	-4,7	4,4			29	1300
<b>ВТОРОЙ ЭТАЖ ОБЪЕКТА ЭНЕРГОАУДИТА</b>													
каб. № 1	2,87	-4	15,6	9	11,5	10,7	8,6			4	13	39	2250
кабинет № 5	2,9	-4	14,3	7,5	11	9,6	8,3					42,7	1764
кабинет № 6	2,9	-4	16	9,2	10,7	11,9	11,2	-0,5	+17,5			45	1610

каб. № 7	2,9	-4	18,5	13,2	17,5	16,4	12,9	+1	+17,1			47	2720
спорт. зал	5,45	-4	16	13	13	13	10,9			-10	12	36	1410
каб. № 8	2,84	-4	13,4	10,0	12,0	11,3	10,3	-7,6	9,7			80	2738
кабинет № 9	2,81	-4	13,5	8,2	10,3	9,0	9,2	-3	8,6			56,3	1674
коридор	3,0	-4	15,0	6,5	10,2	9,5	8,7			-13	5,4	32	1429

Таблица 4.5 - Фактическое потребление энергоносителей  
(электроэнергия, уголь) за базовый 2013 год

Базовый год: 2013	Электричество	Уголь	Всего
Потребление энергии объекта (основная школа+котельная) перед внедрением мероприятий по сохранению энергии [ кВт·ч/год]	86 122 (табл. 3.4)	192 т (табл.3.4.)  или 401 933	488 055
Затраты на энергию перед внедрением мероприятий по сохранению энергии, \$ США/год	114 335,16 сом (табл. 3.1)  1944,48 \$ ( 1 \$= 58,8сом)	(табл. 3.1)  594375,0  или 10108,4\$  ( 1 \$= 58,8 сом)	708 710 сом  или 12102,88\$
Фактические цены на энергоносители за кВт·ч, \$ США/ кВт·ч	0,023	0,025	
Удельное потребление, кВт·ч/м <sup>2</sup> в год	27,3	127,4	154,7

Параметр	Эталон kWh/m <sup>2</sup>	Состояние		Баз. лин. до ЭС		После ЭС	
		kWh/m <sup>2</sup>	kWh/y	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/y	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/y
1. Отопление	21,2	194,1	612 181	248,6	784 152	60,2	189 960
2. Вентиляция	38,6	34,7	109 557	34,7	109 557	34,7	109 557
3. Горячее водоснабжение	12,1	12,1	38 179	12,1	38 179	12,1	38 179
4. Вент. и насосы	3,0	8,8	27 671	8,8	27 671	6,4	20 256
5. Освещение	19,5	18,9	59 484	18,9	59 484	13,9	43 967
6. Прочее	18,4	20,7	65 349	20,7	65 349	20,7	65 349
7. Охлаждение	0,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
<b>Всего</b>	112,9	289,3	912 420	343,8	1 084 391	148,2	467 267
8. Наружное оборудование			0		0		0

**БЕКИТЕМ**  
**Жер титирөөгө туруктуу курулуш жана инженердик долбоорлоо мамлекеттик институтунун директору**



**К. Канболотов**

**2024-жылдын 2-сентябры**

**Илимий-изилдөө, илимий-техникалык иштердин натыйжаларын, (же) илимий жана (же) илимий-техникалык иштин натыйжаларын ишке киргизүү акты**

- 1. Ишке киргизүүнүн автору (авторлоштор):** изденүүчү Касымова Гульсара Токтокуновна
- 2. Илимий-изилдөө, илимий-техникалык иштердин жана (же) илимий жана (же) илимий-техникалык иштин натыйжаларынын аталышы:**

Жылуулуктун жана нымдуулуктун сырткы жана ички өзгөрүлмө таасирлеринде имараттардын жайларынын максатка ылайыктуу жылуулук-нымдуулук режимдерин тандоо.

- 3. Кыскача аннотация:**

Кошулган бирикмелердин калыңдыгында нымдуулуктун болушун текшерүү, кошулган бирикмелердин жылуулукту сактоочу сапаттарын жакшыртуу жана имараттын бышыктыгын жогорулатуу максатында ар кандай типтеги имараттардын (№ 105 сериядагы панелдик үй, АСИИИ лабораториясынын кирпичтен жайы) сырткы тосмолорунун жана алардын кошулган бирикмелеринин жылуулукту сактоочу сапаттарын натуралык шарттарда изилдөөгө мүмкүндүк берген эксперименталдык орнотмо түзүлдү.

- 4. Ишке киргизүүнүн натыйжасы:**

Кошулган бирикмелердин калыңдыгында нымдын топтолушун болтурбоо, кошулган бирикмелердин жылуулукту сактоочу сапаттарын жакшыртуу жана имараттын бышыктыгын жогорулатуу максатында эксперименттик орнотмо жүргүзүлгөн натуралык иштер жана ар кандай типтеги имараттарды изилдөөнүн жүрүшүндө алынган аналитикалык эсептөөлөр КР Мамкурулушуна 105-сериядагы панелдүү үйлөрдү курууда “куркак кошулмаларды” өркүндөтүү жана колдонуу боюнча сунуштарды берүүгө мүмкүндүк берди.

- 5. Ишке киргизүүнүн орду жана убактысы:**

КР Мамкурулушунун долбоорлоо жана илимий-изилдөө институттары

- 6. Ишке киргизүүнүн формасы:**

КР Мамкурулушуна № 105 сериядагы панелдүү үйлөрдү курууда “куркак кошулмаларды” өркүндөтүү жана колдонуу боюнча, ошондой эле КР Мамкурулушуна караштуу Жер титирөөгө туруктуу курулуш илимий-изилдөө институтунун лабораториясында түзүлгөн (азыркы Жер титирөөгө туруктуу курулуш жана инженердик долбоорлоо мамлекеттик институту) эксперименттик орнотмону колдонуу боюнча сунуштар берилди.

**Иштелме ишке киргизилген уюмдун өкүлү:**

К. Канболотов – Жер титирөөгө туруктуу курулуш жана инженердик долбоорлоо мамлекеттик институтунун директору



**Ишке киргизүүнү сунуштаган уюмдун өкүлү:**

Дж.А. Шаимбетов – Жер титирөөгө туруктуу курулуш жана инженердик долбоорлоо мамлекеттик институтунун имараттарды техникалык нормалоо жана текшерүү башкармалыгынын начальниги



**УТВЕРЖДАЮ**

**Директор Государственного института  
сейсмостойкого строительства и инженерного  
проектирования**



**К. Канболотов**

**2 сентября 2024 г.**

**Акт внедрения результатов научно-исследовательских,  
научно-технических работ, (или) результатов научной и (или) научно-технической  
деятельности**

1. **Автор (соавторы) внедрения:** соискатель Касымова Гульсара Токтокуновна
2. **Наименование научно-исследовательских, научно-технических работ и (или) результатов научной и (или) научно-технической деятельности:**

Выбор целесообразных тепловлажностных режимов помещений зданий при переменных внешних и внутренних воздействиях теплоты и влаги.

**3. Краткая аннотация:**

Создана экспериментальная установка, которая позволили в натуральных условиях исследовать теплозащитные качества наружных ограждений и их стыковых соединений различных типов зданий (панельный дом серии №105, кирпичное помещение Лаборатории НИИСА) с целью проверки наличия влаги в толще стыковые соединения, улучшения теплозащитных качеств стыковых соединений и увеличению долговечности здания.

**4. Эффект от внедрения:**

Проведенные натурные работы на экспериментальной установке и аналитические расчеты, полученные в ходе исследования различных типов зданий, позволили дать рекомендации Госстрою КР по усовершенствованию и применению «сухих стыков» при строительстве панельных домов серии № 105 с целью исключения накопления влаги в толще стыковые соединения, улучшению теплозащитных качеств стыковых соединений и увеличению долговечности здания.

**5. Место и время внедрения:**

Проектные и научно-исследовательские институты Госстроя КР.

**6. Форма внедрения:**

Даны рекомендации Госстрою КР по усовершенствованию и применению «сухих стыков» при строительстве панельных домов серии № 105, а также по использованию экспериментальной установки, созданной в Лаборатории Научно-исследовательского института сейсмостойкого строительства при Госстрое КР (ныне Государственный институт сейсмостойкого строительства и инженерного проектирования).

**Представитель организации, в которую внедрена разработка:**

К. Канболотов – директор Государственного института сейсмостойкого строительства и инженерного проектирования

**Представитель организации, из которого исходит внедрение:**

Дж. А. Шаимбетов - начальник управления технического нормирования и обследования зданий Государственного института сейсмостойкого строительства и инженерного проектирования

**БЕКТЕМ**  
Чүй облусу, Новопокровка айылы,  
Н.С. Баранов атындагы Новопокровка айылынын  
№ 2 жалпы билим берүү орто мектеп-лицейдин  
директору



Д.Т. Турганалиева

2024-жылдын 27-сентябры

**Илимий-изилдөө, илимий-техникалык иштердин натыйжаларын, (же) илимий жана (же) илимий-техникалык иштин натыйжаларын ишке киргизүү акты**

**1. Ишке киргизүүнүн автору (авторлоштор):** изденүүчү Касымова Гульсара Токтокуновна

**2. Илимий-изилдөө, илимий-техникалык иштердин жана (же) илимий жана (же) илимий-техникалык иштин натыйжаларынын аталышы:**

Жылуулуктун жана нымдуулуктун сырткы жана ички өзгөрүлмө таасирлеринде имараттардын жайларынын максатка ылайыктуу жылуулук-нымдуулук режимдерин тандоо.

**3. Кыскача аннотация:**

Мектептин имаратынын дубалдарынын жана кошулган тосмолорунун жылуулукту сактоочу сапаттарын текшерүү максатында заманбап жабдууларды, анын ичинде тепловизорду пайдалануу менен экспресс-методу боюнча орто билим берүүчү мектеп-лицейди (№ 2 ОБМЛ) жана микроклиматты камсыз кылуучу системаларды (жылытуу жана желдетүү) энергетикалык изилдөө жүргүзүлдү.

**4. Ишке киргизүүнүн натыйжасы:**

Энергоаудиттин жыйынтыгы боюнча желдетүү системасын калыбына келтирүү, аянты 1383 м<sup>2</sup> болгон дубалдарды кургатуу жана сырткы дубалдарды калыңдыгы 100 мм болгон базальт буласы менен изоляция жүргүзүү сунушталды, муну менен энергия жылына 151,36 миң кВт/с 3,784 миң \$/жылына суммасына үнөмдөлөт.

**5. Ишке киргизүүнүн орду жана убактысы:**

Н.С. Баранов атындагы Новопокровка айылынын № 2 жалпы билим берүү орто мектеп-лицейи, Новопокровка айылы, КР Чүй облусу Ысык -Ата району

**6. Ишке киргизүүнүн формасы:**

Мектептин имаратынын сырткы тосмосунун кошулган бирикмелеринде конденсациянын түшүүсүн болтурбоо максатында жылытуу, желдетүү системасын калыбына келтирүү жана калыңдыгы 100 мм болгон базальт буласы менен сырткы дубалдарды изоляция жүргүзүү боюнча сунуштар берилди.

**Иштелме ишке киргизилген уюмдун өкүлү:**

Т.Н. Клепикова – Н.С. Баранов атындагы Новопокровка айылынын № 2 жалпы билим берүү орто мектеп-лицейинин окуу-тарбия иштери боюнча директордун орун басары



**Ишке киргизүүнү сунуштаган уюмдун өкүлү:**

А.Р. Тебердиева – Н.С. Баранов атындагы Новопокровка айылынын № 2 жалпы билим берүү орто мектеп-лицейинин чарба бөлүгү боюнча директордун орун басары



**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор средней образовательной школы – лицея №2  
им. Н.С. Баранова, с. Новопокровка Чуйской обл.

\_\_\_\_\_ Турганалиева Д.Т.

27 сентября 2024 г.

**Акт внедрения результатов научно-исследовательских,  
научно-технических работ, (или) результатов научной и (или) научно-технической  
деятельности**

- 1. Автор (соавторы) внедрения:** соискатель Касымова Гульсара Токтокуновна
- 2. Наименование научно-исследовательских, научно-технических работ и (или) результатов научной и (или) научно-технической деятельности:**

Выбор целесообразных тепловлажностных режимов помещений зданий при переменных внешних и внутренних воздействиях теплоты и влаги.

**3. Краткая аннотация:**

Проведено энергетическое обследование средней образовательной школы – лицея №2 (СОШЛ №2) и систем обеспечения микроклимата (отопление и вентиляция) экспресс-методом с использованием современного оборудования, в том числе тепловизора с целью проверки теплозащитных качеств стен и стыковых ограждений здания школы.

**4. Эффект от внедрения:**

По итогам энергоаудита рекомендовано восстановить систему вентиляции, высушить стены площадью 1383 м<sup>2</sup> и произвести изоляцию наружных стен базальтовым волокном толщиной 100 мм, что дает экономию энергии - 151,36 тыс. кВт·ч/год на сумму 3,784 тыс. \$/год.

**5. Место и время внедрения:**

Средняя образовательная школа – лицей №2 им. Н.С. Баранова, с. Новопокрока, Чуйская область КР

**6. Форма внедрения:**

Даны рекомендации по восстановлению системы отопления, вентиляции и проведение изоляции наружных стен базальтовым волокном толщиной 100 мм в целях исключения выпадения конденсата на стыковых соединениях наружного ограждения здания школы.

**Представитель организации, в которую внедрена разработка:**

Клепикова Т.Н. – заместитель директора по учебно-воспитательной работе средней образовательной школы – лицея №2 им. Н.С. Баранова

**Представитель организации, из которого исходит внедрение:**

Тебердиева А.Р. – заместитель директора по хозяйственной части средней образовательной школы – лицея №2 им. Н.С. Баранова

