

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова

Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.Н. Ельцина

Диссертационный совет Д 05.24.706

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

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек – 2025

Работа выполнена на кафедре «Отопление и вентиляция» Московского Ордена Трудового Красного Знамени инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева (ныне НИУ МГСУ) и на кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова

Научный руководитель: **Боронбаев Эркин Капарович**
доктор технических наук, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова

Официальные оппоненты: **Бодров Михаил Валерьевич**
доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Отопление и вентиляция» Нижегородского архитектурно – строительного университета;

Рымаров Андрей Георгиевич
кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Национального исследовательского Московского Государственного строительного университета.

Ведущая (оппонирующая) организация: **Казахский Национальный Исследовательский Технический университет им. К.И. Сатпаева**
Адрес: 050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22.

Защита диссертации состоится _____ 2025 года на заседании диссертационного совета Д 05.24.706 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук при Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н. Ельцина по адресу: 7200 __, г. Бишкек, ул. _____, ауд. _____ факс: (996 312) _____ Идентификационный код онлайн трансляции защиты диссертации в zoom-webinar _____

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова и Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н.Ельцина.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 05.24.706
к.т.н., доцент Абдылдаева Айгуль Мойдиновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 тепловлагодиффузионного переноса.

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 научно-исследовательских работ во исполнение постановления Правительства Кыргызской Республики «Об утверждении Программы Правительства Кыргызской Республики по энергосбережению и планированию политики по энергоэффективности в Кыргызской Республике 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 темы «Проведение

исследования по определению теплофизических характеристик стыков наружных ограждений панельных и кирпичных жилых домов для условий Кыргызской Республики» (Отчет о Научно-исследовательской работе, Бишкек, 1990, УДК 699.86:692.237, № гос. регистрации 01890048176) и «Тепловизионное обследование и энергоаудит школы-лицея № 2 им. Баранова в с. Новопокровка 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 различных типов зданий и 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 следующем:

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

- в 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;

- в 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;

- в получении результатов натуральных 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;

- в 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 тепловлагопереноса 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 натуральных 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 натуральных 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. 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 теплопередачи 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 «Теплогасоснабжение 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 печатных работ, в том числе в одном зарубежном издании и 4-х изданиях, опубликованных в Кыргызской Республике, входящих в систему индексирования РИНЦ.

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, указана связь темы диссертации с научными программами и научно-исследовательскими работами, изложена научная новизна исследования, показана практическая и экономическая значимость полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов и апробации, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе «Обзор литературных источников по современному состоянию исследований тепловлажностного режима помещений» приведен обзор теоретических основ тепловлагопереноса и практическое применение в строительных материалах ограждений зданий для стационарных и нестационарных условий на основе различных теорий тепловлагопереноса, включая теорию потенциала влажности, отраженных в работах таких ученых, как Р.Е.Брилинг, К.Ф.Фокин, Ф.В.Ушков, О.Е.Власов, В.Н.Богословский, А.У.Франчук и др. Разработанные инженерные методы решения задачи тепловлагопереноса ограждений, с учетом влияния различных факторов, включая теорию потенциала влажности, выполнены в лабораториях МИСИ им. В.В. Куйбышева, НИИ строительной физики рядом авторов Е.И. Тертичником, Б.В. Абрамовым, В.И. Лукьяновым, В.Р. Хлевчуком, В.Г. Гагариным, В.А. Могутовым и др.

Обзор литературных источников современного состояния теоретических, лабораторных и экспериментальных исследований тепловлажностного режима

помещений и наружных ограждений зданий при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги, основ теории тепловлагоденоса и методов расчетов тепловлажностного режима наружных ограждений, показал актуальность дальнейшего теоретического изучения и решения тепловлажностных процессов в помещениях и ограждениях зданий методом математического моделирования физических процессов на основе теории потенциала влажности.

Во второй главе «Теоретические исследования процессов и разработка математической модели тепловлажностного режима помещения на основе теории потенциала влажности» обзор современного состояния теоретических и практических методов по вопросам прогнозирования тепловлажностного режима помещений наружных ограждений здания показал, что потенциал влажности, определяющий влажностное состояние любой среды - воздуха, строительных материалов, водных и других поверхностей, можно использовать в качестве комплексного показателя при расчете тепловлажностных процессов, происходящих в помещениях и ограждающих конструкциях зданий теплоты и влаги. Для выбора целесообразных тепловлажностных режимов помещений здания при переменных внешних и внутренних воздействиях теплоты и влаги требуется создание математической модели тепловлажностного режима помещения посредством совместного рассмотрения нестационарных процессов тепло - и влагопередачи помещений здания с учетом внешних и внутренних источников теплоты и влаги на основе теории потенциала влажности.

Разработанная математическая модель ТВРП представляет собой систему дифференциальных уравнений теплопроводности и влагопроводности ограждений с граничными условиями, которая совмещена с балансовыми уравнениями теплоты и влаги окружающей среды помещения здания.

Математическая модель включает в себя некоторые допущения, а именно, потоки тепла и влаги через все ограждения помещения считаются одномерными, а изменение температуры и потенциала влажности воздуха в плане и по высоте помещения не учитываются, в результате чего тепловое и влажностное состояние воздушной среды описывается уравнениями баланса по теплу и влаги воздуха, которые позволили рассчитать динамику изменения температуры и влажности воздуха. Для решения системы дифференциальных уравнений предложен численный метод конечных разностей (метод сеток) по неявной схеме с разработанным алгоритмом и комплексом программ для расчета на ЭВМ, которые в дальнейшем можно заменить на современные компьютерные программы расчета, позволяющие моделировать, оптимизировать и выбирать целесообразные тепловлажностные режимы систем обеспечения микроклимата при переменных внутренних и внешних воздействиях тепла и влаги.

За основу математической модели принято помещение с определенным количеством ограждений (j), окон (n) и массивных ограждений (r), часть из которых соприкасается с наружной средой, а другая часть ограждений отделена аналогичными ограждениями здания.

Процесс передачи теплоты через ограждения, описывается системой одномерных дифференциальных уравнений теплопроводности для каждой составляющей:

$$c_j \cdot p_j \frac{\partial t_j}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_j(x) \cdot \frac{\partial t_j}{\partial x} \right]; \quad (1)$$

с граничными условиями:

с наружной стороны:

$$-\lambda_j^n \frac{\partial t_j}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_j^n (t_j - t_n) + p_j \cdot \beta_j \cdot q_j; \quad (2)$$

с внутренней стороны:

$$-\lambda_j^e \frac{\partial t_j}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = \alpha_{kj} (t_j - t_e) + \sum \alpha_{nj \neq i} (t_j - t_i) - \frac{\beta_{1j} \cdot \beta_{2j} \cdot F_0 \cdot q_j}{F_0} - (1 - \rho_k) \frac{Q_{mx}}{F_0}; \quad (3)$$

и с начальными параметрами температуры:

$$t_{jo}(o, x) = \varphi_{jo}(x); \quad (4)$$

Процесс передачи влаги для каждой составляющей описывается системой одномерных дифференциальных уравнений влагопроводности (потенциала влажности Θ , °В) с граничными и начальными условиями для каждой составляющей:

$$\eta_j(\theta, t) \cdot \rho_j \frac{\partial \theta_j}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} [\alpha(\theta, t) \frac{\partial \theta}{\partial x}]; \quad (5)$$

граничные условия:

с наружной стороны:

$$-\alpha_j^n(\theta, t) \frac{\partial \theta_j}{\partial x} \Big|_{x=0} = \beta_{nj} (\theta_j - \theta_n); \quad (6)$$

с внутренней стороны:

$$-\alpha_j^e(\theta, t) \frac{\partial \theta_j}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = \beta_{ej} (\theta_j - \theta_e); \quad (7)$$

и начальные условия:

$$\theta_{jo}(o, x) = F_{jo}(x), \quad (8)$$

Уравнения баланса теплоты воздушной среды описывается обыкновенными дифференциальным уравнением:

$$\rho_k \cdot Q_{c.o} + \rho_k \cdot Q_{mx} + G_e \cdot C_e (t_{np} - t_e) + \sum \alpha_k \cdot F_j (t_j - t_e) = V_n \cdot \rho_e \cdot C_e \frac{\partial t_e}{\partial z}; \quad (2.2.9)$$

Уравнение баланса влаги воздушной среды описывается дифференциальным уравнением с известным аналитическим решением.

$$W_{mx} + G_a \cdot \eta_a(\theta, t) \cdot (\theta_{i0} - \theta_a) + \sum \beta_j \cdot F_j (\theta_a - \theta_j) = V_n \cdot \rho_a \cdot \eta(\theta, t) \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (10)$$

Вышеуказанные уравнения являются уравнениями параболического типа с разрывными коэффициентами первого рода, которые решаются интегро-интерполяционным методом. Алгоритмом расчета предусматривается дискретизация времени и решение системы алгебраических уравнений тепло- и влагопроводности ограждений, и баланса тепла и влаги внутреннего воздуха помещения, для каждого шага времени численным методом конечных разностей (метод сеток) по неявной схеме с последующим решением их методом прогонки. Идея метода прогонки заключается в сведении разностного уравнения 2-го порядка баланса теплоты и влаги воздуха к системе линейных алгебраических уравнений (при наличии трех диагоналей) для вычисления последовательности коэффициентов прогонки, которые позволяют на обратном ходу вычислять температуру и потенциал влажности в узлах сетки. Неявная схема для вышеуказанных уравнений при внутренних и внешних поступлениях тепла и влаги, и режимах работы систем обеспечения микроклимата представляет собой систему алгебраических уравнений для значений сеточной функции Y_i^{j+1} на новом временном слое $t=t_{j+1}$. Разработаны алгоритм и компьютерная программа для выбора целесообразных тепловлажностных режимов здания при переменных внутренних и внешних воздействиях воздушной среды

Приведены два варианта решения уравнений тепловой и влажностной задачи, основанной на математической модели тепловлажностного режима помещения, а именно решение нестационарного тепловлажностного режима ограждений помещения с целью выбора целесообразных систем обеспечения микроклимата при заданных значениях температуры и потенциала влажности воздушной среды и решение нестационарного ТВРП в переходный период времени при отключении СОМ, но при работе технологического оборудования.

Для оценки достоверности разработанной математической модели и предложенного метода ее решения необходимо провести экспериментальные натурные исследования тепловлажностного режима помещения при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги для помещений здания с повышенной влажностью как с использованием стандартных приборов для определения параметров внутренней и внешней среды, так и с помощью датчика влажности, который может определить потенциал влажности, оценивающий влажностное состояние как внутреннего и наружного воздуха, так и поверхностного слоя ограждающих конструкций.

В третьей главе «Экспериментальные лабораторные и натурные исследования тепловлажностного режима наружных ограждений» представлена испытания теплозащитных качеств наружных ограждающих конструкций и стыковых соединений панельных жилых зданий массового строительства и кирпичного здания лабораторного корпуса для различных периодов года. Обзор литературных источников и патентный поиск показали, что оценку теплозащитных качеств наружных ограждений и стыковых соединений наружных ограждений можно проводить согласно ОСТ 20-2-74, где определен порядок проведения натуральных испытаний с измерительными приборами,

расчеты и сравнительный анализ полученных результатов с нормативными величинами.

Объектами исследования выбрано здание панельное жилого дома массового строительства в г. Бишкек и кирпичное здание лабораторного корпуса Научно-исследовательского института сейсмостойкого строительства при Госстрое Кыргызской Республики.

Для измерения температуры на наружной и внутренней поверхностях ограждения использовались хромель-копелевые термопары типа ТХК, которые присоединялись к многоточечному самопишущему потенциометру для обеспечения непрерывной автоматической записи. Тепловые потоки измерялись тепломерами типа М, которые присоединялись к измерительному цифровому вольтметру типа В7-21А через переключатель типа МГМ-10, а температура и влажность внутри помещения - самопишущими термографами и гигрографами. Скорость и направление ветра замерялись анемометром типа МС – 13, интенсивность суммарного солнечного облучения и отраженной от ограждения солнечной радиации- альбедометром – пиранометром.

Общий вид и местоположение измерительного оборудования на внутренней поверхности ограждения и расположение термопар на наружной поверхности ограждения и их защита от солнечного воздействия при испытаниях кирпичного здания лабораторного корпуса представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 - Общий вид и местоположение измерительных приборов на внутренней и наружной поверхностях ограждения кирпичного здания лабораторного корпуса

Оценка теплозащитных качеств наружных ограждений и стыков наружных ограждений зданий, с учетом влажности внутреннего и наружного воздуха, проводилась на основании сравнительного анализа экспериментальных данных сопротивления теплопередачи, температуры на поверхности ограждения и температуры внутри помещения, полученных с помощью общепринятых инженерных методов. Сравнение результатов показало, что теплозащитные качества наружных ограждений и стыковые соединения кирпичного и

панельного зданий не соответствуют нормативным величинам. На наружных поверхностях ограждений панельного здания наблюдалось выпадение конденсата и накопление влаги, что приводит к снижению долговечности здания. В целях улучшения теплозащитных качеств ограждений и поддержания требуемых параметров внутреннего воздуха для типового панельного здания массового строительства рекомендовано предусматривать «сухие стыки» предлагаемые ленинградцами при проектировании и строительстве типовых панельных домов. Сравнение результатов натурных исследований и полученных общепринятыми инженерными методами показало необходимость выполнения натурных исследований помещения с введением расчетных показателей потенциала влажности и использования его для расчета тепловлажностного режима помещения по предложенной математической модели. Так как, полученные результаты расчетов тепловлажностных процессов, проведенных при стационарных натурных испытаниях, позволяют получить только приближительную картину реальных процессов, происходящих в ограждениях и помещениях зданий, необходимо провести натурные испытания в красильном цехе производственного помещения. Результаты натурных исследований позволят провести оценку достоверности разработанной математической модели процессов.

В четвертой главе «Экспериментальные натурные исследования тепловлажностного режима помещения для проверки достоверности математической модели процессов» определены цель, задачи и порядок проведения экспериментальных натурных исследований тепловлажностного режима помещений (ТВРП) с повышенной влажностью для проверки достоверности разработанной математической модели процессов. Выбран объект исследования для проведения натурных экспериментальных исследований тепловлажностного режима помещения при переменных внешних и внутренних воздействиях теплоты и влаги на основе теории потенциала влажности, выбраны измерительные приборы с использованием универсального комплексного параметра влажностного состояния воздушной среды и материалов ограждений – потенциала влажности, а также методы определения расходов теплоты и влаги, выполнен сравнительный анализ данных, полученных в ходе натурных исследований, с расчетными данными, полученными с помощью разработанной математической модели на основе теории потенциала влажности.

Объектом исследования выбран красильный цех производственного здания с тепло- и влаговыделениями от технологического оборудования и других источников теплоты и влаги. При проведении натурных исследований, кроме стандартных приборов для измерения температуры, влажности и интенсивности солнечной радиации, использовались датчики влажности (ДВ), с помощью которых определялся потенциал влажности, характеризующий влажностное состояние внутреннего и наружного воздуха и элементов ограждающих конструкций. Схема размещения технологического оборудования и датчиков влажности (ДВ) в помещении красильного цеха представлена на рисунке 2.

Основными источниками выделения теплоты и влаги в цехе являются красильно-промывные машины типа МКП -1 и МКПШ-1, а также красильно-промывные барабаны типа КБ-50. Оборудование работает в две смены, в цехе имеется приточная камера, подающая воздух через сеть.

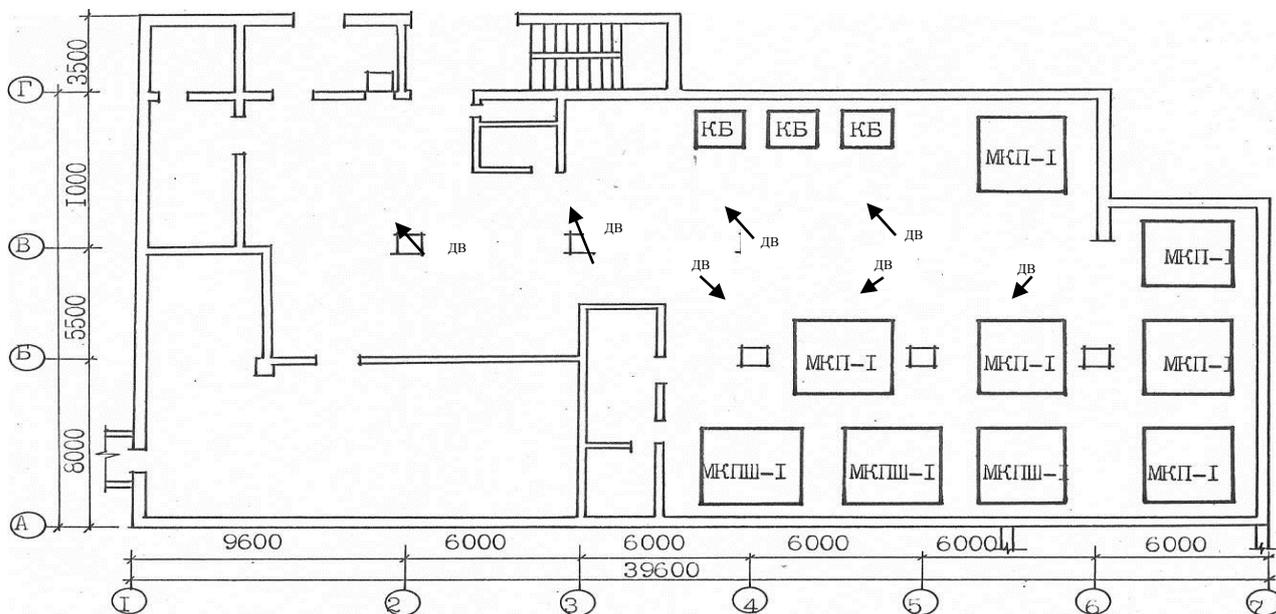


Рисунок 2 - Схема размещения технологического оборудования и датчиков влажности в помещении красильного цеха

Натурные исследования проводились в разные периоды года, в течение которых определялись суточные и недельные данные температуры, относительная влажность и потенциала влажности внутреннего и наружного воздуха, объемы тепловлаговывделений от технологического оборудования, расход воздуха на входе и выходе из воздухораспределительных устройств и другие параметры наружного воздуха. Потенциал влажности внутреннего воздуха для разных периодов года определялся с помощью датчика влажности, изготовленного из фильтровальной бумаги, а также на основании температуры и относительной влажности по диаграмме $\Theta_{в} = f(t_{в}, \phi_{в})$. Потенциал влажности наружного воздуха $\Theta_{н}$ рассчитывался по формуле Б.В. Абрамова, на основании данных наружного воздуха – температуры, относительной влажности, солнечной радиации, скорости и направления ветра. Экспериментальные данные тепло- и влагопоступления, расход воздуха вентиляции определялись при двухсменной работе предприятия. В качестве примера на рисунке 3 представлена динамика изменения экспериментальных данных температуры и потенциала влажности внутреннего воздуха в красильном цехе в течение суток в осенний период.

Для проверки достоверности разработанной математической модели ТВРП в качестве исходных параметров для компьютерной программы принимались экспериментальные данные.

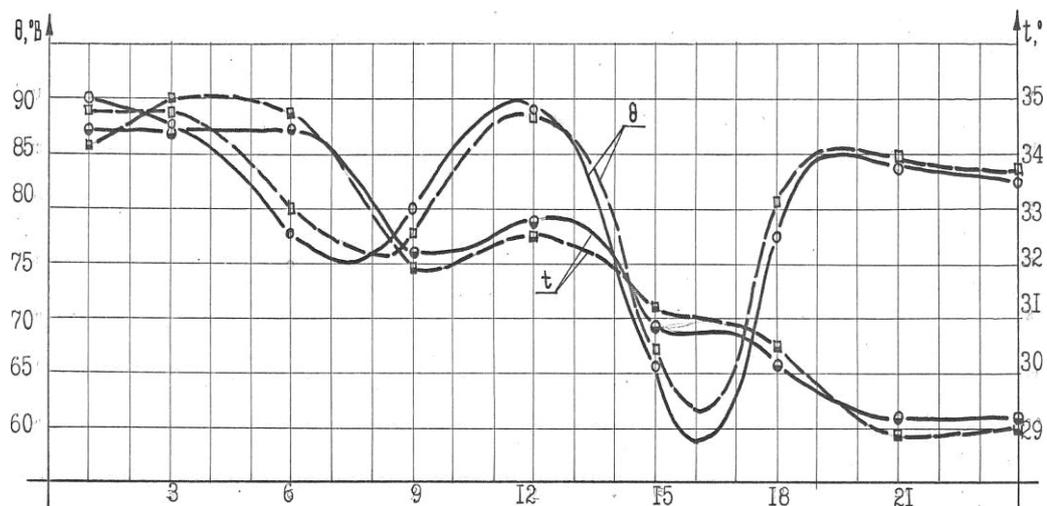


Рисунок 3 - Динамика изменения экспериментальных данных температуры и потенциала влажности внутреннего воздуха в красильном цехе в течение суток в осенний период

На рисунке 4 показаны экспериментальные данные температуры, относительной влажности и потенциала влажности внутреннего воздуха (по датчику влажности и диаграмме), которые сравнивались с результатами данных, рассчитанных по математической модели.

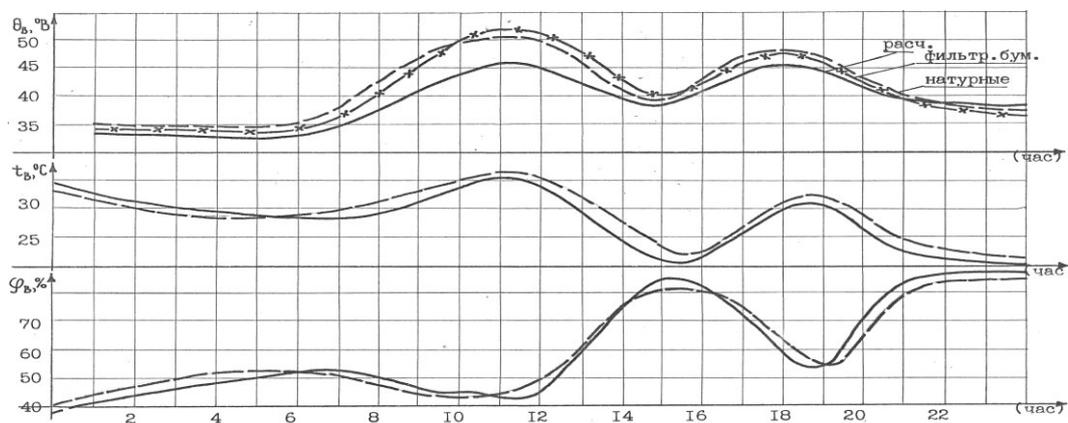


Рисунок 4 - Сравнительный анализ экспериментальных данных внутреннего воздуха с расчетными, полученными по математической модели в течении суток

Сравнительный анализ результатов эксперимента и данных, рассчитанных по математической модели, подтвердил достоверность разработанной математической модели ТВРП в пределах 85%. Расхождения между результатами натуральных исследований и расчетными данными по математической модели, составляющие около 15% вызваны неполным соответствием между реальностью и математической моделью. Разработанную математическую модель можно использовать для расчета при оптимизации тепловлажностного режима помещения зданий при переменных внутренних и

внешних воздействиях теплоты и влаги с целью выбора целесообразных тепловлажностных режимов помещения.

В пятой главе «Современные методы энергетического аудита теплозащитных качеств помещений здания. Техничко-экономическое обоснование выбора целесообразных тепловлажностных режимов помещений» описан порядок проведения энергетического обследования (аудита) школы-лицея № 2 им. Баранова в селе Новопокровка, Кыргызской Республики с локальной угольной котельной. Проведено визуальное, инструментальное и тепловизионное обследование здания, включая замеры параметров внутреннего и наружного воздуха в разных классах школы, температуры на внутренних и внешних поверхностях наружных ограждений. В ходе обследования были выявлены нарушения требуемых параметров внутреннего воздуха и ограждающих конструкций в некоторых помещениях классов. Для их устранения были предложены энергоэффективные и организационные меры с проведением расчетов по технико-экономическим показателям и выработаны рекомендации внедрению энергоэффективных мер с целью исключения выпадения конденсата на поверхностях ограждений и обеспечению рационального и экономного расходования энергоносителей.

Натурные исследования параметров внутреннего воздуха в разных классах показал, что температура колеблется в пределах от 13,5⁰С до 18,5⁰С при нормативной температуре 20⁰С, а влажность - от 28,6% до 80% при нормативной 50-60%. Такая ситуация привела к выпадению конденсата как на внутренних, так и на внешних поверхностях ограждений, а также их стыковых соединений. Выпадение конденсата в стыковых соединениях наружных ограждений здания было выявлено с помощью тепловизионного обследования здания школы, фотофиксация выпадения конденсата в стыковом соединении (в углу) наружных ограждений показана на рисунке 5.

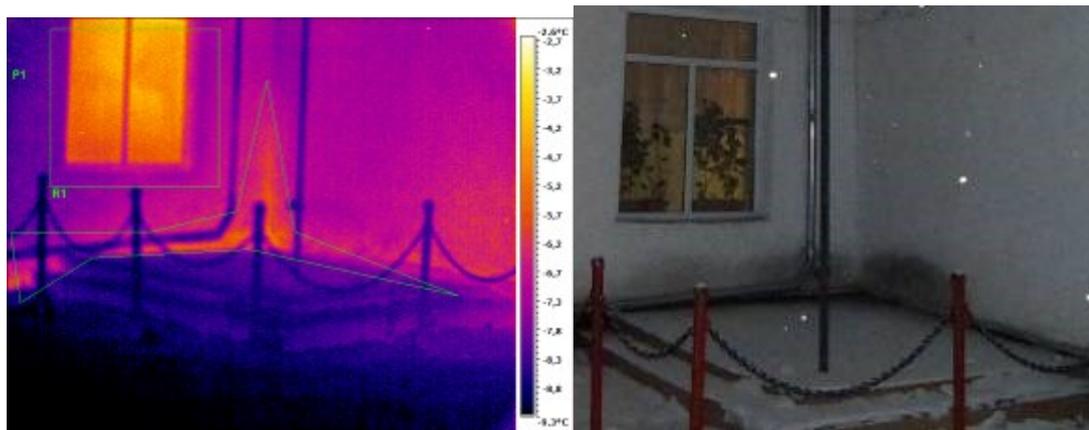


Рисунок 5 - Фотофиксация наружного стыкового соединения, полученная с помощью тепловизионной съемки

Энергетический аудит здания школы показал, что теплотехнические характеристики ограждений здания не соответствуют требуемым параметрам.

Визуальное обследование здания также показало незначительные повреждения поверхностного слоя стенового материала и как следствие выпадение конденсата на внутренних и внешних поверхностях ограждений здания. С целью исключения негативных явлений, руководству школы были предложены организационные и энергоэффективные меры, подтвержденные технико-экономическими расчетами по экономии энергоресурсов и сроков окупаемости.

По итогам энергетического аудита руководству школы было рекомендовано устранить повреждения ограждений, возобновить работу вентиляции в здании, осушить и произвести изоляцию наружных ограждений и их стыковых соединений базальтовым волокном толщиной 100 мм. Экономия энергии при таких мерах ориентировочно составит 151,36 тыс. кВт·ч/год или 330,0 тыс. сом/год

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложен универсальный потенциал влажности в качестве комплексного показателя влажностного состояния любой среды - воздуха, строительных материалов, водных и других поверхностей при расчете тепловлажностных процессов, происходящих в помещениях и ограждающих конструкциях помещений здания.

2. Разработана математическая модель тепловлажностного режима помещений здания при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги на основе теории потенциала влажности и предложено решение моделируемых процессов конечно-разностным численным методом по неявной схеме с использованием компьютерной программы.

3. Научно обоснована и экспериментально подтверждена математическая модель тепловлажностного режима помещений для выбора целесообразных тепловлажностных режимов помещения при переменных внешних и внутренних воздействиях теплоты и влаги.

4. Выбраны различные методы лабораторных, экспериментальных натурные испытаний тепловлажностных режимов помещений и теплозащитных качеств ограждений и их стыковых соединений, включая метод энергетического аудита по оценке теплозащитных качеств наружных ограждающих конструкций и их стыковых соединений для разных типов зданий.

5. Даны рекомендации по усовершенствованию и применению «сухих стыков» для панельных жилых домов массового строительства серии № 105 в г. Бишкек с целью исключения накопления влаги в толще стыковых соединений и обеспечению долговечности здания.

6. Предложен порядок проведения энергетического аудита здания с использованием современных измерительных приборов для определения требуемых параметров воздуха в помещениях и выбора энергоэффективных мер для поддержания требуемых параметров систем обеспечения микроклимата.

7. Проведены технико-экономические расчеты по выбору и внедрению энергоэффективных мер с указанием экономии энергии в объеме 151,36 тыс. кВтч/год или 330,0 тыс. сом /год при сроке окупаемости в 6 лет.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. **Боронбаев Э.К.** Математическая модель тепловлажностного режима помещений зданий / Боронбаев Э.К., **Касымова Г.Т.**, Абдылдаева А.М. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, Бишкек, вып. №2, 2019.– С.3-9.
2. **Касымова Г.Т.** Энергобезопасность Кыргызской Республики в региональном разрезе / Касымова Г.Т. // Экономический вестник, НВЦ «Экономист», Бишкек, 2000.- С. 27-36.
3. **Касымова Г.Т.** Бюджетная сфера Кыргызской Республики на энергосберегающем пути развития / Касымова Г.Т. // Международная научно-практическая конференции «Энергетика: состояние, проблемы, перспективы», Бишкек, 2014.- С. 206-209.
4. **Касымова Г.Т.** Исследования теплозащитных качеств ограждающих конструкций и стыковых соединений панельных и кирпичных жилых домов / Касымова Г.Т., Абдылдаева А.М // Вестник, КГУСТА, вып. №4 (62), Бишкек, 2018. - С. 145-153.
5. **Касымова Г.Т.** Сравнение результатов натуральных исследований с математической моделью тепловлажностного режима помещения при нестационарных внутренних и внешних воздействиях / Касымова Г.Т., Абдылдаева А.М // Вестник, КГУСТА, вып. №4 (62), Бишкек, 2018. - С. 154-164.
6. **Касымова Г.Т.** Применение инновационных теплоизоляционных материалов «Изоллат» при тепловлажностных воздействиях климата на предприятиях топливно-энергетического комплекса Кыргызской Республики / Касымова Г.Т., Богатова Н.А., Стамбекова Г.А. // Известия, КГТУ, вып. №4 (48), Бишкек, 2018. – С.108-115.
7. **Касымова Г.Т.** Политика энергосбережения в теплоэнергетической отрасли Кыргызской Республики / Касымова Г.Т. // Известия, КГТУ, вып. №4 (48), Бишкек, 2018. – С.133-137.
8. **Касымова Г.Т.** Энергосбережение в общественных зданиях бюджетной сферы при различных климатических условиях Кыргызской Республики / Касымова Г.Т., Абдылдаева А.М. // Вестник, СамГТУ, Самара, 2019. –С.27-30.
9. **Касымова Г.Т.** Продвижение политики энергосбережения в Кыргызской Республике / Касымова Г.Т. // Материалы 76-ой Международной научно-технической конференции «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре», Самара, МНВО РФ, МОН СО, СамГТУ, 2019. – С.86-92.
10. **Касымова Г.Т.** Энергосбережение в зданиях бюджетной сферы при различных климатических условиях Кыргызской Республики / Касымова Г.Т., Абдылдаева А.М. // Вестник науки и образования, Москва, 2019, - С. 22-25.
11. **Родина Е.М.** Решение задач энергосбережения и энергоэффективности в Кыргызской Республике / Родина Е.М., Касымова Г.Т. // VI –я Международная

научно-практическая конференция «Наука и образование: проблемы, идеи, инновации», ИЦИТП, НИЦ «НИКА», вып.№2 (5), г.Уфа, 2018. – С. 72-76.

12. Родина Е.М. Изменение климата – главный вызов экологической безопасности среднеазиатского региона / Родина Е.М., Касимова Г.Т. // Материалы в сборнике научных трудов «Технические средства мониторинга гидротехнических сооружений и экологическая безопасность среднеазиатского региона», КРСУ, г. Бишкек, 2018 г. – С.24-31.

13. Тертичник Е.И. Тепловлажностный режим наружных ограждений при периодической работе системы кондиционирования микроклимата (СКМ) / Тертичник Е.И., Касимова Г.Т. // Республиканская научно-практическая конференция. Совершенствование методов рационального использования водных ресурсов. Госкомприроды КР, Минводхоз КР, МНО КР, ФПИ, г. Бишкек: 1989.- С. 91-92.

РЕЗЮМЕ

диссертации Касымовой Гульсары Токтокуновны на тему: «Выбор целесообразных тепловлажностных режимов помещений зданий при переменных внешних и внутренних воздействиях теплоты и влаги» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Ключевые слова: датчик влажности, допустимые и оптимальные параметры, кондиционирование воздуха, конечно-разностный численный метод, математическая модель, отопление и вентиляция, ограждающие конструкции, системы обеспечения микроклимата, тепловлажностный режим помещения, тепловлажностный процесс, энергосбережение, энергосберегающие мероприятия

Объекты исследования: изучение тепловлажностных режимов при переменных воздействиях внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги в помещении красильного цеха Фрунзенского трикотажного объединения «Ильбирс» г. Бишкек, панельного жилого дома массового строительства серии №105, кирпичного здания лабораторного корпуса Научно-исследовательского института сейсмостойкого строительства при Госстрое Кыргызской Республики (ныне Государственный институт сейсмостойкого строительства и инженерного проектирования) и в разных классах общеобразовательной школы – лицея № 2 им. Баранова, с. Новопокровка Чуйской области Кыргызской Республики

Предметы исследования: теоретическое, экспериментальное, натурное и научно - практическое исследование динамики и методов решения тепловлажностного режима помещений при переменных воздействиях теплоты и влаги и выпадение конденсата на поверхностях ограждений и их стыковых соединений разных типов зданий, включая помещение с повышенной влажностью производственного здания, а также энергетический аудит с использованием современных измерительных приборов при обследовании здания школы

Цель работы: Выбор целесообразных тепловлажностных режимов помещений зданий при переменных внешних и внутренних воздействиях теплоты и влаги

Методы исследования: используется численный метод конечных разностей (метод сеток) по неявной схеме с разработанным алгоритмом и комплексом программного обеспечения, включая современные компьютерные программы для расчета математической модели тепловлажностного режима помещений при переменных воздействиях теплоты и влаги, а также энергетический аудит общественного здания для визуального, инструментального и тепловизионного обследования здания школы с применением современного инструментального оборудования

Полученные результаты и их новизна:

-предложено использовать потенциал влажности в качестве комплексного показателя, оценивающего влажностное состояние любой среды - воздуха,

строительных материалов, водных и других поверхностей при расчете тепловлажностных процессов, происходящих в помещениях и ограждающих конструкциях зданий;

- разработана математическая модель тепловлажностного режима для помещения красильного цеха при переменных внутренних и внешних воздействиях теплоты и влаги, основанные на теории потенциала влажности и предложено ее решение конечно-разностным численным методом по неявной схеме с использованием комплекса программ на ЭВМ, включая современные компьютерные программы;

- проведены натурные исследования тепловлажностного режима помещения красильного цеха с внутренними тепло - влаговыделениями при воздействиях параметров наружного климата на основе теории потенциала влажности с целью подтверждения достоверности разработанной математической модели тепловлажностных процессов;

- предложен порядок проведения энергетического обследования (аудита) здания школы –лицея №2 с использованием современных измерительных приборов для выбора энергоэффективных мер с предоставлением технико-экономического обоснования и экономии энергоресурсов для локальной котельной в перспективе для поддержания требуемых параметров воздуха в помещениях и улучшению теплозащитных качеств конструкций здания школы.

Степень использования. Имеются рекомендации Научно-технического совета Научно-исследовательского института энергетики при Министерстве энергетики Кыргызской Республики по внедрению энергоэффективных мер в общеобразовательной школе-лицее № 2 им. Н.С. Баранова, с. Новопокровка Чуйской области Кыргызской Республики, Акты внедрения общеобразовательной школы-лицея № 2 им. Н.С. Баранова, с. Новопокровка Чуйской области Кыргызской Республики по внедрению энергоэффективных мер, полученных при проведении аудита и Государственного института сейсмостойкого строительства и инженерного проектирования по рекомендациям применения «сухих стыков» для панельных домов массового строительства в Кыргызской Республике

Область применения. При проектировании, прогнозировании различных типов зданий разных отраслей экономики, в том числе строительной отрасли, а также в проектных и научно-исследовательских институтах Кыргызской Республики

SUMMARY

of the dissertation of **Kasymova Gulsary Toktokunovna** on the topic

"Selection of appropriate heat and humidity regimes of building premises under variable external and internal influence of heat and humidity" for obtaining the degree of Candidate of Technical Sciences on specialty 05.23.03 - heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting.

Keywords: humidity sensor, permissible and optimal parameters, air conditioning, finite difference numerical method, mathematical model, heating and ventilation, enclosing structures, thermal-humidity regime of the room, thermal-humidity process, energy saving, energy saving measures.

Objects of research: study of heat and humidity conditions under the variable influence of internal and external heat and humidity effects in the premises of the dyeing plant of the Association of Knitting Factories "Ilbirs" in Bishkek, in a prefabricated flat block house of mass construction of series no. 105, a brick building of the Laboratory of the Research Institute of Earthquake Engineering under the State Construction Committee of the Kyrgyz Republic (now the State Institute of Earthquake Engineering and Engineering Design) and in various classrooms of the comprehensive school - Lyceum No. 2 named after Baranov located in the village Novopokrovka, Chui oblast, Kyrgyz Republic.

Topics of research: theoretical, experimental, field and scientific-practical study of the dynamics and methods of solving the heat and moisture conditions of premises under variable effects of heat and moisture and condensation on the surfaces of enclosures and their butt joints of various types of buildings, including premises with high humidity of a production building and conducting an energy audit using modern measuring instruments when examining a school building.

Research objective: Selection of appropriate thermal and moisture regimes of building spaces under variable external and internal heat and moisture loads.

Research methods: The numerical method of finite differences (grid method) is applied on the basis of an implicit scheme with the developed algorithm and software package, including modern computer programs for calculation of a mathematical model of thermal and humidity conditions of premises under variable effects of heat and humidity, as well as an energy audit of a public building for a visual, instrumental and thermal imaging inspection of a school building using modern instrumental equipment.

Obtained results and their novelty:

- It is recommended to use the humidity potential as a complex indicator assessing the humidity state of any environment - air, building materials, water and other surfaces, when calculating thermal and humidity processes occurring in premises and building envelopes;
- Based on the theory of humidity potential, a mathematical model of the hydrothermal (heat and humidity) regime for the premises of a dyeing plant under variable internal and external effects of heat and humidity was developed, and its solution was proposed using a finite-difference numerical method in accordance with an implicit scheme with the use of a number of computer programs, including modern computer programs;
- On the basis of the theory of moisture potential, full-scale field studies of the heat and moisture regime of the dyeing plant with internal heat and moisture emissions under the influence of external climatic parameters were carried out in order to confirm the reliability of the developed mathematical model of heat and moisture processes;
- A procedure for conducting an energy audit of the building of the Lyceum School No. 2 using modern measuring instruments in order to select energy-efficient measures along with the feasibility study and energy savings for a local boiler house in the future to maintain the required indoor air parameters and improve the thermal insulation requirements of the school building structures was recommended.

Extent of use. There are recommendations of the Scientific and Technical Council of the Research Institute of Energy under the Ministry of Energy of the Kyrgyz Republic on implementation of energy efficiency measures in secondary school-lyceum no. 2 named after N.S. Baranov in the Novopokrovka village, Chui region of the Kyrgyz Republic, acts on implementation of energy efficiency measures obtained during the energy audit of the secondary school-lyceum no. 2 named after N.S. Baranov in the village of Novopokrovka, Chui region of the Kyrgyz Republic and the State Institute of Earthquake Engineering and Engineering Design on the recommendations for the use of "dry joints" for panel houses of mass construction in the Kyrgyz Republic

Scope of application. In designing, forecasting of various types of buildings in different sectors of the economy, including the construction industry, as well as in the research and design institutes of the Kyrgyz Republic.