

**Национальная академия наук Кыргызской Республики**  
**Институт машиноведения, автоматике и геомеханики**  
**Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.Н. Ельцина**

Диссертационный совет Д 05.23.686

На правах рукописи  
УДК:002.62:659.2(575.2)(043)

**Сушибекова Алтынай Казакбаевна**

**Разработка информационной системы для тепловой защиты зданий в  
климатических условиях Кыргызской Республики**

05.13.01 – системный анализ, управление и обработка  
информации

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Бишкек - 2025**

Работа выполнена на кафедре «Информационные системы в экономике»  
Кыргызского Государственного Технического Университета им.И.Раззакова

**Научный руководитель:** Кутуев Мухамедий, доктор технических наук,  
профессор Кыргызского Государственного  
Технического Университета им.И.Раззакова, г.  
Бишкек

**Официальные оппоненты:**

**Ведущая организация:**

Защита диссертации состоится \_\_\_\_\_на заседании диссертационного  
совета Д 05.23.686 по защите диссертаций на соискание ученой степени  
кандидата технических наук при Институте машиноведения, автоматике и  
геомеханики Национальной академии наук Кыргызской Республики по адресу  
720055, г. Бишкек, ул. Скрябина 23.

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
к.ф.-м.н., с.н.с

Керимкулова Г.К.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Современные методы теплотехнического расчета требуют учета большого количества параметров, таких как климатические условия, свойства материалов, конструктивные особенности зданий и нормативные требования. Однако традиционные методы расчета зачастую оказываются трудоемкими и требуют высокой квалификации специалистов. В данной связи актуальной задачей является автоматизация процесса теплотехнического анализа на основе машинного обучения, которые открывают новые возможности для разработки экспертных систем, способных анализировать и прогнозировать тепловые характеристики ограждающих конструкций с высокой степенью точности.

Таким образом, разработка экспертной системы теплотехнического расчета ограждающих конструкций с применением методов машинного обучения является актуальной задачей, отвечающей современным тенденциям повышения энергоэффективности зданий и внедрения интеллектуальных технологий в строительную сферу.

**Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями, крупными научными программами (проектами), основными научно-исследовательскими работами, проводимыми образовательными и научными учреждениями.**

Исследования, представленные в диссертации, выполнены в рамках научно-исследовательских работ, проводившиеся в Кыргызском инженерно-строительном институте им. Н. Исанова (2017-2023гг.).

**Целью исследования** является использование машинного обучения (ML) в экспертной системе теплотехнического расчета, которое направлено на повышение точности процесса анализа тепловых потерь и теплопроводности теплоизоляционных материалов для энергоэффективности зданий с учетом климатических условий Кыргызской Республики

Сформулированная цель предполагает решение следующих основных задач:

- разработать модель экспертной системы теплотехнического расчета, предсказывающая тепловые потери ( $Q$ ), что позволит автоматически анализировать входные параметры (материалы, климат) и выполнять расчеты быстрее и точнее;
- построить ML-модель, обученной на реальных измерениях, что позволит выявить скрытые зависимости на основе данных теплотехнического расчета;
- разработать рекомендательную систему выбора теплоизоляционных материалов на основе ML с применением регрессионной модели и градиентного бустинга;

- провести экспериментальную проверку, полученных результатов расчета параметров теплоизоляционной конструкции.

**Объект исследования** – машинное обучение (ML) в экспертной системе теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий и сооружений.

**Предмет исследования** – применение методов машинного обучения для оптимизации, автоматизации и повышения точности теплотехнических расчетов, которые включают: определение теплоустойчивости конструкций; анализ паропроницаемости и воздухопроницаемости материалов; прогнозирование тепловых потерь и энергопотребления зданий; выявление скрытых закономерностей, влияющих на энергоэффективность.

**Методы исследования** - машинное обучение с использованием регрессионной модели и градиентного бустинга, а также обработка данных теплотехнического расчета для выявления корреляций и закономерностей симуляции поведения конструкций в разных климатических условиях.

**Научная новизна диссертационного исследования** состоит в следующем:

- разработана экспертная система машинного обучения (ML) для теплотехнического расчета для автоматизированного анализа и прогнозирования тепловых характеристик ограждающих конструкций с применением искусственного интеллекта для определения оптимальных материалов и конструктивных решений;
- усовершенствованы методы машинного обучения (ML), которые учитывают нелинейные зависимости между параметрами конструкции, климатическими условиями и эксплуатационными характеристиками, что спрогнозирует поведение материалов в различных климатических зонах;
- разработана модель подбора наилучшего состава и конфигурации строительных материалов с учетом энергоэффективности и экономической целесообразности с предложением инновационных решений по снижению теплопотерь и повышению энергоэффективности зданий.

**Практическая значимость полученных результатов.** Полученные результаты, применяемые при исследовании качества теплотехнического расчета, способствуют улучшению экспертной системы за счет применения методов искусственного интеллекта, что повышают энергоэффективность зданий и снижает эксплуатационные затраты.

Результаты экспертной системы теплотехнического расчета ограждающих конструкций используются в учебном процессе КГТУ им. И.Раззакова при проведении научно-исследовательских работ.

**Экономическая значимость полученных результатов.** Экспертная система теплотехнического расчета ограждающих конструкций внедрена в Кыргызский инженерно-строительный институт им. Н. Исанова.

Предполагаемый прямой экономический эффект от ее внедрения составляет более 40 % за счет снижения затрат на использование теплоизолирующих материалов по выданному заключению, что способствует улучшению качества ограждающей конструкции, что способствует экономии энергоресурсов на более 50% в год.

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

1. Разработана экспертная система теплотехнического расчета с применением машинного обучения (ML), способной автоматически анализировать теплоустойчивость, паропроницаемость и воздухопроницаемость ограждающих конструкций с использованием ML-алгоритмов для прогнозирования тепловых характеристик и энергоэффективность зданий.

2. Усовершенствованы методы машинного обучения для предсказания теплопотерь и энергопотребления для определения оптимальных параметров теплоизоляции и конструктивных решений с учетом климатических условий и эксплуатационных режимов.

3. Выявлены скрытые закономерности в теплотехнических характеристиках ограждающих конструкций с использованием методов машинного обучения для анализа массивов данных о материалах, климате, эксплуатационных факторах.

4. Разработан модель машинного обучения теплотехнических расчетов с применением регрессионной модели и градиентного бустинга для повышения точности прогнозирования тепловых процессов.

**Личный вклад соискателя.** Основные результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично. В работах [4], [5] руководителю д.т.н. Кутуеву М.Д. и консультанту к.т.н. Матозимову Б.С. принадлежат постановка задачи и направление ее решения.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты выполненной работы представлены на следующих научных конференциях международного и республиканского уровня: на Международной научно-практической конференции «Информационные технологии в Азии: состояние, проблемы и перспективы ИТРА-2014»; на III-Международной межвузовской научно-практической конференции конкурса научных докладов студентов и молодых ученых «Инновационные технологии и передовые решения» 2015г.; на Международной научно-практической конференции «Совершенствование прогнозирования и управления стихийными бедствиями» 2016г.; на Международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути развития защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций» 2016г.; на Международной научно-практической конференции «Современные тренды в строительстве: проблемы и пути их решения» 2023г.

## **Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.**

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в научных трудах, из которых: 9 статей опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК КР, индексируемых в системе РИНЦ. Также получено 1 свидетельство на программу для ЭВМ и 1 свидетельство об авторском праве от Кыргызпатента.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Содержание работы изложено на 164 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** изложены актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, представлена ее структура и практическая значимость.

**В первой главе** выполнен литературный обзор существующих экспертных систем теплотехнического расчета ограждающих конструкций.

Основой исследования стали труды Матозимова Б.С. (2019), где предложены климатико-вероятностные методы комплексного расчета на сейсмостойкость зданий. Экспертная система реализует ключевые задачи исследований и позволяет автоматизировать теплотехнический анализ. Аналогичные разработки представлены в статьях Амир Хосеина, Масуда Тахериюна (2014), М.А. Аль-Джибури и др. (2012), Мухаммада Умайра Салеема и соавторов (2015), а также Ахмеда А. Аль-Сулаймана и коллег (2016). Эти исследования подтверждают эффективность экспертных систем в энергоэффективном проектировании зданий.

В ходе анализа существующих экспертных систем, предназначенных для теплотехнического расчета ограждающих конструкций, были рассмотрены как зарубежные, так и российские программные продукты. Каждая из представленных систем обладает своими особенностями, преимуществами и недостатками, что определяет их применимость в различных областях проектирования и моделирования.

**Зарубежные системы** WUFI, THERM и HEAT2 демонстрируют высокий уровень точности расчетов, широкий функционал и развитую научную базу. Однако, они требуют значительных вычислительных ресурсов, сложны в освоении для неподготовленных пользователей и зачастую имеют высокую стоимость.

**Российские системы** «ТЕПЛО 3D» и «Термин» адаптированы к местным нормативным требованиям, обладают интеграцией с популярными CAD-платформами (Autodesk Revit, AutoCAD) и предлагают удобные инструменты для проектирования. Тем не менее, они также могут быть сложны в

использовании, требуют мощного оборудования и имеют ограничения по функционалу визуализации.

Таким образом, выбор конкретного программного обеспечения зависит от требований к точности расчетов, удобству использования, интеграции с другими инструментами, а также доступности и стоимости лицензий. Развитие экспертных систем теплотехнического расчета продолжает совершенствоваться, предлагая новые возможности моделирования и анализа для повышения энергоэффективности зданий.

**Вторая глава** посвящена методологии исследования базируется на применении методов машинного обучения (МО) для автоматизации и повышения точности теплотехнических расчетов. В исследовании используются как традиционные методы вычислений, так и современные алгоритмы МО для анализа теплотерь зданий.

Этапами исследования являются: анализ предметной области - изучение теплотехнических расчетов, теплофизических свойств материалов и факторов, влияющих на энергетические характеристики зданий; формирование набора данных- сбор и обработка данных о толщине стен, коэффициентах теплоизоляции, климатических условиях, температурах внутри и снаружи зданий, а также фактических энергопотерях; предобработка данных - нормализация числовых признаков, кодирование категориальных переменных с использованием One-Hot Encoding; выбор моделей МО - использование линейной регрессии для простых зависимостей и градиентного бустинга для учета сложных нелинейных взаимодействий; оценка качества моделей – анализ точности предсказаний с использованием MSE, R<sup>2</sup> и кросс-валидации; разработка экспертной системы – интеграция обученной модели в программное обеспечение для автоматизации расчетов; валидация и тестирование – проверка точности модели на новых данных и сравнение с традиционными расчетами.

Методы исследования включают статистический анализ, методы МО, алгоритмы оптимизации, а также тестирование на реальных и синтетических данных.

Построение модели линейной регрессии предполагает, что существует линейная зависимость между независимыми переменными и зависимой переменной. Модель представляется как:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n \quad (1)$$

где:

- Y- это энергетические потери (зависимая переменная),
- X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, ..., X<sub>n</sub> - независимые переменные (толщина стен, материал, температура),
- β<sub>0</sub>, β<sub>1</sub>, β<sub>2</sub>, ..., β<sub>n</sub> - коэффициенты регрессии, которые модель будет искать.

Градиентный бустинг строит последовательность деревьев решений, где каждое следующее дерево исправляет ошибки предыдущих моделей:

$$F_m(X) = F_{m-1}(X) + \gamma \cdot h_m(X) \quad (2)$$

где:

- $F_m(X)$  - текущая модель;
- $h_m(X)$  - новое дерево решений, обученное на ошибках предыдущей модели;
- $\gamma$  - коэффициент обучения.

Входными параметрами являются: толщина стен (м), плотность строительных материалов ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ), коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ), средняя наружная температура ( $T_{\text{out}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), средняя внутренняя температура ( $T_{\text{in}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), влажность воздуха ( $H$ , %).

Градиентный бустинг позволяет выявить, какие параметры конструкции больше всего влияют на коэффициент теплопередачи (теплопроводность материала, толщина конструкции, наружная температура).

**Третья глава** посвящена разработке экспертной системы теплотехнического расчета ограждающих конструкций на основе модели машинного обучения с использованием методов линейной регрессии и градиентного бустинга, которые заключаются в прогнозировании теплотехнических характеристик ограждающих конструкций на основе различных факторов, таких как: материалы конструкции, толщина и плотность материалов, температурные условия (наружная и внутренняя температура), энергетическая эффективность.

Модель экспертной системы содержит (рис .1):

- **Базу знаний**, которая содержит информацию о материалах (свойства, коэффициенты теплопроводности и теплоотдачи), строительных элементах (типовая конструкция), климатических условиях (температуры внутри и снаружи). База знаний представлена в виде набора правил, фактов и эвристик.
- **Механизм вывода**, которая использует знания, содержащиеся в базе знаний, для принятия решений и вывода рекомендаций по расчету ограждающих конструкций. Механизм вывода реализован с помощью логического вывода и математической модели расчета толщины теплоизоляционного материала в условиях неопределенности.
- **Алгоритмы расчета**, которые используются для оптимального теплотехнического расчета на теплоустойчивость, паропроницаемость и воздухопроницаемость.
- **Модель линейной регрессии**, которая будет предсказывать теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, путем поиска наилучшей прямой, которая минимизирует среднеквадратичную ошибку между предсказанными и реальными значениями.

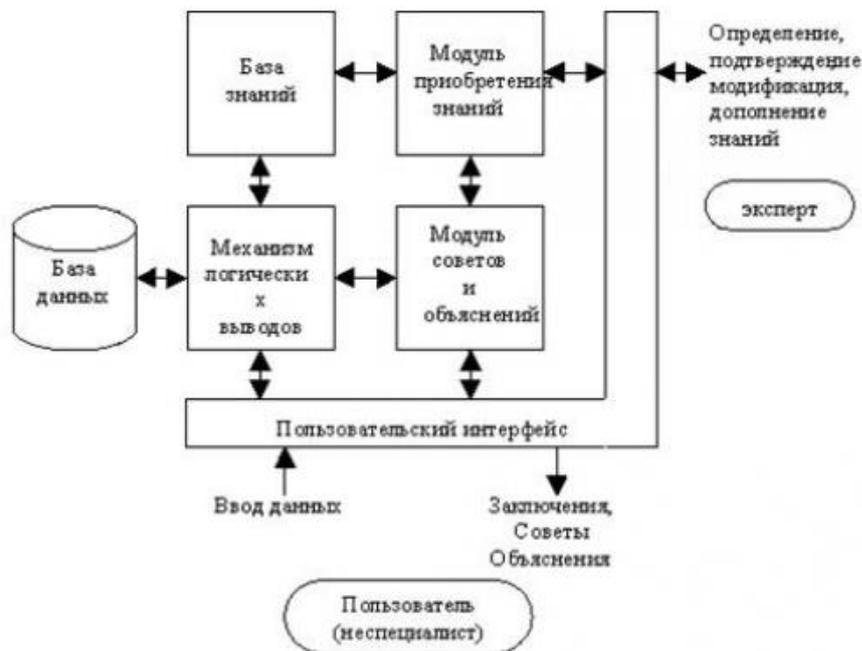


Рисунок 1 - Модель экспертной системы

- **Интерфейс пользователя** обеспечивает взаимодействие между пользователем и системой, который реализован с помощью графического представления в виде оконных форм.
- **Модуль советов и объяснений**, содержит рекомендации: по выбору подходящих материалов и конструкций для обеспечения эффективной теплозащиты зданий с учетом физических свойств, по оптимизации конструктивных параметров для повышения энергоэффективности и комфорта в помещениях, включая изменение толщины теплоизоляционных слоев.
- **Модуль приобретения знаний** содержит знания оптимальной толщины теплоизоляционного материала с учетом таких факторов как: климатические условия, требования теплопроводности материала, тип и состав ограждающей конструкции.

**Механизм логических выводов** содержит логические правила, условий и выводов для базы знаний экспертной системы теплотехнического расчёта ограждающих конструкций:

1. Если толщина стены больше, чем 30 см, и используется материал с высокой теплопроводностью, то теплопотери через стену будут высокими.  
Условия: толщина стены  $> 30$  см, материал имеет высокую теплопроводность.  
Вывод: высокие теплопотери через стену.
2. Если внешняя температура ниже, чем внутренняя температура, и нет утепления, то теплопотери через ограждающие конструкции будут значительными.

Условия: внешняя температура < внутренняя температура, отсутствие утепления.

Вывод: значительные теплопотери через ограждающие конструкции.

3. Если коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции выше допустимого уровня, то она не соответствует энергосберегающим стандартам.

Условие: коэффициент теплопередачи > допустимый уровень.

Вывод: несоответствие энергосберегающим стандартам.

4. Если влажность внутри помещения выше 70%, и температура наружного воздуха ниже, чем внутри, то возможно образование конденсата на внутренней поверхности ограждающих конструкций.

Условия: влажность внутри помещения > 70%, температура наружного воздуха < внутренняя температура.

Вывод: возможно образование конденсата на внутренней поверхности ограждающих конструкций.

5. Если теплоизоляция ограждающей конструкции усиленно применяется в местах установки систем отопления и кондиционирования, то возможно уменьшение теплопотерь в этих зонах.

Условие: применение усиленной теплоизоляции в зонах установки систем отопления и кондиционирования.

Вывод: уменьшение теплопотерь в этих зонах.

**Правила эксперта машинного обучения теплотехнического расчета ограждающих конструкций** направлены на использование знаний и данных для автоматизированного определения оптимальных параметров теплоизоляции и конструктивных решений, с целью повышения энергоэффективности зданий.

1. Правило: оценка теплопотерь в зависимости от типа материала:

Условие: если тип материала ограждающей конструкции (стена, крыша, окно) определен, то система должна выбрать соответствующие параметры для расчета теплопотерь, основываясь на теплопроводности материала.

Действие: если материал обладает высокой теплопроводностью (например, бетон, кирпич), то теплопотери будут выше, если материал обладает низкой теплопроводностью (например, пенобетон, минеральная вата), то теплопотери будут ниже.

2. Правило: регулировка толщины теплоизоляции в зависимости от климата

Условие: если климатический регион характеризуется холодными зимами (температура ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ ), система должна предложить увеличение толщины теплоизоляции.

Действие: в холодных климатах рекомендуется использовать более толстый слой теплоизоляции для обеспечения минимальных теплопотерь, в умеренных климатах можно использовать стандартные слои теплоизоляции.

3. Правило: учет плотности и теплопроводности при расчетах теплопотерь

Условие: если плотность материала стен и крыш высока, это может привести к большим теплопотерям из-за высокой теплопроводности.

Действие: в случае высоких значений плотности материала (например, кирпич или бетон) следует предложить дополнительные меры по утеплению, если плотность материала низкая (например, пенопласт), то нужно учитывать дополнительные физические свойства, такие как пористость, которые снижают теплопотери.

4. Правило: учет эксплуатационных факторов при расчетах энергоэффективности

Условие: если режим эксплуатации здания предусматривает интенсивное использование отопления или кондиционирования воздуха, необходимо учесть дополнительные теплопотери.

Действие: для зданий с высоким энергопотреблением (например, офисные здания или производственные помещения) предложить более эффективные системы вентиляции и утепления.

5. Правило: оценка теплопотерь при многоуровневых зданиях

Условие: если многоуровневое здание (например, с несколькими этажами), система должна учитывать влияние этажности на теплопотери через потолки и стены.

Действие: в многоуровневых зданиях, теплопотери через перекрытия между этажами будут значительными, особенно если между этажами нет дополнительной теплоизоляции, рекомендуется использовать дополнительную теплоизоляцию на этажах и межэтажных перекрытиях.

6. Правило: автоматическая корректировка расчетов в зависимости от обновленных данных

Условие: если данные о климате или новых строительных материалах обновляются, система должна автоматически пересчитывать теплотехнические характеристики.

Действие: при обновлении данных о климате или появлении новых материалов с улучшенными теплоизоляционными свойствами, система должна предложить пересмотр расчетов для снижения теплопотерь, использование машинного обучения для корректировки правил на основе новых данных.

Эти правила обеспечивают основу для создания экспертной системы, которая на основе машинного обучения и анализа данных о материалах, климате и эксплуатационных режимах зданий автоматически предлагает

оптимальные решения для теплотехнического расчета ограждающих конструкций, повышая энергоэффективность и минимизируя теплопотери.

**Модель диаграммы классов** теплотехнического расчета ограждающих конструкций с использованием машинного обучения метода линейной регрессии.

Основные классы модели линейной регрессии:

1. **LinearRegression**: класс обучения и прогнозирования линейной регрессии, имеет атрибуты для хранения данных (features, target).
2. **BuildingElement**: класс ограждающей конструкции (слой материала), которая содержит информацию о его характеристиках (материал, толщина, теплопроводность, термическое сопротивление). Класс также реализует метод calculate\_U() для расчета коэффициента теплопередачи.
3. **HeatLossCalculator**: класс теплопотерь, использует объект BuildingElement, площадь и разницу температур для вычисления теплопотерь.

Взаимодействие между классами:

- LinearRegression используется для прогнозирования характеристик строительных материалов (коэффициент теплопроводности) на основе имеющихся данных;
- BuildingElement представляет собой элемент ограждающей конструкции;
- HeatLossCalculator используется для вычисления теплопотерь через ограждающую конструкцию.

**Экспертная система представлена в виде UML – диаграмм.**

Диаграмма классов представлена в виде атрибутов со свойствами и методами реализации теплотехнического расчета такие, как:

- класс – ограждающая конструкция (тип конструкции);
- класс – материал (теплоизоляционный материал и его толщина в условиях неопределенности, коэффициент проводности);
- класс – параметры (климатические условия);
- класс – теплотехнический расчет (расчеты на теплоустойчивость, паропроницаемость и воздухопроницаемость), проверка параметров;
- класс – результаты расчета (представление выходных данных).

**Четвертая глава** содержит экспериментальное исследование.

Задачи создания микроклимата в помещениях решаются в тесном взаимодействии с выбираемыми характеристиками ограждающих конструкций и способами создания микроклимата. Степень сопротивления ограждающих конструкций проникновению в помещение холода, солнечного тепла, ветра определяет технико-экологическую эффективность теплового барьера, создаваемого конструктивными мерами. Хорошие в теплотехническом отношении решения достигаются только при комплексном подходе к теплозащите и тепловому комфорту помещений, гарантирующим минимальные годовые расходы на обогрев зимой и охлаждение зданий летом.

Снижение расчетных потерь тепла зданиями может существенно уменьшить напряженность теплового баланса в стране, поскольку теперь на теплоснабжение возведенных зданий и сооружений расходуются до 40% добываемого твердого и газообразного топлива.

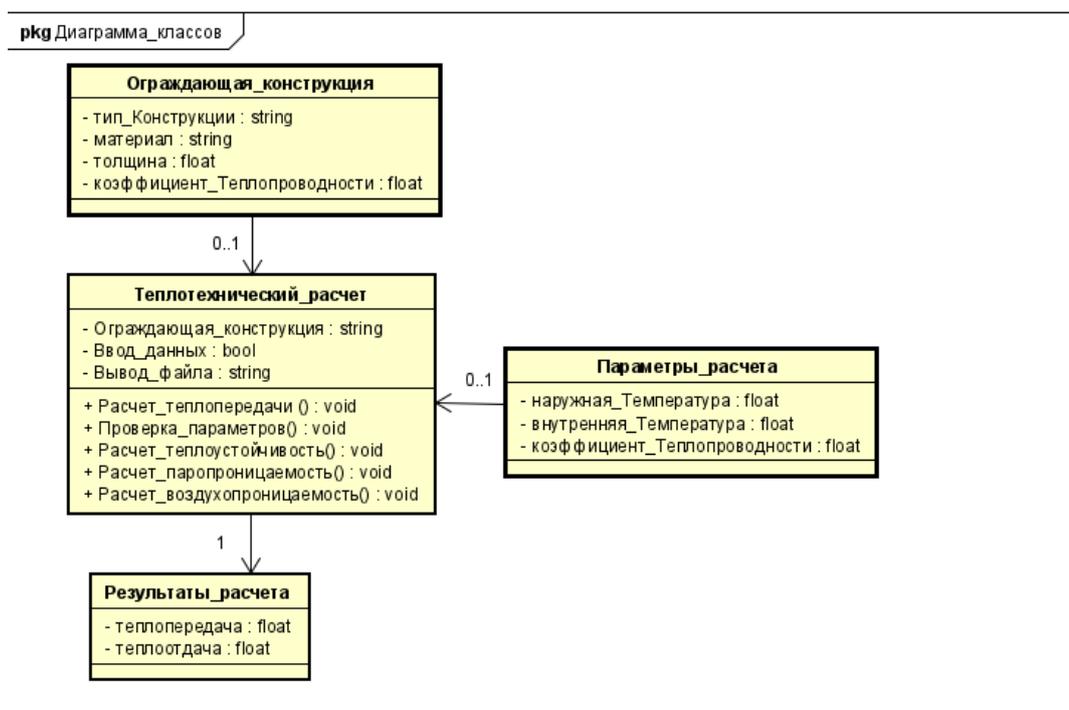


Рисунок 2 - Диаграмма классов.

Поэтому цель настоящих исследовательских работ – способствовать усвоению и практическому применению строительной теплотехники при проектировании зданий, возводимых в различных климатических районах Кыргызстана, в частности – проверка теплозащитных качеств ограждающих конструкций и выбор оптимального решения ограждения в зависимости от климатических условий района строительства, назначения здания, санитарно-технических требований.

Здание должно не только служить убежищем, но и создавать комфорт и поддерживать здоровье. Комфорт в помещении зависит от:

- температуры внутреннего воздуха: оптимально 20 °С – 22 °С;
- температуры внутренних поверхностей стен, ограждающих помещение: минимум 16°С-18°С. В противном случае появляется ощущение сквозняка;
- относительной влажности воздуха в помещении: нормально 50%—60%; <40% — сухость слизистой оболочки; >60% — тепличный климат;

Предлагается совершенствованный алгоритм, который сводится:

- расчету необходимой толщины теплоизоляционных материалов;
- определению требуемого сопротивления теплопередаче  $R_0^{TP}$  для заданных условий эксплуатации конструкций;

- приравнивание  $R_0 = R_0^{TP}$  из этого условия определяется толщина искомого слоя наружного ограждения.

#### Особенности теплоизоляции зданий

При эксплуатации жилого дома через стены теряется до 40% тепла, через окна - 18%, подвал - 10%, покрытия - 18%, вентиляцию - 14%. Потеря тепла из здания происходит по определённой схеме (рис.3).

При решении проблемы уменьшения теплопотерь, необходим комплексный подход к использованию современных теплоизоляционных материалов. И модернизируя ограждающие конструкции, не обойтись без модернизации инженерных систем - вентиляции и теплоснабжения.

Основные методы достижения энергетической эффективности зданий:

- повышение тепловой эффективности ограждающей оболочки здания, включая стены, покрытия и окна; - повышение регулируемости систем отопления и теплоснабжения зданий; - повышение эффективности эксплуатируемых систем теплоснабжения, в том числе путем перехода к применению альтернативных систем децентрализованного теплоснабжения; - внедрение систем принудительной вентиляции с применением систем рекуперации тепла вытяжного воздуха.

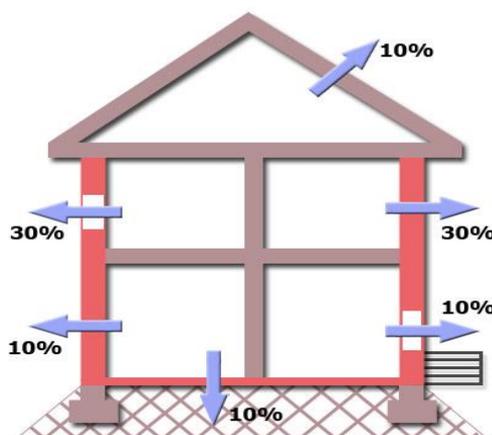


Рисунок 3- Схема потерь тепла из здания

В современном строительстве существует два направления снижения теплопотерь в зданиях: реконструкция существующих строений и приведение их в соответствие с новыми нормами теплозащиты, а также разработка и возведение новых так называемых энергоэффективных домов, отвечающих современным строительным требованиям. Снижение энергопотребления зависит также от региона строительства и объемно-планировочных решений зданий, что в среднем составляет около 40% по сравнению со зданиями, построенными по старым нормам. Подсчитано, что затраты на проведение тепловой модернизации этой категории зданий окупаются за 10-15 лет.

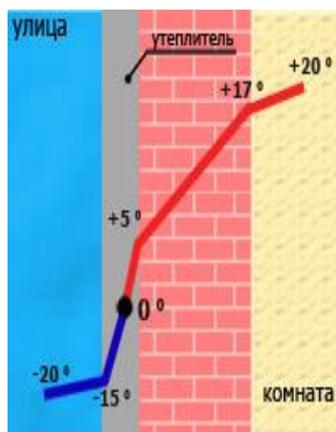


Рисунок 4 - Утепление стен выполнено снаружи помещения

Стены не подвержены перепаду температур, сохраняют тепло. Точка росы выведена во внешний теплоизолирующий слой, благодаря чему исключена возможность образования конденсата, стена остаётся сухой. Значительно сокращаются теплопотери.

«Точка росы» - температура, до которой должен охладиться воздух при данном давлении, для того чтобы содержащийся в нем пар достиг насыщения и начал конденсироваться, т. е. появилась роса.

**Алгоритм теплотехнического расчета ограждающих конструкций в условиях неопределенности толщины теплоизоляционных материалов.**

1. Определение исходных данных

- Выбор климатических параметров района строительства (температура наружного воздуха, длительность отопительного периода, влажность).
- Определение параметров внутреннего микроклимата (температура, относительная влажность воздуха).
- Выбор материалов для ограждающих конструкций и их теплотехнических характеристик (теплопроводность, плотность, теплоемкость).

2. Расчет термического сопротивления слоев конструкции

- Расчет термического сопротивления каждого слоя материала:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (3)$$

где  $R_i$  - сопротивление слоя,  $d_i$  - толщина слоя,  $\lambda_i$  - коэффициент теплопроводности.

- Определение общего термического сопротивления конструкции:

$$R_{\text{общ}} = \sum R_i \quad (4)$$

3. Определение коэффициента теплопередачи

- Коэффициент теплопередачи определяется по формуле:

$$U = \frac{1}{R_{\text{общ}}} \quad (5)$$

где  $U$  - коэффициент теплопередачи.

#### 4. Расчет теплотерь через ограждающую конструкцию

- Определение теплового потока:

$$Q=U \cdot A \cdot \Delta T \quad (6)$$

где  $A$  - площадь ограждающей конструкции,  $\Delta T$ - разница температур между внутренним и наружным воздухом.

#### 5. Определение требуемой толщины теплоизоляции

- При неизвестной толщине теплоизоляционного слоя расчет ведется по заданному требуемому сопротивлению теплопередаче  $R_{тр}$ :

$$d_{иск}=R_{тр} \cdot \lambda_{утеплителя} \quad (7)$$

где  $d_{иск}$  - требуемая толщина теплоизоляции.

#### 6. Анализ результатов и корректировка параметров

- Сравнение полученных значений с нормативными требованиями.
- Корректировка толщины утеплителя при необходимости.
- Оценка энергосбережения и экономической эффективности.

Для экспериментальной проверки достоверности результатов теплотехнического расчета ограждающих конструкций применялся систематичный подход с использованием соответствующего оборудования.

Выбор образцов для эксперимента теплотехнического расчета ограждающих конструкций содержит следующие характеристики:

- представительность: образцы, содержащие тип материала утепления, плотность и толщину;
- стандартизация: образцы, соответствующие стандартам и нормативам в области теплоизоляции и энергоэффективности;
- размеры: образцы соответствующие требуемым размерам и параметрам;
- безопасность образцов на надежность от воспламенения.

Проведение испытаний в контролируемых условиях проводилась на испытательной платформе, где обеспечивался контроль температуры и влажности.

**Усовершенствованный алгоритм расчета зависимости теплотерь от коэффициента теплопроводности с учетом неопределенности толщины теплоизоляции** с использованием подхода случайной генерации значений толщины теплоизоляции в заданном диапазоне для каждого значения коэффициента теплопроводности  $\lambda$  позволяет более точно моделировать влияние случайных колебаний толщины изоляции на теплотери. Этот подход учитывает неопределенности, которые могут возникать из-за неточностей в проектировании, производственных погрешностей или колебаний внешних факторов.

#### 1. Математическая модель зависимости теплотерь от коэффициента теплопроводности и толщины теплоизоляции

Теплотери через ограждающие конструкции могут быть рассчитаны с использованием формулы:

$$Q=S \cdot (T_1-T_2)/R \quad (8)$$

где:

$Q$  - теплопотери (Вт),

$S$  - площадь ограждающей конструкции ( $m^2$ ),

$T_1$  и  $T_2$  - температура внутри и снаружи здания ( $^{\circ}C$ ),

$R$  - сопротивление теплопередаче, которое зависит от коэффициента теплопроводности  $\lambda$  и толщины изоляции  $d$ :

$$R=d/\lambda \quad (9)$$

где:

$d$  - толщина теплоизоляции (м),

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности материала теплоизоляции ( $Вт/м \cdot ^{\circ}C$ ).

Таким образом, теплопотери можно выразить как:

$$Q=S \cdot (T_1-T_2) \cdot \lambda/d \quad (10)$$

## 2. Моделирование неопределенности толщины теплоизоляции

Для более точного моделирования можно учесть неопределенности в толщине теплоизоляции, которые могут быть вызваны: погрешностями при производстве, дополнительными требованиями к монтажу, влиянием климатических условий.

Подход случайной генерации предполагает, что толщина теплоизоляции  $d$  в пределах заданного диапазона будет варьироваться для каждого значения коэффициента теплопроводности  $\lambda$ .

## 3. Алгоритм усовершенствования

### Шаг 1: Задание диапазона значений толщины теплоизоляции

Задается диапазон возможных значений толщины теплоизоляции, например, от  $d_{\min}=0.05$ м до  $d_{\max}=0.15$ м, в зависимости от типов материалов и требований к зданию.

### Шаг 2: Случайная генерация значений толщины теплоизоляции

Для каждого коэффициента теплопроводности  $\lambda$  генерируются случайные значения толщины теплоизоляции  $d$  из указанного диапазона.

$$d_i=d_{\min}+(d_{\max}-d_{\min}) \cdot \text{rand}(0,1) \quad (11)$$

где  $\text{rand}(0,1)$  - случайное число в диапазоне от 0 до 1.

### Шаг 3: Расчет теплопотерь для каждого значения толщины

Для каждого сгенерированного значения толщины  $d_i$  рассчитываются теплопотери  $Q_i$  по формуле:

$$Q_i=S \cdot (T_1-T_2) \cdot \lambda/d_i \quad (12)$$

### Шаг 4: Статистический анализ результатов

После выполнения расчета для множества значений толщины изоляции проводится статистический анализ: средние значения теплопотерь, дисперсия и стандартное отклонение для оценки диапазона возможных теплопотерь, доверительные интервалы для предсказания вероятных значений теплопотерь с учетом неопределенности.

## Шаг 5: Оценка влияния неопределенности на результат

Проводят анализ того, как изменение толщины изоляции влияет на теплопотери в зависимости от значения коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , что позволит оценить чувствительность системы к изменениям толщины изоляции.

### 4. Пример расчета

Имеются следующие данные:

- площадь стен  $S=50 \text{ м}^2$ ,
- внутренняя температура  $T_1=22 \text{ °C}$ ,
- внешняя температура  $T_2=-10 \text{ °C}$ ,
- коэффициент теплопроводности материала изоляции  $\lambda=0.1 \text{ Вт}$ ,
- диапазон толщины изоляции  $d_{\min}=0.05 \text{ м}$ ,  $d_{\max}=0.15 \text{ м}$ .

### 5. Преимущества подхода

- реалистичность: моделирование неопределенности позволяет учитывать вариации, которые могут возникать в реальных условиях строительства и эксплуатации.
- гибкость: легко адаптируется для разных типов материалов и конструкций.
- оценка риска: статистический анализ позволяет определить вероятность превышения определенных пороговых значений теплопотерь, что важно для энергоэффективного проектирования.

Таблица – 1 - Значения теплопотерь

Толщина теплоизоляции, <b>d (м)</b>	Теплопотери, Q (Вт/м <sup>2</sup> )
0,05	80,00
0,06	66,67
0,07	57,14
0,08	50,00
0,09	44,44
0,10	40,00
0,11	36,36
0,12	33,33
0,13	30,77
0,14	28,57
0,15	26,67

### Интерпретация

- при минимальной толщине  $d_{\min}=0.05 \text{ м}$  будут теплопотери максимальными, так как сопротивление теплопередаче невелико.
- при максимальной толщине  $d_{\max}=0.15 \text{ м}$  теплопотери минимальны, так как сопротивление теплопередаче велико.
- стандартное отклонение теплопотерь:  $14,22 \text{ Вт/м}^2$

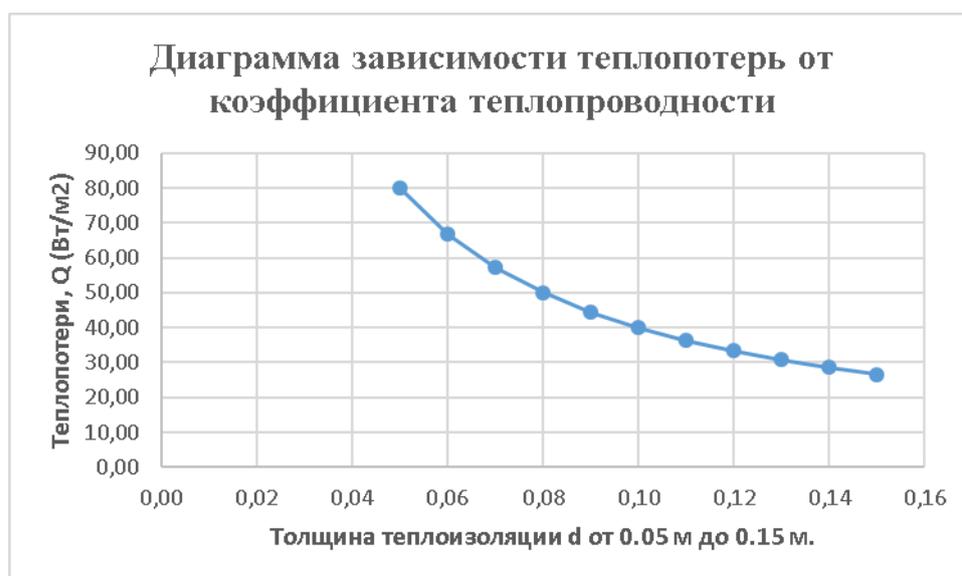


Рисунок 6 - Диаграмма зависимости теплотерь от коэффициента теплопроводности

Таблица 2 - Сравнительный анализ линейной регрессии и градиентного бустинга

Параметр	Линейная регрессия (Результат)	Градиентный бустинг (Результат)	Примечания
Толщина изоляции (мм)	100	100	В обоих методах толщина изоляции задана одинаково
Тип материала (класс)	Стена из бетона	Стена из бетона	Оба метода предполагают использование одинаковых материалов
Температура внешняя (°C)	-10	-10	Температура внешняя в обоих случаях одинаковая
Теплотери (Вт/м²)	40,0	38,5	Линейная регрессия дает немного большее значение, тогда как градиентный бустинг дает более точные предсказания
Энергопотребление (кВт·ч/м²)	10,5	10,2	В результате использования градиентного бустинга энергопотребление немного снижается
Температура внутри (°C)	22	22	Внутренняя температура одинаковая для обоих методов
Влажность (влажность воздуха)	60%	60%	Влажность воздуха также одинакова для обоих методов
Итоговая теплопередача (Вт/м²)	0,45	0,43	Градиентный бустинг предлагает более точное значение теплопередачи,

			что связано с его способностью учитывать более сложные зависимости
Коэффициент детерминации ( $R^2$ )	0,92	0,98	Градиентный бустинг показывает более высокое значение $R^2$ , что указывает на более высокую точность предсказания
Средняя абсолютная ошибка (MAE)	2,5	1,8	Градиентный бустинг демонстрирует меньшую ошибку, что говорит о его высокой точности
Время обучения (сек)	0,5	3,0	Время обучения градиентного бустинга значительно выше из-за более сложной модели
Время предсказания (сек)	0,05	0,1	Градиентный бустинг требует немного больше времени для предсказания, чем линейная регрессия

### **Интерпретация результатов машинного обучения:**

#### **1. Оценка точности модели**

- средняя абсолютная ошибка показывает, на сколько в среднем модель ошибается при предсказаниях;
- среднеквадратичная ошибка помогает понять, насколько сильно предсказания модели отклоняются от реальных значений.
- коэффициент детерминации ( $R^2$ ) измеряет, какая доля изменений в зависимой переменной объясняется моделью. Чем ближе значение  $R^2$  к 1, тем лучше модель.

#### **2. Интерпретация результатов**

- линейная модель позволяет интерпретировать результаты, анализируя важность признака (фактора) в расчете теплотехнических характеристик.
- коэффициенты для каждого признака показывают, как сильно изменение этого признака влияет на конечное значение теплопотерь или теплопередачи, если коэффициент для толщины теплоизоляции положительный, это означает, что увеличение толщины изоляции приведет к снижению теплопотерь.
- важность признаков: градиентный бустинг показывает важность различных факторов в расчете, если теплопроводность материала имеет высокую важность, это может означать, что выбор материала ограждающих конструкций имеет наибольшее влияние на теплопотери.
- важность факторов показывают, что толщина теплоизоляции и температурный режим в регионе оказывают наибольшее влияние на результаты, а тип материала менее значим.

### 3. Выявление скрытых закономерностей

Модели машинного обучения выявляют скрытые закономерности, которые трудно заметить с помощью традиционных методов расчета, использование методов машинного обучения показывают, что:

- в холодных климатах увеличение толщины утеплителя до определенного уровня (например, 150 мм) значительно снижает теплопотери, но при этом увеличение толщины выше этого уровня может не иметь значительного эффекта.
- температурные колебания и влажность оказывают влияние на теплопередачу через конструкции, что приводит к необходимости более точного учета этих факторов.

### 4. Прогнозирование и адаптация

Модели машинного обучения позволяют не только анализировать текущие данные, но и прогнозировать возможные изменения в теплотехнических характеристиках:

- если климатические условия в регионе меняются, экспертная система автоматически корректирует расчеты, предлагая более эффективные решения для теплоизоляции.
- если на рынке появляются новые строительные материалы с улучшенными теплоизоляционными характеристиками, модель быстро адаптируется, учитывая эти изменения и предоставляя рекомендации по их использованию.

**В заключении** диссертации представлены результаты научных исследований и разработок, а также изложены основные научно-методологические положения, исследованные в работе.

**В приложении** содержится исходные данные, листинг программы экспериментального исследования, акт о реализации результатов исследования, а также выданное свидетельство (Кыргызпатентом) о государственной регистрации программы для ЭВМ и авторского права на объект интеллектуальной собственности.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана модель экспертной системы теплотехнического расчета, предсказывающая тепловые потери ( $Q$ ), что позволяет автоматически анализировать входные параметры (материалы, климат) и выполнять расчеты быстрее и точнее.
2. Построена ML-модель, обученная на реальных измерениях, что позволяет выявить скрытые зависимости на основе данных теплотехнического расчета;

3. Разработана рекомендательная система выбора теплоизоляционных материалов на основе ML с применением регрессионной модели и градиентного бустинга;
4. Проведена экспериментальная проверка, полученных результатов расчета параметров теплоизоляционной конструкции.

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

Разработанная экспертная система с использованием методов машинного обучения (МО) теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий включает следующие рекомендации:

1. Оптимизация проектирования ограждающих конструкций - система позволяет эффективно выбирать материалы и параметры конструкций, обеспечивая максимальную энергоэффективность и соответствие нормативам.
2. Учет климатических факторов и прогнозирование теплопотерь - система интегрирует данные о климатических условиях, что позволяет точно рассчитывать теплопотери в различных регионах и в условиях изменяющегося климата.
3. Применение в реконструкции и модернизации зданий - экспертная система помогает при оптимизации существующих ограждающих конструкций, учитывая требования энергоэффективности и долговечности.
4. Использование в образовательном процессе и научных исследованиях - система является полезным инструментом для обучения студентов и специалистов в области строительства и энергетики, а также для проведения научных исследований в сфере теплофизики и проектирования зданий.

### **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. **Супибекова А.К.** Анализ применения Jsp и Asp.net при разработке программного обеспечения информационной системы [Текст] / А.К. Супибекова, А.А. Тороев // Бишкек: Вестник КГУСТА им. Н Исанова, Вып. 2 (44)., 2014.- С. 76-82. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24325002>
2. **Супибекова А.К.** Основные приоритеты использования Microsoft Ado.net для обращения к реляционным базам данных [Текст] / Супибекова А.К., Тороев А.А. Камбарова Н.К. // Бишкек: Вестник КГУСТА им. Н Исанова, Вып. 2 (44)., 2014.- С. 86-89. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24325004>
3. **Супибекова А.К.** Теплотехнический расчет ограждающих конструкций

зданий [Текст] / Супибекова А.К., Каримбаев Т.Т., Бектурова А.К. // Бишкек: Вестник КГУСТА им. Н Исанова, Вып. 2 (44)., 2014.- С. 171-175. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24325025>

4. **Супибекова А.К.** Исследование теплозащитных качеств наружной стены зданий в натуральных условиях [Текст] / Супибекова А.К., Кутуев М.Д., Матозимов Б.С. // Научный и информационный журнал. Материаловедение, Международный университет инновационных технологий, №2/2015 (9) - С. 260-262. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42981630>

5. **Супибекова А.К.** Компьютерный анализ основных задач строительной теплотехники [Текст] / Супибекова А.К., Кутуев М.Д., Матозимов Б.С.// Наука и инновационные технологии Международный университет инновационных технологий, №1/2016 (1) - С. 261-264. То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27444166>

6. **Супибекова А.К.** Экспертная система теплотехнического расчета ограждающих конструкций [Текст] / Супибекова А.К. // Научный журнал Международного университета Ала-Тоо «Alatoo Academic Studies», 2023, Том 23, Выпуск 2 - С. 494-504. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54151692>

7. **Супибекова А.К.** Сравнительный анализ экспертных систем теплотехнического расчета ограждающих конструкций [Текст] / Супибекова А.К. // Известия вузов Кыргызстана, №2, 2023 - С. 27-30. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54762589>

8. **Супибекова А.К.** Экспертная система тепловой защиты зданий в климатических условиях Кыргызской Республики [Текст] / Супибекова А.К.// Известия вузов Кыргызстана, №2, 2023 - С. 31-34. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54762591>

9. **Супибекова А.К.** Использование экспертной системы теплотехнического расчета ограждающих конструкций [Текст] / Супибекова А.К., Кутуев М.Д., Муканбет кызы Эркинай // Научный журнал «Известия КГТУ им. И.Раззакова» Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззаков, 2023 - С. 1666-1672. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=58483416>

**Супибекова Алтынай Казакбаевнанын 05.13.01 – тутумдук талдоо, башкаруу жана маалыматты иштеп чыгуу адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын изденип алуу үчүн жазылган «Кыргыз Республикасынын климаттык шарттарында имараттардын жылуулугун коргоо үчүн маалыматтык системаны иштеп чыгуу» деген темадагы диссертациясынын**

### **РЕЗЮМЕСИ**

**Негизги сөздөр:** Маалыматтык система, машиналык үйрөнүү, сызыктуу регрессия, градиенттик бустинг, маалымат базасы, баалоо, анализ, класстар диаграммасы, логикалык чыгаруу механизми, эксперттик корутунду, жылуулук өткөрүмдүүлүк, жылуулук изоляциясы, экономикалык натыйжалуулук.

**Изилдөөнүн объектиси** – имараттардын жана курулуштардын ограждама конструкцияларынын жылуулук-техникалык эсебинде машиналык үйрөнүүнүн (ML) колдонулушу.

**Изилдөөнүн предмети** – машиналык үйрөнүү ыкмаларын колдонуу аркылуу жылуулук-техникалык эсептөөлөрдү оптималдаштыруу, автоматташтыруу жана тактыгын жогорулатуу. Бул эсептөөлөр төмөнкү багыттарды камтыйт: конструкциялардын жылуулук туруктуулугун аныктоо; материалдардын буу өткөрүмдүүлүгү жана аба өткөрүмдүүлүгү боюнча анализ жүргүзүү; имараттардын жылуулук жоготуулары жана энергия керектөөсүн болжолдоо; энергия натыйжалуулугуна таасир этүүчү жашыруун мыйзам ченемдүүлүктөрдү аныктоо.

**Изилдөөнүн ыкмалары-** сызыктуу регрессия жана градиенттик бустинг колдонуу менен машиналык үйрөнүү; жылуулук-техникалык эсептөөлөрдүн маалыматтарын иштеп чыгуу аркылуу корреляцияларды жана мыйзам ченемдүүлүктөрдү аныктоо; ар кандай климаттык шарттарда конструкциялардын жүрүм-турумун моделдөө жана симуляциялоо.

**Изилдөөнүн максаты** – Кыргыз Республикасынын климаттык шарттарын эске алуу менен имараттардын энергия натыйжалуулугун жогорулатуу үчүн жылуулук жоготууларын жана жылуулук өткөрүмдүүлүгүн анализдөө процессин автоматташтыруу жана тактыгын жогорулатуу максатында жылуулук-техникалык эсептөө боюнча эксперттик система аркылуу машиналык үйрөнүүнү (ML) колдонуу.

**Алынган жыйынтыктар жана алардын илимий жанылыктары:**

- Жылуулук-техникалык эсептөөлөр үчүн машиналык үйрөнүү (ML) негизинде иштелип чыккан эксперттик система салттуу ыкмалардан айырмаланып, ML алгоритмдерин колдонуп, конструкциялардын жылуулук мүнөздөмөлөрүн автоматташтырылган түрдө анализдеп жана божомолдойт. Ал ошондой эле материалдарды жана конструкциялык чечимдерди оптималдаштыруу үчүн жасалма интеллектти пайдаланат.

- ML ыкмалары жылуулук туруктуулугун, буу өткөрүмдүүлүгүн жана аба өткөрүмдүүлүгүн баалоо үчүн өркүндөтүлдү, бул конструкция параметрлери, климаттык шарттар жана эксплуатациялык өзгөчөлүктөр ортосундагы татаал байланыштарды эске алуу мүмкүнчүлүгүн жогорулатат. Натыйжада, ар кандай

климаттык зоналарда материалдардын эскириши жана деградациясын эске алуу менен алардын жүрүм-турумун болжолдоого болот.

- ML негизиндеги алгоритм иштелип чыгып, эң мыкты курамдагы жана конфигурациядагы курулуш материалдарын тандоо механизмин түздү. Бул ыкма энергия натыйжалуулук жана экономикалык максатка ылайыктуулук эске алынган чечимдерди сунуштоо аркылуу имараттардын жылуулук жоготууларын азайтып, энергия натыйжалуулугун жогорулатууга өбөлгө түзөт.

**Алынган жыйынтыктардын практикалык мааниси:**

Изилдөөнүн жыйынтыктары жылуулук-техникалык эсептөөлөрдүн сапатын жогорулатууга көмөк көрсөтүп, эксперттик системанын натыйжалуулугун жакшыртат. Жасалма интеллект ыкмаларынын колдонулушу имараттардын энергия натыйжалуулугун жогорулатып, эксплуатациялык чыгымдарды азайтуу менен бирге долбоорлоо жана модернизациялоо үчүн оптималдуу чечимдерди сунуштоого мүмкүндүк берет.

Бул эксперттик системанын жылуулук-техникалык эсептөөлөр боюнча жыйынтыктары И. Раззаков атындагы КГТУнун илимий-изилдөө иштеринде жана окутуу процессинде колдонулат.

**Колдонуу чөйрөсү:**

Курулуш жылуулук техникасы машиналык үйрөнүү колдонулган конструкцияларынын жылуулук-техникалык эсептөө боюнча эксперттик системасында.

## РЕЗЮМЕ

**диссертации Супибековой Алтынай Казакбаевны на тему «Разработка информационной системы для тепловой защиты зданий в климатических условиях Кыргызской Республики» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - системный анализ, управление и обработка информации**

**Ключевые слова:** Информационная система, машинное обучение, линейная регрессия, градиентный бустинг, модели, база данных, оценка, анализ, диаграмма классов, механизм логического вывода, экспертное заключение, теплопроводность, теплоизоляция, экономическая эффективность.

**Объект исследования** – машинное обучение (ML) в экспертной системе теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий и сооружений.

**Предмет исследования** – применение методов машинного обучения для оптимизации, автоматизации и повышения точности теплотехнических расчетов, которые включают: определение теплоустойчивости конструкций; анализ паропроницаемости и воздухопроницаемости материалов; прогнозирование тепловых потерь и энергопотребления зданий; выявление скрытых закономерностей, влияющих на энергоэффективность.

**Методы исследования** - машинное обучение с использованием регрессионной модели и градиентного бустинга, обработка данных теплотехнического расчета для выявления корреляций и закономерностей,

теплотехническое моделирование симуляции поведения конструкций в различных климатических условиях.

**Целью исследования** является использование машинного обучения (ML) в экспертной системе теплотехнического расчета, которое направлено на автоматизацию, повышение точности процесса анализа теплотерь и теплопроводности теплоизоляционных материалов для энергоэффективности зданий с учетом климатических условий Кыргызской Республики.

**Полученные результаты и их научная новизна:**

- разработана экспертная система с машинным обучением (ML) для теплотехнического расчета в отличие от традиционных методов, использует ML-алгоритмы для автоматизированного анализа и прогнозирования тепловых характеристик ограждающих конструкций с применением искусственного интеллекта для определения оптимальных материалов и конструктивных решений.

- усовершенствованы методы ML для оценки теплоустойчивости, паропроницаемости и воздухопроницаемости, позволяющие учитывать нелинейные зависимости между параметрами конструкции, климатическими условиями и эксплуатационными характеристиками, что прогнозирует поведение материалов в различных климатических зонах с учетом их старения и деградации.

- разработан алгоритм ML для подбора наилучшего состава и конфигурации строительных материалов с учетом энергоэффективности и экономической целесообразности с предложением инновационных решений по снижению теплотерь и повышению энергоэффективности зданий.

**Практическая значимость полученных результатов.** Полученные результаты, применяемые при исследовании качества теплотехнического расчета, способствуют улучшению экспертной системы за счет применения методов искусственного интеллекта, что повышают энергоэффективность зданий и снижает эксплуатационные затраты, способные рекомендовать оптимальные решения для проектирования и модернизации зданий.

Результаты экспертной системы теплотехнического расчета ограждающих конструкций используются в учебном процессе КГТУ им. И.Раззакова при проведении научно-исследовательских работ.

**Область применения:** строительная теплотехника с применением машинного обучения в экспертной системе теплотехнического расчета ограждающих конструкций.

## SUMMARY

**of the dissertation of Supibekova Altynay Kazakbaevna on the theme: « Development of an Information System for Thermal Protection of Buildings in the Climatic Conditions of the Kyrgyz Republic» for the degree of candidate of physical and mathematical sciences, specialty 05.13.18 – mathematical modeling, numerical methods and software packages**

**Key words:** Information system, machine learning, linear regression, gradient boosting, database, evaluation, analysis, class diagram, logical inference mechanism, expert conclusion, thermal conductivity, thermal insulation, economic efficiency.

**Object of research:** Machine learning (ML) in an expert system for thermal engineering calculations of building envelope structures.

**Purpose of research:** Application of machine learning methods to optimize, automate, and improve the accuracy of thermal engineering calculations, including: determination of the thermal resistance of structures; analysis of vapor permeability and air permeability of materials; prediction of heat loss and energy consumption of buildings; identification of hidden patterns affecting energy efficiency.

**Research methods:** Machine learning using regression models and gradient boosting; processing thermal engineering calculation data to identify correlations and patterns; thermal modeling and simulation of structural behavior under different climatic conditions.

**Research Objective:** The objective of this research is to utilize machine learning (ML) in an expert system for thermal engineering calculations, aiming to automate and enhance the accuracy of heat loss analysis and the thermal conductivity of insulation materials to improve the energy efficiency of buildings, considering the climatic conditions of the Kyrgyz Republic.

**Results and Scientific Novelty:** An expert system with machine learning (ML) has been developed for thermal engineering calculations. Unlike traditional methods, it employs ML algorithms for automated analysis and prediction of the thermal characteristics of building envelopes, utilizing artificial intelligence to determine optimal materials and structural solutions; ML methods for evaluating thermal resistance, vapor permeability, and air permeability have been improved, allowing for the consideration of nonlinear dependencies between structural parameters, climatic conditions, and operational characteristics. This enables the prediction of material behavior in different climatic zones, considering their aging and degradation; an ML-based algorithm has been developed to select the optimal composition and configuration of construction materials, considering energy efficiency and economic feasibility. The algorithm proposes innovative solutions for reducing heat loss and increasing the energy efficiency of buildings.

**Practical Significance of the Results:** The obtained results, applied in the study of thermal engineering calculations, contribute to improving the expert system by incorporating artificial intelligence methods. This enhances the energy efficiency of buildings, reduces operational costs, and provides optimal recommendations for building design and modernization.

The results of the expert system for thermal engineering calculations of building envelopes are used in the educational process at I. Razzakov Kyrgyz State Technical University (KSTU) for conducting scientific research.

**Field of application:** building thermal engineering with the application of machine learning in an expert system for thermal engineering calculations of building envelopes.