

## АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D072900 - «Строительство»

Тухтамишевой Айнур Зокировны на тему: «**Экономическое и техническое обоснование оптимального уровня энергоэффективности жилых зданий в Казахстане**»

**Актуальность работы:** Реализация программ энергосбережения и повышения энергоэффективности является в настоящее время одним из основных инструментов модернизации промышленности, жилищно-коммунального хозяйства, транспортного сектора и других отраслей экономики Республики Казахстан. Успешная санация жилищного фонда и повышение энергоэффективности всего строительного сектора обеспечивает энергетическую и экологическую безопасность страны. Кроме того, повышение уровня энергоэффективности в строительстве стимулирует внедрение новых инновационных технологий и конструктивных решений, что в свою очередь производит активное воздействие на развитие науки и повышение профессионального уровня проектировщиков и строителей.

Проведение исследований, представленных в диссертации, обусловлено ростом объемов жилищного строительства, вовлекающим за собой рост потребления разных видов энергии, производство которой влечет за собой интенсивное использование природных ресурсов страны и загрязнение окружающей среды за счет выбросов парниковых газов. Научно обоснованное определение оптимальной теплоизоляции наружных ограждений жилых зданий является первичной задачей на пути повышения энергетической и экологической стабильности строительного сектора и всего государства.

Энергоэффективное строительство с каждым годом приобретает во всем мире все большее развитие, так появляются новые сооружения, построенные по самым современным технологиям, с повышенными показателями теплозащиты и улучшенными характеристиками энергопотребления. Рациональное энергетическое сбережение, повышение энергетической эффективности являются самыми основополагающими задачами XXI века во многих странах мира, решение которых возможно только путем внесения и выполнения организационных мер в сфере энергосбережения и развития энергосберегающих технологий. «При выполнении этой задачи важно применять новые методы строительства, современные материалы, принципиально иные подходы в проектировании зданий и планировании городской застройки. Нужно установить повышенные требования к качеству, экологичности и энергоэффективности зданий. Строящиеся и уже имеющиеся дома и объекты инфраструктуры необходимо оснащать системами интеллектуального управления. Это повысит комфортность для населения, сократит потребление электроэнергии, тепла, воды, будет стимулировать естественных монополистов к повышению своей эффективности».

Анализ посланий Первого Президента Республики Казахстан показывает, что каждый год уделяется внимание развитию строительного сектора страны, формируется переход к всевозможным улучшениям экологических показателей при возведении объектов, стремясь перейти на сторону зеленого строительства.

В Республике Казахстан жилой сектор потребляет 13,5% электроэнергии и 24% тепловой энергии и является третьим крупнейшим потребителем тепло- и электроэнергии в стране. Жилищный фонд Казахстана составляет более 270,9 млн. квадратных метров, большую часть которого составляют старые многоквартирные дома с централизованным тепло- и энергосбережением, которые на сегодняшний день в среднем потребляют в 2-3 раза больше энергии на кв. метр, чем дома в странах Западной Европы. Так, по данным исследований, в Казахстане расход тепловой энергии в зданиях составляет около 270 кВт на кв. метр жилой площади в год, в то время как в странах Западной Европы аналогичные показатели в среднем составляют 100–120 кВтч на кв. метр в год. В странах Евросоюза, выполняя требования Европейской директивы по энергоэффективности в строительстве, к 2020 году потребление тепловой энергии будет снижено до 20–30 кВтч на кв. метр отапливаемой площади в год, а наибольшая часть потребляемой энергии будет произведена из возобновляющихся энергоисточников.

В последнее десятилетие в результате развития экономики объем жилищного строительства в Казахстане значительно увеличился. Ежегодный прирост объема, введенного в эксплуатацию жилья, составляет от 10% до 36%. С 2005 года жилищное строительство является одним из приоритетных направлений Стратегии развития Казахстана до 2025 года. Государственные программы развития жилищного строительства, утвержденные Президентом Республики Казахстан, были направлены на обеспечение развития строительства доступного жилья, путем снижения его стоимости и предоставления долгосрочных льготных кредитов. По официальным данным, доля энергопотребления жилищного сектора в Казахстане удвоилась к 2016 году по сравнению с 2010 годом. Таким образом, увеличение объемов строительства жилищного сектора означает повышение уровня энергопотребления и, соответственно, выбросов парниковых газов. Чтобы предотвратить рост потребления энергии в строительстве, необходимо существенно изменить концепцию строительства в отношении энергоэффективности зданий.

В мире применяются различные концепции энергоэффективного строительства, но для многих характерны следующие комплексы мероприятий:

- снижение теплопотерь зданий за счет повышения теплоизоляционных свойств наружных ограждений;
- снижение потребления энергии, внедряя высокоэффективные инженерные системы отопления, вентиляции и освещения;
- снижение потребления не возобновляющейся энергии, заменяя ее энергией, производимой из возобновляющихся источников.

Повышение уровня теплоизоляции наружных ограждений является первичной задачей на пути к энергоэффективному строительству, потому что применение высокоэффективных, сложных и дорогих инженерных систем

целесообразно только при ограниченном и управляемом теплоснабжении в зданиях. Как вся система повышения энергоэффективности зданий, так и отдельно взятые комплексные мероприятия по повышению уровня теплоизоляции наружных ограждений должны соответствовать принципу экономической целесообразности - инвестиции в мероприятия повышения энергоэффективности должны окупиться в течение установленного периода эксплуатации здания за счет экономии энергии. Поэтому экономическое и техническое обоснование оптимального уровня теплоизоляции ограждений жилых зданий является главной задачей настоящей диссертационной работы.

**Объектом диссертационного исследования** является энергоэффективность новых жилых зданий в городе Алматы и Алматинской области.

**Предметом диссертационного исследования** является:

- экономическое и техническое обоснование оптимального уровня теплоизоляции наружных ограждений новых жилых зданий;
- анализ направлений уменьшения эмиссии углекислого газа за счет повышения энергоэффективности зданий и использования для производства тепла возобновляющихся энергоисточников.

**Цель исследования:**

Определить уровень тепловой изоляции наружных ограждений жилых зданий, соответствующий оптимальному распределению общих затрат в течение срока эксплуатации и предложить эффективные направления снижения загрязнения окружающей среды выбросами производства тепловой энергии.

Поставленная цель достигается путем решения **следующих задач:**

1. Провести анализ способов повышения энергоэффективности зданий и методов определения оптимальной теплозащиты наружных ограждений для выявления возможностей и направлений сокращения использования тепловой энергии в жилом секторе.

2. Определить технические и экономические показатели источников производства тепловой энергии, конструктивных решений наружных ограждений и теплоизоляционных материалов для определения оптимального уровня теплозащитных характеристик ограждающих конструкций жилых зданий в Алматинском регионе.

3. Адаптировать методику ЕС по определению требований к теплозащите зданий по наименьшим общим затратам в течение срока эксплуатации к условиям жилищного строительства Алматы с целью оптимизации уровня теплоизоляции ограждающих конструкций жилых зданий и сопоставимости полученных результатов.

4. Определить рекомендуемые нормативные показатели теплоизоляции наружных ограждений жилых зданий и провести анализ снижения потребления тепловой энергии на примере образцового здания с проектными и оптимальными теплозащитными характеристиками.

5. Разработать направления по внедрению оптимальной теплозащиты здания, энергоэффективных инженерных систем и производства энергии из возобновляющихся источников на динамику снижения потребления тепловой

энергии и соответствующее выделение парникового газа в Алматинской области.

#### **Научная новизна работы:**

1. Определены и обоснованы теплозащитные характеристики ограждающих конструкций жилых зданий для г. Алматы и Алматинской области, соответствующие оптимальному распределению общих затрат в течение срока эксплуатации здания с учетом динамики экономических и энергетических обстоятельств;

2. Разработаны комплексные решения теплоизоляции ограждающих конструкций и использования инженерных систем жилых зданий, обеспечивающие низкую и нулевую эмиссии углеродных соединений и способствующие снижению загрязнения окружающей среды г. Алматы в условиях интенсивного развития жилищного строительства.

#### **Внедрение результатов исследования:**

Результаты проведенных исследований диссертационной работы использовались в производственном процессе проектно-строительной организации ТОО «ПСО Билдинг Эксперт», где впервые в процессе проектирования жилого здания применялись научно обоснованные оптимальные показатели теплоизоляции наружных частей зданий, был проведен анализ энергетической эффективности внедрения разных мероприятий по применению инновационных инженерных систем для снижения энергопотребления в здании, а также снижения загрязнения окружающей среды парниковым газом. Акт внедрения №13 от 07.09.2021 г., приводится к диссертации в приложении А.

#### **Достоверность полученных результатов выводов и рекомендаций:**

Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций базируется на использовании климатических данных Алматинской области, исследовании проекта образцового здания, созданного по результатам изучения практики жилищного строительства в регионе, применении в расчетах реальных цен на энергию, строительные материалы и работы в городе Алматы. Достоверность определенного оптимального уровня теплоизоляции ограждающих конструкций зданий также проверялась путем сравнения с оптимальными показателями теплозащиты ограждений и потреблением тепловой энергии в других странах, учитывая разность климатических условий, цен на тепловую энергию, строительство зданий и строительные материалы.

#### **Апробация работы:**

Результаты диссертационного исследования обсуждались:

- на международной научно-практической конференции: «Инновационные и наукоемкие технологии в строительной индустрии» (г. Алматы, 2018 г.);

- на XXIII Международной научно-практической конференции «Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке» № 14(22) (Российская Федерация, г. Новосибирск, 2018 г.);

- на XIV международной научно-практической конференции «Образование и наука без границ – 2018» (Польша, г. Варшава, 2018 г.);

- на международной научно-практической конференции: «Современные тренды в архитектуре и строительстве: энергоэффективность, энергосбережение, BIM технологии, проблемы городской среды» (г. Алматы, 2019 г., 2020 г.);

- на XX международной междисциплинарной научной геоконференции «Исследовательская геология и горно-экологический менеджмент» (Республика Болгария, 2020 г.) (20-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2020 «Energy and Clean Technologies»);

- на расширенном заседании Факультета общего строительства Международной образовательной корпорации (МОК) в 2022 г.

#### **Практическая значимость работы:**

- определены оптимальные теплотехнические характеристики ограждающих конструкций жилых зданий, которые могут применяться для проектирования и строительства до существенного изменения экономической ситуации в области энергетики и строительства в стране и регионе;

- в диссертации представлены методики оптимизации и приобретения расчетных данных, которые могут быть использованы для обновления оптимальных теплотехнических показателей как жилых, так и других зданий с учетом изменений в экономической, экологической и социальной среде;

- приведены рекомендации по снижению роста энергопотребления в связи с ростом объемов жилищного строительства и по стимулированию повышения энергоэффективности, перераспределяя государственное субсидирование энергии на реализацию энергоэффективных мероприятий в строительстве зданий;

- результаты исследования внедрены в проектно-строительную организацию ТОО «ПСО Билдинг Эксперт» в строительство одноэтажного кирпичного дома в Алматинской области.

#### **Публикации:**

По теме диссертации опубликовано 12 работ. Из них, четыре статьи опубликованы в научных изданиях, включенных в Перечень рекомендуемых ККСОН МОН РК; пять статей в материалах международных научно-практических конференций; одна статья в международной междисциплинарной научной конференции, индексируемой в базе данных Scopus, с перцентилем 17 и CiteScore 0,6; в том числе, еще 2 статьи в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, одна с перцентилем по общей инженерии 14 и CiteScore 0,4; вторая с перцентилем по инженерному делу (разное) 83 и CiteScore 4,7.

#### **Структура и объем работ:**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем работы составляет 106 страниц машинописного текста и содержит 17 таблиц, 51 рисунок, список использованных источников из 113 наименований и 10 приложений объемом 33 страницы.

**В первой главе** проведен анализ ситуации повышения уровня энергоэффективности зданий. Были рассмотрены мировые тенденции

повышения энергоэффективности и сокращения выброса парниковых газов в строительстве, хронология внедрения требований к энергоэффективности в строительстве, главные цели, проводимые мероприятия и ожидаемые результаты по повышению энергоэффективности строительства в Казахстане.

#### **Основные выводы по первой главе:**

Главным поводом повышения требований к энергоэффективности зданий в мире явились энергетические кризисы, высокие цены на энергоресурсы, усовершенствование теплоизоляционных материалов, возрастающие требования к внутреннему комфорту и защите окружающей среды.

Повышение энергоэффективности в строительстве отражается на снижение загрязнения окружающей среды за счет снижения общего потребления тепловой энергии, более интенсивного использования пассивной энергии и перехода от ископаемых первоисточников производства тепла к возобновляющимся энергоисточникам.

Строительные материалы, которые являются важной составляющей строительного процесса, тоже имеют значительное влияние на окружающую среду, так как для их производства, транспортировки, монтажа и последствия утилизации тоже используется энергия, производство которой повышает эмиссию углекислого газа.

В результате развития экономики, объем жилищного строительства в Казахстане значительно увеличился, тем самым увеличивая потребление тепловой энергии и соответственно выбросы в атмосферу парниковых газов. Существуют государственные требования энергоэффективности зданий, реализуются разные организационные, технические, технологические, экономические и иные меры, направленные на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов, но они не имеют научного обоснования с точки зрения экономики строительства и защиты окружающей среды. Определение уровня тепловой изоляции наружных ограждений жилых зданий, соответствующего оптимальному распределению общих затрат в течение срока эксплуатации и предложение эффективных направлений снижения загрязнения окружающей среды выбросами парниковых газов от производства тепловой энергии, является главной целью настоящего исследования.

**Во второй главе** проведен анализ научных исследований и технических достижений в области повышения энергоэффективности жилищного строительства и сферы определения сертификации энергоэффективности зданий, проведен обзор мировых концепций проектирования, строительства энергоэффективных зданий и определены технические аспекты увеличения энергоэффективности зданий.

#### **Основные выводы по второй главе:**

Результатом научных исследований, проводимых в области энергоэффективности зданий, является выбор экономически обоснованных решений повышения энергоэффективности зданий и снижения загрязнения окружающей среды выбросами углекислого газа из многих альтернатив, которые сопоставимы между собой, относятся к тому же периоду, климатическим условиям и экономической среде, учитывая все затраты, связанные с полным

циклом существования здания, с учетом изменения экономических и финансовых условий.

Повышение уровня теплоизоляции наружных ограждений является первичной задачей на пути к энергоэффективному строительству, потому что применение высокоэффективных, сложных и дорогих инженерных систем целесообразно только при ограниченном и управляемом теплоснабжении в зданиях.

Обзор мировых концепций проектирования и строительства энергоэффективных зданий выявил главные направления развития строительного сектора в этой области:

- применение прогрессивных методик планировок и проектирование зданий;
- использование инновационных строительных материалов и инженерных систем;
- сертификация зданий с присвоением классификации энергоэффективности;
- государственные меры стимулирования энергоэффективного строительства.

В мировой строительной практике разработано и применяется множество различных технических решений для повышения энергоэффективности зданий и сокращения выбросов углерода, включая проектирование зданий, используемые материалы и инженерные системы. Задачей настоящего диссертационного исследования является оценка эффективности и применимости этих решений в климатических, экономических, строительных и энергетических условиях города Алматы и Алматинской области.

**В третьей главе** приведены методики расчета и базы данных для определения оптимального уровня теплоизоляции жилых зданий. Определены климатические данные и требования к климатическим условиям внутреннего микроклимата в г. Алматы и Алматинской области, рассмотрены сроки эксплуатации зданий и их конструктивные элементы, расчетный период 30 лет был использован для определения оптимальной теплоизоляции жилых домов. Проведен анализ репрезентативных жилых зданий, где объектом исследования было выбрано 2 жилых дома в г. Алматы и Алматинской области. Просчитаны первоначальные инвестиции на теплоизоляцию элементов ограждающих конструкций зданий, определены энергетические расходы жилых зданий в течение срока эксплуатации и проделан расчет годовых затрат на повышение теплоизоляции ограждающих конструкций.

**Основные выводы по третьей главе:**

Для получения обобщенных данных оптимального уровня теплоизоляции элементов ограждающих конструкций и элементов жилых зданий исследуемого региона, необходимо создать модель образцового здания, соответствующего типовой геометрии в настоящее время проектируемых и возводимых зданий в г. Алматы и области с типичными элементами оболочки и энергосистем, типовой структурой энергетических и строительных затрат, соответствующих климатическим условиям географического местоположения.

Для выявления соотношения оптимальной теплозащиты здания и условий внутренних температурных условий, сезонное потребление энергии должно рассчитываться в течение одного отопительного сезона с двумя разными продолжительностями – 182 и 212 суток, соответствующими температуре наружного воздуха начала и конца отопительного сезона + 10 и + 12 градусов.

Расчет потерь тепла через наружные конструкции и элементы здания для определения оптимальной теплоизоляции должны проводиться по схемам, наилучшим образом, соответствующим соотношению роста толщины теплоизоляции и снижения теплопотерь:

- для стен и крыш – как передача тепла через  $1 \text{ м}^2$  этих конструкций;
- для окон – как разность теплопередачи и поступления солнечного тепла через  $1 \text{ м}^2$  окна;
- для пола – в первую очередь через полы всего образцового здания, затем использовать среднее значение на  $1 \text{ м}^2$  площади пола.

В расчетах нецелесообразно применять разные температуры воздуха в жилых помещениях, так как оптимизация теплозащиты проводилась для наружных ограждений и элементов вне зависимости от типа помещений, которые они ограждают от наружной среды.

Для определения влияния цены тепловой энергии на оптимальный уровень теплоизоляции ограждающих конструкций, необходимо использовались разные цены на тепловую энергию. Для достижения реальной ситуации соответствующих результатов оптимизации в расчетах использовались цены энергии тепловых сетей и природного газа, поставляемых бытовым потребителям города Алматы и Алматинской области.

**В четвертой главе приведены результаты** оптимального уровня теплоизоляции жилых зданий и его влияния на снижение теплопотерь зданий и последующего сокращения эмиссии парниковых газов. Приведены результаты поэтапного расчета оптимальной теплоизоляции ограждающих конструкций образцовых жилых зданий, используя рекомендуемые значения коэффициента теплопередачи наружных ограждений, рассчитаны характеристики энергоэффективности образцовых жилых зданий. Проведен анализ и расчеты возможностей снижения эмиссии парникового газа, повышая энергоэффективность новых жилых зданий.

**Основные выводы по четвертой главе:**

В результате проведенного исследования установлено, что теплопотребление жилого здания с оптимальными коэффициентами теплопередачи ограждающих конструкций будет в среднем на 1/3 ниже по сравнению с имеющейся практикой теплоизоляции.

Государственное регулирование цен на энергоносители без финансовой стимуляции энергосберегательных мероприятий снижает интерес инвестирования в повышение энергоэффективности, потому что эти инвестиции не будут компенсированы сэкономленными деньгами.

Низкая стоимость тепловой энергии и более короткий отопительный сезон приводят к снижению годовых затрат на отопление здания. Это не способствует

повышению энергоэффективности зданий, улучшению температурного комфорта в помещениях и экономии энергоресурсов.

Стабильная экономическая ситуация (более низкая ставка дисконтирования) приводит к устойчивости годовых затрат на отопление зданий в течение расчетного периода. Это экономически оправдывает повышение теплоизоляции зданий и снижение энергопотребления в течение всего срока эксплуатации.

Анализ общих затрат на теплоэнергию относительно окон и других светопрозрачных ограждений на примере образцового здания показал, что текущая взаимосвязь между ценами на энергию и стоимостью внедрения энергосберегающих мероприятий сдерживает внедрение инновационных энергосберегающих мероприятий в Алматинской области.

Результаты исследования показывают, что без изменения энергоэффективности и первоисточников производства тепловой энергии в зданиях, выбросы углерода жилищным сектором в Алматинской области увеличатся почти вдвое в течение следующих 30 лет.

Внедрение в новые здания энергоэффективных мероприятий, определенных в этом исследовании, может до 8 раз снизить загрязнение окружающей среды в течение расчетного периода.

Увеличение теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, применение более эффективных окон может вдвое сократить выбросы CO<sub>2</sub>, в первую очередь в одноэтажных жилых домах, которые имеют значительно большее влияние на сокращение выбросов CO<sub>2</sub>, чем многоквартирные дома.

Системы механической вентиляции с рекуперацией тепла в одноэтажных жилых домах намного эффективнее сокращают выбросы CO<sub>2</sub>, чем в многоквартирных домах, поэтому их установка в одноэтажных жилых домах должна быть приоритетной.

Одноэтажные жилые дома с тепловыми насосами и фотоэлектрическими электростанциями становятся полностью экологически чистыми и не влияют на выбросы CO<sub>2</sub>. Достичь такого результата в многоквартирных домах с имеющимися технологиями невозможно из-за большего соотношения кровли и площади обогрева, но вышеуказанные мероприятия также значительно способствуют снижению загрязнения окружающей среды.