

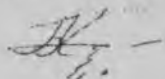
2015-72

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ им. Н. ИСАНОВА**

**Диссертационный совет Д 05.14.495**

*На правах рукописи*  
УДК 698.86; 697.142; 72.01; 69.03



**Боронбаев Эркин Капарович**

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ АРХИТЕКТУРЫ  
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА  
ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ  
(на примере Кыргызстана)**

Специальности: 05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование  
воздуха, газоснабжение и освещение;  
05.23.20 – теория и история архитектуры, реставрация и  
реконструкция историко-архитектурного наследия

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Работа выполнена в Кыргызском государственном университете  
строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова

Научный консультант: доктор технических наук, профессор  
**Абдыкалыков Акымбек Абдыкалыкович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Бодров Валерий Иосифович**

доктор архитектуры, профессор  
**Мукумов Рустам Саматович**

доктор технических наук  
**Васильев Григорий Петрович**

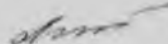
Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное образова-  
тельное учреждение высшего профессионального  
образования РФ "Казанский государственный архи-  
тектурно-строительный университет" (КазГАСУ)**

Защита состоится 27 февраля 2015 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 05.14.495 в Кыргызском государственном университете строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б. Ельцина по адресу: 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б, ауд. 1/101; факс +996 (312) 54 51 36.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова

Автореферат разослан \_\_\_\_ января 2015 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент

 Ильченко Л. В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Установлена актуальность поставленной автором проблемы исследований: архитектура и теплозащитная оболочка зданий часто не приспособлены к климату, наблюдается ненормативный уровень отопления, охлаждения, вентиляции и инсоляции помещений; температура воздуха в них доходит до 12... 15 °С зимой, до 30... 32 °С летом; сопротивление теплопередаче наружных ограждений в 1,4... 2,8 раза ниже требуемых, что вызывают 30... 65 %-ный перерасход энергии на обеспечение комфортного микроклимата и внутренних санитарно-гигиенических условий. Этому способствуют и многочисленные тепловые мосты в ограждающих конструкциях. Повышение эффективности использования тепловой энергии в гражданских зданиях имеет особую актуальность для горного Кыргызстана в связи с тем, что на долю этих зданий приходится около 80 % энергопотребления всех зданий. Резко континентальный и сухой климат страны с погодными условиями равнинных, горных и морских регионов, пустынь и степей, тундры и вечного мороза предъявляет особые требования к задачам проектирования, строительства и эксплуатации зданий. С учетом особенностей сезонов года и времени суток целесообразно привлекать и архитектурные, и эксплуатационные меры как для организации, так и предотвращения теплового эффекта солнечной радиации и окружающей среды (например, дневного нагревания и ночного охлаждения проветриванием, использования солнечной теплоты и защиты от нее). Совершенствование архитектуры и теплозащитных способностей зданий является также мощным средством борьбы с глобальным изменением климата и истощением ископаемого топлива. Страна обладает ограниченными запасами нефти и природного газа, повышается стоимость всех видов энергоносителей. Существующие гражданские здания нуждаются в энергосберегающей реконструкции. Во многих случаях удельное энергопотребление на единицу площади пола таких зданий в 2...3 раза больше, чем в развитых странах Европы и Америки.

**Связь темы диссертации с крупными научными программами.** Работа выполнена в соответствии с задачами реализации положений нового закона Кыргызской Республики «Об энергетической эффективности зданий», разработанного по заказу Правительства КР через проект ЕБРР «Содействие развитию законодательства по энергоэффективности зданий» (автор является участником разработки этого закона и семи подзаконных нормативных и методических документов), реализуемого также проектом ЕБРР «KyrgyzSEEF» по кредитной теплоизоляции зданий частного сектора во всех регионах страны; закона КР «Об энергосбережении» и постановления мэрии г. Бишкека по использованию возобновляемых источников энергии для целей теплоснабжения зданий.

**Цель и задачи исследования.** Цель исследования – разработка теории и практики создания энергосберегающей архитектуры и повышения энергоэффективности теплового режима гражданских зданий для обеспечения требуемого внутреннего микроклимата при максимальном привлечении энергии окружающей среды и солнечной радиации и минимальном использовании искусственных источников энергии.

Для достижения поставленной цели в диссертации определены и решались следующие основные задачи:

- разработка имитационной математической тепловой модели здания, служащей теоретической основой создания энергосберегающей архитектуры и повышения энергоэффективности теплового режима;
- определение типов и классификация тепловых состояний здания в зависимости от внутренних и внешних тепловых воздействий на него;
- количественная оценка энергоэффективности текущего и долгосрочного теплового режима здания;
- определение совокупности основных качественных и количественных характеристик здания, влияющих на его тепловой режим;
- оптимизация теплового эффекта солнечной радиации и окружающей среды на здание путем целенаправленного влияния на механизмы и интенсивности его проявления;
- определение показателя количественной оценки степени совершенства и потенциала оптимизации формы здания;
- определение теории и практики разработки энергосберегающей архитектуры для выбора места размещения, объема, формы, ориентации, размеров и уровня теплозащиты как здания в целом, так и его отдельных помещений и ограждений;
- разработка графически наглядной инженерной методологии оптимизации теплового режима здания для снижения потребления энергии на отопление, охлаждение и вентиляцию;
- разработка простых формул и наглядных инструментов выбора энергосберегающей архитектуры здания для минимизации его энергопотребления;
- разработка определения и классификация тепловых мостов в ограждающих конструкциях и способов борьбы с ними.

**Научная новизна работы.** Автором впервые разработаны и предложены:  
*по специальности 05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение:*

- два вида имитационной математической тепловой модели здания;
- формула взаимосвязи теплотехнических, геометрических и температурных показателей наружных ограждений и принцип комплексной теплозащиты здания; графические и математические зависимости для предельно низкого, высокого и критического коэффициента теплопередачи отдельных наружных ограждений и всей теплозащитной оболочки здания;
- формулы безразмерной термической и временной энергоэффективности теплового режима здания, классификация его тепловых состояний, установленных как естественное, возмущенно-естественное и искусственное;
- методология оптимизации «ножниц» графиков суммарных потерь и поступлений теплоты здания по совершенствованию теплового режима здания для минимизации энергопотребления на отопление, охлаждение и вентиляцию;
- экспресс-метод графического назначения нормативной теплозащиты и толщины слоя теплоизоляции наружных стен для вариантной разработки кон-

- структивной концепции проектирования зданий на основе предложенных климатических изолиний на карте Кыргызстана;
- определение и классификация тепловых мостов в ограждающих конструкциях, представленная как архитектурные, конструктивные и эксплуатационные, способов борьбы с ними, в частности, способа предотвращения роста плесени на внутренних поверхностях ограждений;  
*по специальности 05.23.20 – теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия:*

- концепция энергоэффективной формы здания; формула для количественной оценки степени совершенства и потенциала улучшения формы для реального здания заданного объема относительно данных теоретического здания в виде сферы того же объема;
- спирально-циклическая модель и методология создания энергосберегающей архитектуры поэтапной оптимизацией установленной совокупности «теплозащитных качеств» здания;
- концепция энергосберегающей архитектуры, саморегулирования теплового режима здания, энергосберегающих заграждений у ограждений, принцип примыкания наружных ограждений к грунту и прилегающему воздушному пространству;
- теория и практика энергосберегающей архитектуры по выбору места размещения, формы, объема, ориентации, размеров и теплозащитных показателей как здания в целом, так и его помещений и ограждений;
- методология оптимизации «ножниц» графиков суммарных потерь и поступлений теплоты здания; экспресс-метод графического назначения толщины слоя теплоизоляции наружных стен для вариантной разработки энергосберегающей архитектуры, приспособленной к климату.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что полученные формулы, методологии и методики расчетов по эффективному использованию энергии позволяют обоснованно принимать энергосберегающую архитектуру, рассчитывать, проектировать, реализовывать строительство, реконструкцию и эксплуатацию гражданских зданий. Практическую ценность имеют: 1) методология спирально-циклического улучшения энергосберегающей архитектуры и теплового режима проектируемых и существующих зданий; 2) методика оценки степени энергетического совершенства и потенциала улучшения формы здания; 3) расчет и реализация комплексной теплозащиты здания относительно предельно низкого, высокого, нормативного и критического – экономически целесообразного коэффициента теплопередачи наружных ограждений и теплозащитной оболочки; 4) вычислительная оптимизация теплового эффекта солнечной радиации и окружающей среды для выбора мест размещения, объема, формы, ориентации, размеров и уровня теплозащиты как здания в целом, так и его отдельных помещений и ограждений с учетом условий безоблачного неба и неба со статистической облачностью; 5) оценка термической и временной энергоэффективности теплового режима здания при его естественном, возмущенно-естественном и искусственном тепловом состоянии; 6) методология оптимиза-

ции «ножниц» графиков суммарных потерь и поступлений теплоты здания для снижения энергозатрат.

Результаты диссертации реализованы при энергосберегающей реконструкции девятиэтажного крупнопанельного жилого здания в г. Бишкеке и более десяти зданий в различных климатических условиях Кыргызстана. Автор использовал результаты своих исследований (особенно при установлении типов климата и гражданских зданий Кыргызстана, климатического районирования его территории и ее расчетных параметров) как участник реализации заказа Правительства КР (в 2011-2013 гг.) ЕБРР – как один из авторов разработки: 1) Закона КР «Об энергоэффективности зданий»; 2) ряда подзаконных документов, включающего СНиП КР 23-01: 2013 и СП КР 23-101-2013, Положение, Методические указания, Методика расчета, три Руководства к расчету и для специалистов. Эти документы апробированы и используются (с 2013 г.) в рамках реализации следующего заказа Правительства КР – проекта ЕБРР «KytSEEF» по микрокредитной теплоизоляции зданий частного сектора во всех регионах страны; 3) в учебном процессе в КГУСТА им. Н. Исанова при разработке, включении в учебные планы и реализации (с 1997 г.) нового курса «Энергосберегающая архитектура и эксплуатация зданий» профиля подготовки «Теплогазоснабжение и вентиляция», двух магистерских и одной PhD программ, одобренных партнерами двух TEMPUS проектов в лице опытных специалистов из 6 университетов 5 стран Европейского союза и из 14 вузов 6 стран – членов СНГ.

**Экономическая значимость полученных результатов.** Существенную экономическую значимость имеют следующие внедренные научные результаты автора, достигнутые: 1) при проектировании и реконструкции (в 1996 г.) по внешней теплоизоляции наружных стен, покрытия и трубопроводов девятиэтажного крупнопанельного жилого дома (г. Бишкек, м/р Асанбай, д. 9), обеспечивающей: а) ежегодное энергосбережение в объеме 25 % – около 5,27 МВт·ч/год за счет внешней теплоизоляции наружных стен при снижении отрицательного эффекта угловых тепловых мостов закруглением углов этих стен; б) ежегодную суммарную экономию тепловой энергии на 40 %, равной 8,3 МВт·ч/год за счет улучшения режимов теплообеспечения здания; 2) при планировании, проектировании, строительстве и эксплуатации (с 2003 г.) здания (Московский р-н, с. Бала-Аилчи) с ограждениями из соломенных тюков: а) вычислительной оптимизацией общей площади, размеров и мест размещения четырех окон продольного южного фасада при максимальном солнечном нагревании, позволившей сократить продолжительность отопительного периода с 188 до 86 суток, экономию тепловой энергии на отопление около 17080 кВт·ч/год; б) при обеспечении максимального затенения окон за счет снижения поступления теплоты солнечной радиации за июнь, июль и август месяцы на 782 кВт·ч/год; 3) при расчете, изготовлении, монтаже и испытании экспериментально-демонстрационной установки пассивного солнечного отопления двухкомнатного дома (г. Бишкек, жилой массив «Аска-Таш») за счет одинарного остекления глинобитной солнечно активной стены южного фасада площадью

10,4 м<sup>2</sup>, позволившей улучшить микроклимат помещений и снизить расход тепловой энергии на отопление на 40 % в количестве около 2050 кВт·ч/год.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**  
*по специальности 05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение:*

- предложенные два вида имитационной математической тепловой модели здания;
  - формула взаимосвязи теплотехнических, геометрических и температурных показателей наружных ограждений; принцип комплексной теплозащиты здания; зависимости для предельно низкого, высокого, критического и нормативного коэффициента теплопередачи наружных ограждений и теплозащитной оболочки;
  - формулы термической и временной энергоэффективности теплового режима здания, классификация его тепловых состояний, установленных как естественное, возмущенно-естественное и искусственное;
  - методология оптимизации «ножниц» графиков суммарных потерь и поступлений теплоты здания для совершенствования теплового режима здания путем минимизации потребления энергии на отопление, охлаждение и вентиляцию;
  - определение и классификация тепловых мостов в ограждающих конструкциях, представленная как архитектурные, конструктивные и эксплуатационные тепловые мосты; способы борьбы с ними для предотвращения роста плесени на ограждениях, нарушения нормативных санитарно-гигиенических условий и параметров микроклимата в помещениях;
- по специальности 05.23.20 – теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия:*
- разработанная концепция энергоэффективной формы здания; выведенная формула для количественной оценки степени совершенства и потенциала улучшения этой формы;
  - спирально-циклическая модель и методология разработки энергосберегающей архитектуры поэтапной оптимизацией установленной совокупности «теплозащитных качеств» здания;
  - концепция энергосберегающей архитектуры, саморегулирования теплового режима здания, энергосберегающих заграждений у ограждений и принцип примыкания наружных ограждений к грунту и прилегающему воздушному пространству.

**Личный вклад соискателя** в решение проблемы заключается в постановке и решении поставленных задач, разработке методологии вычислительной оптимизации теплового эффекта окружающей среды и солнечной радиации на здание, проведении натурных исследований, анализе и сопоставлении известных, измеренных и вычисленных данных, участии в создании энергосберегающей архитектуры, проектировании, строительстве и реконструкции зданий, а также в надзоре за использованием предложенных разработок. Личное участие автора выражается в том, что все основные результаты работы получены

лично автором. Использованные материалы других исследователей отмечены ссылками на соответствующие литературные источники.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается строгой аргументацией и критической оценкой выдвигаемых автором научных положений, выводов и рекомендаций в корректном их сравнении с данными других исследователей; использовании при проведении натурных измерений современных аттестованных измерительных приборов и апробированных на практике методик; проверки адекватности полученных результатов классическими положениями закона сохранения энергии, теории тепло- и массообмена и математической статистики; подтверждении предложенных инженерных решений двумя патентами Кыргызской Республики на изобретение автора.

**Апробация результатов исследований.** Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных, региональных, республиканских, вузовских конференциях и семинарах, состоявшихся: в г. Прага, Чехословакия «Applied Optics and Solar Energy», 1989 г.; в г. Вашингтон, США «American Council for Energy-Efficient Economy», 1997 г.; в г. Портороз, Словения, «EuroSun'98», 1998 г.; в г. Бишкек: «Проблемы управления и автоматизации», НАН КР, 2000 г.; «Проблемы строительной отрасли и пути их решения», 2001 г.; «Горный Кыргызстан и экология», 2002 г., «Энергосберегающие технологии и ресурсы», 2003 г.; Бишкекского политехнического института, 1989 г., 1991 г., Кыргызского архитектурно-строительного института, 1992 г., 1993 г.; Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры, 1994-2014 гг.; Кыргызского технического университета, 2000 г., 2003 г., Австрийско-Центральноазиатского центра геoinформационных наук «Orep-Solar», 2009 г.; ЕБРР «Содействие развитию законодательства по энергоэффективности зданий», 2012 г.; в г. Алматы, Казахской головной архитектурно-строительной академии, 2002 г.; в г. София, Болгария, на Комитете ООН «Энергоэффективность в жилищном секторе», 2009 г.; в г. Душанбе «EnerGIS», 2010 г.; в г. Женева, Швейцария на 71-сессии Комитета ООН по жилищному хозяйству и землепользованию, 2010 г.; в г. Роттердам, Нидерланды, на Конгрессе Комитета ООН «Энергоэффективность в жилом секторе WACAP-2010».

**Полнота отражения результатов диссертации в публикации.** Основное содержание диссертации отражено в 46 научных публикациях, в том числе в монографии автора и двух патентах на изобретение, включая 26 публикации, написанные лично автором.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы из 220 наименований, 14 приложений, изложена на 247 страницах текста, включает 17 таблиц и 64 иллюстраций.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и основные задачи исследований, методы их решения, научная новизна, практическая значимость работы и положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлен краткий анализ потенциала энергосбережения в гражданских зданиях, тенденции совершенствования нормативной и реальной теплозащитной способности наружных ограждений, основные причины глобального потепления климата.

Принятый научный подход к проблеме исследований предполагает, что архитектура первична – она определяет исходные условия взаимодействия здания с окружающим миром, формирующим, в частности, его тепловое состояние. Архитектура – не только отражение выразительности пространств, форм и цвета, она определяет и комфортность внутренней среды. Солнце, ветер, параметры атмосферы и местности выступают как отправная база творчества целой плеяды современных архитекторов Запада, отдающих приоритет изящным линиям, удобству и функциональности зданий, использованию энергетических ресурсов природы. К ним относятся Н. Фостер, Ч. Корреа, Дж. Лои, Р. Роджерс, С. Калатрава, Н. Гриншоу, Э. Поль, М. Уильфорд, Й. Утсон и др. В своих работах учитывали особенности климата и динамику солнечной радиации ученые – архитекторы России Н.В. Оболенский, Д.В. Бахарев, В.К. Беликова, Л.Л. Дашкевич, В.С. Беляев, М. Писициан и Л.П. Хохлова; Европы – В. Д. Аккер, М. Моелс и С. Стинберген, С. Роиф, Д. Криктоп, Н. Фордик, Д. Хорвей и А. Конуа; США – Д. Чирас, и Л. Норберт; Австралии – С. Заколей, Е. Харкнес и М. Мехта. В научных исследованиях обращают пристальное внимание на своеобразие горного климата и ландшафта Кыргызстана и отразили его в своих трудах Д.Д. Иманкулов, Р.М. Муксинов, Д.Д. Омуралиев и Ю.Н. Смирнов; они отражены и в публикациях И.Д. Кадырбекова, Т.С. Кенешева, А.М. Насирдиновой и Т. А. Филатовой; этими проблемами занимаются в Таджикистане Р.С. Мукимов и С.Р. Мукимова. У современных архитекторов приоритетные внешние виды и формы зданий диктуются, как эстетическими, так и практическими соображениями их взаимодействия с климатом. Выдвигаемый автором подход отражен в тезисах архитекторов Ч. Корреа «Архитектурная форма следует климату» и М. Писициана «Комфортный, рациональный и эстетичный интерьер – это то, ради чего возводится здание».

Проблеме снижения расхода энергии для обеспечения требуемого теплового режима зданий посвящены работы О.Е. Власова, Л.А. Семенова, А.М., Шкловера, Ф.В. Ушкова, В.Н. Богословского, Ю.Я. Кувшинова, А.Г. Гагарина, Ю.А. Табунщикова, В.И. Бодрова, В.И. Прохорова, А.И. Ананьева, В.К. Савина, В.П. Титова, Ю.А. Матросова, Е.Г. Малявиной, И.Ф. Ливчака, А.Н. Дмитриева, Г.П. Васильева, Г.С. Иванова, В.И. Костина, Н.А. Парфентьевой, А.Г. Рымарова, О.Д. Самарина, Т.И. Корнеевой, А. Мачкаши, Дж.Д. Балкомба, У. Бекмана, Дж. Даффи и других авторов.

Известно, что около 40 % мирового энергопотребления идет на отопление, охлаждение и вентиляцию зданий. Практически все здания часто имеют ряд недостатков, вызывающих перерасход тепловой и электрической энергии. В настоящее время во многих странах построены энергоэффективные здания с удельным расходом теплоты менее чем 15 кВт·ч в год на 1 м<sup>2</sup> площади пола, что составляет лишь 30 % энергопотребления традиционных зданий в европейских странах. Для жилых зданий, построенных около 20 лет назад в средней

полосе России, эта величина колеблется в пределах: для многоквартирных домов – от 350 до 600 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год; одноквартирных – от 600 до 800 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год; в Кыргызстане, соответственно, от 250 до 400 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год и от 300 до 600 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год. Этот показатель для гражданских зданий того периода в среднем составляет в Германии 260 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год, в Швеции и Финляндии – 135 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год. В последующем в Финляндии, Канаде и Норвегии появились здания с коэффициентом теплопередачи наружных стен около 0,15 Вт/(м<sup>2</sup>·°C) при использовании слоя минераловатного утеплителя толщиной до 300 мм. Этот коэффициент у покрытий таких зданий колеблется от 0,09 до 0,12 Вт/(м<sup>2</sup>·°C). У них расчетная кратность воздухообмена уменьшена до 0,4 ч<sup>-1</sup> при устройстве приточно-вытяжной механической вентиляции с утилизатором тепловой энергии уходящего воздуха.

Общемировой процесс улучшения теплозащитных способностей зданий связан с повышением стоимости энергии. Его первый этап был вызван мировым энергетическим кризисом 1973 г. Среди стран – членов СНГ Россия занимает лидирующее положение в совершенствовании теории и практики теплозащиты и методов снижения энергопотребления зданий. У истоков новых и крупных научно-технических разработок стоят ученые и специалисты г. Москвы. Они впервые разработали и утвердили в 1994 г. прогрессивные нормы по энергосбережению в зданиях. Это стало первым шагом к внедрению новых норм, основанных на ограничении годового энергопотребления здания и приведенного сопротивления теплопередаче ограждений при обеспечении ими допустимой температуры на внутренней поверхности, условий долговечности, предотвращающего увлажнения, намокания и появления плесени. Такой принцип принят во многих странах. В Кыргызстане он реализуется новыми нормами 2013 г.: с участием автора впервые среди стран – членов СНГ в 2011-2013 гг. разработаны Закон КР «Об энергоэффективности зданий» и следующий ряд подзаконных документов для гражданских зданий: новые СНиП КР 23-01: 2013 и СП КР 23-101-2013, Положение, Методические указания, Методика расчета, три Руководства к расчету и для специалистов. Этот Закон и указанные документы реализуются в рамках проекта «KyrSEF» EBPP во всех регионах страны.

Известно, что потенциал сокращения энергопотребления существующих гражданских зданий путем экономически целесообразной дополнительной теплоизоляции наружных ограждений составляет около 40...60 %. Перерасход энергии, связанный с недостатками методов разработки генпланов, выбора плотности застройки и архитектурно-планировочных решений, во многих случаях доходит до 20...25 %. Большой резерв экономии энергии кроется в разработке целесообразной архитектуры зданий путем максимального использования ограждающих конструкций для приема и аккумуляции теплоты солнечной радиации, солнцезащитных устройств, естественного ночного проветривания, снижения эффекта «тепловых мостов» и инфильтрации наружного воздуха.

**Вторая глава** посвящена рассмотрению теории энергосберегающей архитектуры и повышения энергоэффективности теплового режима гражданских зданий. Наиболее полно отражены принципы разработки архитектуры граждан-

ских зданий с учетом особенностей климата места строительства в работах С.В. Зоколя и Е. Харкнеса. Теория нестационарного теплового режима помещений, разработанная О.Е. Власовым, Л.А. Семеновым и А.М. Шкловером, получила в дальнейшем развитие в работах В.Н. Богословского, Ю.А. Табунщикова, Ю.Я. Кувшинова и др.

Автором предлагается представить здания как открытую термодинамическую систему с сосредоточенными параметрами, имеющую замкнутую теплозащитную оболочку с объемом  $V_e$ , м<sup>3</sup>, и площадью внешней поверхности  $A$ , м<sup>2</sup>. Элементарное изменение среднемассовой температуры  $\Delta t_3$ , °C, здания с массой  $M_3$ , кг, и общей теплоемкостью  $M_3 c_3$  за промежуток времени  $\tau$ , с, зависит, во-первых, от тепло- и массообмена с окружающей средой через указанную поверхность, во-вторых, от эффекта отдельных потерь и поступлений теплоты, происходящих внутри этой оболочки  $\Sigma \Delta Q_e$ , Вт. Здание взаимодействует с окружающей средой в зависимости от разности между температурами на наружных поверхностях  $t_{ге}$  и этой среды  $t_0$ , коэффициента теплообмена  $\alpha_e$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°C), представленного как сумма конвективной  $\alpha_k$  и лучистой  $\alpha_l$  составляющих. Причем на практике вместо  $t_0$  принимают температуру наружного воздуха  $t_e$ . Остальные эффекты явной теплоты, включая и соответствующий эффект массообмена, можно представить как интегральную величину  $\Sigma \Delta Q_e$ . Она учитывает, с одной стороны, теплоту нагревания или охлаждения массы всех физических тел, включая воздушной среды, которые находятся внутри этой оболочки или проходят через нее, с другой – выделения явной теплоты от людей, бытовых приборов, оборудования и др.

Соответственно, предложенная первая имитационная математическая модель здания характеризует его динамичное тепловое состояние, определяемое процессами теплообмена отдельных элементов  $j$  оболочки с окружающей средой и другими тепловыми эффектами, вызывающими изменение  $\Delta t_3$ :

$$M_3 c_3 \frac{dt_3}{dt} = \Sigma \Delta Q_e \pm \Sigma [\alpha_{ej} A_j (t_{ге,j} - t_{ej})], \text{ Вт.} \quad (1)$$

Здание также можно представить как открытую термодинамическую систему с сосредоточенными параметрами, имеющую объем  $V_i$  с массой  $M_i$  обновляемого воздуха, ограниченный внутренней границей теплозащитной оболочки («скорлупы»). За промежуток времени  $\tau$  изменение среднемассовой температуры  $\Delta t_i$  внутреннего воздуха с массовой теплоемкостью  $M_i c_p$  зависит, во-первых, от условий нестационарной конвективной теплоотдачи  $\alpha_{jk}$  поверхностей (с  $t_{пj}$  и  $A_j$ ) ограждений, мебели, оборудования и др., во-вторых, от других эффектов явной теплоты  $\Delta Q_{пj}$ , в частности, поступающего и уходящего через эту границу воздуха.

Соответственно, предлагается вторая имитационная математическая тепловая модель здания. Динамичное тепловое состояние внутреннего воздуха

характеризуется теплообменом этого воздуха с отдельными  $j$  поверхностями оболочки и другими тепловыми эффектами, вызывающими изменение  $t_i$ :

$$\dot{M}_i \dot{c}_p \frac{dt_i}{dt} = \Sigma \Delta \dot{Q}_{in} \pm \Sigma [\alpha_{ik,j} A_{ij} (t_{ij} - t_{in,j})], \text{ Вт.} \quad (2)$$

Левую часть этого уравнения в виде  $\dot{M}_i \dot{c}_p \frac{dt_i}{dt}$  можно написать как  $\pm \Delta \dot{Q}$ .

Тогда преобразованные члены правой части представляют те составляющие теплового баланса здания, которые связаны с потоками потерь (теплопередачей через оболочку  $\dot{Q}_O$ , на нагревание или охлаждение проникающего воздуха  $\dot{Q}_B$ ) и поступлений теплоты (от людей, приборов, оборудования и др.  $\dot{Q}_B$ , солнечной радиации  $\dot{Q}_C$  и систем обеспечения микроклимата  $\dot{Q}_M$ ) по формуле

$$\dot{Q}_O + \dot{Q}_C \pm \dot{Q}_B \pm \dot{Q}_O \pm \dot{Q}_M \pm \Delta \dot{Q} = 0, \text{ Вт.ч.} \quad (3)$$

Главная задача – это минимизация  $\dot{Q}_M$  путем взаимно согласованных изменений других составляющих этого уравнения при обеспечении заданных параметров микроклимата в помещениях. При этом среднemasсовая температура внутреннего воздуха  $t_i$  является основным параметром и характеризует как тепловой режим, так и уровень микроклимата и энергозатрат на его обеспечение.

Автором предложены концепция, понятие и термин «суточное саморегулирование» теплового режима здания. Они служат теоретической основой методологии гармонизированной оптимизации внутренних и внешних тепловых воздействий. Ее реализация позволяет снизить энергозатраты на обеспечение стабильных параметров микроклимата путем минимизации текущей величины  $\pm \Delta \dot{Q}$ . Для этого целесообразно сбалансированное изменение потерь  $\dot{Q}_O + \dot{Q}_B$  и поступлений  $\dot{Q}_B + \dot{Q}_C$  теплоты. Такой теоретический подход позволяет, во-первых, в начале и в конце расчетных сезонов отопления и охлаждения добиться тех тепловых режимов, когда  $\dot{Q}_M = 0$  (т. е. снизить энергозатраты и реальную продолжительность этих сезонов), во-вторых, обеспечить минимальную и более равномерную подачу теплоты или холода  $\dot{Q}_M$ .

Любая конструкция здания выступает и как преобразователь поступающей солнечной радиации в теплоту, и как аккумулятор некоторой части этой теплоты. Автором выдвинута гипотеза (и она подтверждена в главе 4 натурными измерениями): в некоторые дневные часы суток с безоблачной погодой окно, ориентированное на экватор, может играть роль панельно-лучистого отопительного прибора, а в ночные часы, наоборот – теплопроводного включения наружной стены. Например, стекло такого окна в часы около полудня солнечного времени может повышать свою температуру настолько, что оно уже конвективно-лучистым путем нагревает и внутреннюю, и внешнюю окружающую среду. Если поверхность окна со стороны интерьера (с  $A_{i,ok}$  и  $t_{i,п.ок}$ ) имеет средний коэффициент нестационарного теплообмена  $\dot{\alpha}_{i,ok}$  (как сумма лучистого  $\dot{\alpha}_{il}$

и конвективного  $\dot{\alpha}_{ik}$  составляющих), то общий нестационарный поток теплоты в сторону помещения можно представить в виде

$$\dot{Q}_{ok} = \dot{\alpha}_{i,ok} A_{i,ok} (t_{i,п.ок} - t_{п}) + \theta A_{i,ст} \dot{q}_c, \text{ Вт,} \quad (4)$$

где  $\theta$  – коэффициент притока теплоты суммарной солнечной радиации  $\dot{q}_c$ , Вт/м<sup>2</sup>, сквозь остекление с  $A_{i,ст}$ , определяемый в зависимости от его способности отражать, пропускать и поглощать ее. Значения обоих слагаемых правой части этого уравнения изменяются в течение дня от нуля до своего максимума и наоборот. При этом первое слагаемое меняет также свой знак: существуют периоды лучисто-конвективной передачи теплоты в сторону помещения (когда его температура  $t_{п} < t_{i,п.ст}$ ) и от него (когда  $t_{п} > t_{i,п.ст}$ ). Последний случай, являясь «ночным» режимом охлаждения, характеризуется и условием  $\dot{q}_c = 0$ .

Автором установлено, что любая конструкция окна в теплые, особенно безоблачные дни имеет «порог чувствительности»  $\dot{q}_{c,ч}$  к плотности потока поступающей суммарной солнечной радиации, выше которого наблюдается конвективно-лучистое поступление в помещение той части солнечной теплоты, которая накоплена в массе этой конструкции. Следовательно, для момента времени, когда отсутствует такой поток ( $\dot{Q}_{ok} = 0$ ), по уравнению (4) определена зависимость для  $\dot{q}_c = \dot{q}_{c,ч}$ , которая соответствует указанному «порогу чувствительности» в виде

$$\dot{q}_{c,ч} = \frac{\dot{\alpha}_{i,ok} A_{i,ok} (t_{i,п.ок} - t_{п})}{\theta A_{i,ст}}, \text{ Вт/м}^2, \quad (5)$$

Следовательно, значение  $\dot{q}_{c,ч}$  относится к тем моментам времени дня, когда «ночной» тепловой эффект окна переходит на «дневной» и наоборот. В дни с теплой погодой и переменной облачностью неба эти моменты могут наблюдаться не только в утренние и вечерние часы, но и в другие часы дня. Чем ближе место строительства к экватору, тем продолжительнее период теплового эффекта «дневного» режима. Чем холоднее климат местности, тем сильнее проявляется «ночной» режим, а при малых  $\dot{q}_c$  «дневной» режим не наблюдается.

На практике в качестве диктующих условий, по которым выбираются целесообразные теплотехнические свойства ограждения, могут выступить и «дневные», и «ночные» процессы теплообмена, происходящие как в холодный, так и в теплый периоды года. Например, при режимах теплового периода, когда осуществляется охлаждение помещений ночным проветриванием, охлаждаемые поверхностные слои ограждений интерьера должны иметь высокую теплопроводность и максимальную теплоаккумулирующую способность – по летним режимам лучше те помещения, у которых значительна термическая масса.

С позиции экономии энергии выгодна архитектура здания, имеющего такую форму, которая образует максимальный внутренний теплозащищенный объем  $V_i$  при минимальной площади контакта  $A$  с внешней средой. Следовательно, энергетически идеальная геометрическая модель здания – это сфера.

Автором предложена новая концепция энергоэффективной формы здания. Она позволяет количественно оценить степень энергетического совершенства формы реального здания заданного объема  $V_i$  путем сравнения общих потерь теплоты реального  $Q$  и теоретического здания  $Q_T$  в виде сферы того же объема. Допустим, для указанных зданий за отопительный сезон [когда считается, что процесс квазистационарный и в уравнении (3)  $\Delta Q = 0$ ] между собой равны поступления теплоты:  $Q_6 = Q_{6,T}$  и  $Q_c = Q_{c,T}$ . Тогда расход теплоты на отопление ( $Q_M$  и  $Q_{M,T}$ ) зависит только от их общих потерь ( $Q$  и  $Q_T$ ) в виде суммы потерь из-за теплопередачи через оболочку ( $Q_0$  и  $Q_{0,T}$ ) и нагревания ( $Q_B$  и  $Q_{B,T}$ ) поступающего наружного воздуха (при равенстве средних температур  $t_i$  воздуха в них):

$$Q_T = k_{T,CP} A_T \Sigma[(t_i - t_{ej})z_j] + V_{Ti} n_{T,CP} c_v \Sigma[(t_i - t_{ej})z_j], \text{ Вт}\cdot\text{ч}, \quad (6)$$

$$Q = k_{CP} A \Sigma[(t_i - t_{ej})z_j] + V_i n_{CP} c_v \Sigma[(t_i - t_{ej})z_j], \text{ Вт}\cdot\text{ч}, \quad (7)$$

где  $t_{ej}$ ,  $n_{T,CP}$ ,  $ч^{-1}$  и  $n_{CP}$  – средние за период  $z_j$ , сут., температура наружного воздуха и кратности воздухообмена;  $c_v$  – удельная объемная теплоемкость воздуха, Вт·ч/(м<sup>3</sup>·°C). При одинаковых температурных условиях и когда  $n_{T,CP} = n_{CP}$  вторые слагаемые правых частей этих уравнений равны между собой  $Q_B = Q_{B,T}$ . Тогда разница суммарных потерь теплоты этих зданий составляет  $\Delta Q_0 = Q_0 - Q_{0,T}$ . Разделив обе части этого равенства на  $Q_{0,T}$ , при условии, что у теоретического и реального здания  $k_{T,CP} = k_{CP}$ , получим

$$E_s = \frac{\Delta Q_0}{Q_{0,T}} = \frac{k_{CP}(A - A_T) \Sigma[(t_i - t_{ej})z_j]}{k_{T,CP} A_T \Sigma[(t_i - t_{ej})z_j]} = \frac{A - A_T}{A_T} \quad (8)$$

Показатель  $E_s$  является количественной мерой теоретически возможного потенциала совершенствования формы реального здания заданного объема относительно показателей идеального здания в виде сферы того же объема. Он служит для широкого круга специалистов основой простой, наглядной и практически результативной методологии улучшения формы здания при его проектировании, строительстве и реконструкции.

Энергосберегающего увеличения или уменьшения потерь и поступлений теплоты здания можно добиться за счет такой архитектуры, при которой удается создать специальные «энергосберегающие заграждения у ограждений». Они позволяют целенаправленно влиять на частные механизмы и интенсивности проявления отдельных процессов конвективного, кондуктивного и лучистого теплообмена и движения воздушных потоков, происходящих как в здании, так и у его внешней оболочки. Такими заграждениями являются устройства защиты от ветра и солнечных лучей, ставни, жалюзи и шторы окон, защитные и декоративные экраны, остекления солнечно-активных наружных стен и др.

Автором предложена (и одобрена в 1989 г. на конференции в г. Праге, Чехословакия) концепция энергосберегающей архитектуры здания, охватывающая реализацию описанных выше теоретических идей энергоэффективной формы и саморегулирования теплового режима. На основе этой концепции решаются задачи по определению, во-первых, мест размещения, формы, объема, размеров и ориентации здания, его отдельных помещений и ограждений, во-вторых, энергосберегающих заграждений у ограждений.

Анализ известных результатов научных исследований показал, что отсутствует математический показатель, позволяющий количественно оценить уровень энергетической эффективности теплового режима зданий.

Имитационная математическая модель здания по уравнению (2) выражает равенство сумм потерь и поступлений  $\Sigma \dot{Q}_{\text{пот}} = \Sigma \dot{Q}_{\text{пос}}$ , включающих в себя и величину  $\pm \Delta \dot{Q}$ . Левую часть этого равенства логично представить при отдельном учете  $\dot{Q}_M$  системы искусственного отопления (или охлаждения) в виде суммы  $\Sigma \dot{Q}'_{\text{пос}} + \dot{Q}_M$ . Причем полученный баланс потоков теплоты здания  $\Sigma \dot{Q}_{\text{пос}} = \Sigma \dot{Q}'_{\text{пос}} + \dot{Q}_M$  станет универсальным, если разделить обе части на  $\Sigma \dot{Q}_{\text{пот}}$  и после преобразования записать его как соотношение

$$\dot{E} = \frac{\Sigma \dot{Q}'_{\text{пос}}}{\Sigma \dot{Q}_{\text{пот}}} = 1 - \frac{\dot{Q}_M}{\Sigma \dot{Q}_{\text{пот}}} \quad (9)$$

Теоретическая сущность величины  $\dot{E}$  заключается в том, что она численно характеризует практически важное свойство здания – его термическую способность и приспособляемость к поддержанию заданного уровня микроклимата при минимальном привлечении искусственных ресурсов тепловой энергии.

Рассмотрение теоретических основ повышения энергоэффективности теплового режима зданий привело к выдвиганию следующих типов теплового состояния здания.

*Естественное тепловое состояние здания* характеризуется тем, что оно не испытывает на себе тепловых воздействий искусственных источников энергии и биологически активных организмов (теплокровных животных, сочного растительного сырья и др.), а также процессов изменения агрегатного состояния и химического состава физических тел. Соответственно, значения  $t_i$  устанавливаются лишь под действием теплового эффекта солнечной радиации и окружающей среды. Для долгосрочного холодного периода, когда  $t_e < t_i$ ,  $Q_6 = 0$ ,  $Q_M = 0$  и  $\Delta Q \approx 0$ , показатель термической энергоэффективности теплового режима здания по формуле (9) принимает вид

$$E' \approx Q_c / (Q_0 + Q_B) \approx 1. \quad (10)$$

*Возмущенно-естественное тепловое состояние здания.* В реальности естественное тепловое состояние здания оказывается нарушенным из-за внутренних тепловых воздействий  $Q_6$ . Для долгосрочного холодного периода зна-



чения  $t_i$  самоустанавливаются под действием  $Q_6$  и  $Q_c$ , когда  $t_e < t_i$ ,  $Q_M = 0$  и  $\Delta Q \approx 0$ , справедлива запись формулы (9) как

$$E'' \approx (Q_6 + Q_c) / (Q_0 + Q_B) \approx 1. \quad (11)$$

*Искусственное тепловое состояние здания* характеризуется наличием тепловых воздействий  $Q_6$  и  $Q_c$ , а также  $Q_M$  систем искусственного отопления или охлаждения. Для отопительного сезона или его отдельных периодов, когда  $t_i$  поддерживается около заданной при подаче  $Q_M$  и  $\Delta Q \approx 0$ , показатель термической энергоэффективности теплового режима согласно формуле (9) принимает вид

$$E = 1 - \frac{Q_M}{Q_0 + Q_B}. \quad (12)$$

Из вышеизложенного следует, что теоретической базой объективной оценки теплозащитной способности здания являются показатели естественного теплового состояния. При этом самоустанавливаемый ход, например, среднемесячных температур внутреннего воздуха  $t_i$  следует за соответствующими изменениями  $t_e$  и графически представляет синусоиду с годовым периодом  $T = z_X + z_T$ , где  $z_X$  и  $z_T$  – продолжительности теплого и холодного периода. Чем меньше амплитуда этой синусоиды, тем лучше приспособляемость здания к внешним тепловым воздействиям. Горизонтальные линии, проходящие через ординаты, равные нормативным  $t_{i,X}^D$  и  $t_{i,T}^D$  для периодов отопления и охлаждения, срезают, соответственно, нижнюю и верхнюю часть этой синусоиды. Причём точки их пересечения характеризуют границы периодов  $z_T^D$  и  $z_X^D$ , в течение которых логично поддерживать следующие экономически целесообразные нормативные температуры:  $t_{i,X}^D$  является (по ГОСТ 30494-96) минимальной температурой из оптимальных (допустимых) для холодного периода, а  $t_{i,T}^D$  – максимальной температурой из допустимых (но не выше разрешенных по СНиП КР 23-01: 2013) для теплого периода.

На основе вышеизложенного автором предложен временной показатель энергоэффективности теплового режима здания в виде  $E_{\tau,X} = (z_X - z_X^D) / z_X$  и  $E_{\tau,T} = (z_T - z_T^D) / z_T$ . Он универсален и численно характеризует степень сезонной приспособляемости любого здания к внешним и внутренним тепловым воздействиям. Чем ближе его значения к единице, тем лучше энергоэффективность теплового режима здания и наоборот. Для теоретического здания с идеальной теплозащитной способностью, имеющего  $Q_{M,T} = 0$ , указанная синусоида оказывается между вышеуказанными горизонтальными линиями, проходящими через ординаты  $t_{i,X}^D$  и  $t_{i,T}^D$ . Для такого здания  $E_{\tau,T} = E_{\tau,X} = 1$ . Следова-

тельно, все типы тепловых состояний здания, классифицированные как естественное, возмущенно-естественное и искусственное, можно оценить по формулам термической и временной энергоэффективности теплового режима.

Автором предложено понятие «теплозащитные качества» здания, представленные как совокупность таких характеристик, как: 1) объем; 2) форма; 3) ориентация по сторонам света; 4) общая площадь поверхности теплозащитной оболочки; 5) степень ветрозащитности, затененности и примыкания (к грунту, другому зданию и т.д.); 6) уровень герметичности и проветриваемости; 7) теплотехнические характеристики ограждений.

Разработана спирально-циклическая модель и методология поэтапно-последовательного совершенствования энергосберегающей архитектуры и тепловых режимов здания путем определения: I) целесообразного взаимодействия здания с окружающей средой (с позиции теплообмена, акустики, зрительного обзора, доступности чистого воздуха и др.); II) объемно-планировочных показателей на основе концепции энергоэффективной формы здания; III) энергосберегающей ориентации и целесообразных размеров здания, его помещений и ограждений (по тепловому эффекту солнечной радиации и окружающей среды); IV) энергосберегающих теплотехнических показателей наружных и внутренних ограждений. Этапы I, II и III этой методологии предполагают разработку энергосберегающей архитектуры путем повторно-циклического выбора места строительства, улучшения формы и ориентации здания, его помещений и ограждений. При этом результат IV этапа является исходным условием последующего кругового цикла решения задач по снижению энергозатрат здания, а последний цикл замыкается внутри этапа IV. Все четыре этапа совершенствования архитектуры и уровня теплозащиты здания подвержены влиянию экономических, финансовых, экологических и социальных факторов, национальных традиций и менталитета населения, а результативность их зависит от уровня знаний, опыта и эстетических вкусов как заказчика, так и исполнителей: архитектора, проектировщика и строителя.

В третьей главе рассмотрены энергоэффективные тепловые режимы обеспечения микроклимата помещений здания. Изменения среднесуточных температур наружного воздуха  $t_e$  за эталонный климатический год имитируют течение времени от сезона к сезону. Для разработки стратегии повышения энергоэффективности теплового режима здания за год удобен графический способ представления уравнения (3). Построение (рис. 1, а) графиков  $Q_c$ ,  $Q_6$ ,  $Q_0$  и  $Q_B$  в зависимости от  $t_e$  позволят получить картину сезонного изменения  $Q_M$  при  $\Delta Q \approx 0$ . Если принять как энергетически выгодную среднюю температуру воздуха, например, в жилом здании  $t_{iX}^p = 20$  °С, то прямые линии изменения  $Q_0 = k_{ср}A(t_i - t_e)$  и  $Q_B = nV_i c_v(t_i - t_e)$  в зависимости  $t_e$  сходятся при  $t_e = 20$  °С, когда  $Q_0 = Q_B = 0$ . При расчетной температуре  $t_{eX}^p$  ординаты этих прямых равны расчетным  $Q_0^p$  и  $Q_B^p$ .

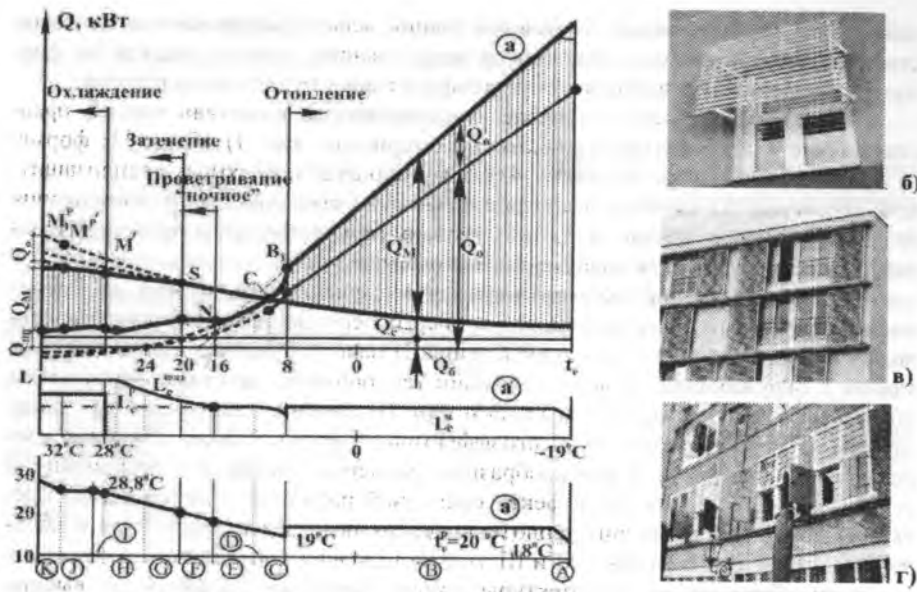


Рис. 1. Графики круглогодичных тепловых режимов здания в г. Бишкеке – линии изменения: а) потерь и поступлений теплоты; а') расхода  $L_e$ , м<sup>3</sup>/час, поступающего наружного воздуха; а'') температуры  $t_i$  внутреннего воздуха; устройства затенения окон: б) – стационарные; в) – мобильные; г) универсальные ставни-ветроуловители

После построения графиков  $Q_0$  и  $Q_B$  можно нанести линии, относящиеся к суммарным потерям ( $Q_0 + Q_B$ ) и поступлениям ( $Q_C + Q_M$ ) теплоты. Разницы этих сумм характеризуют  $Q_M$ .

Характер линий потерь ( $Q_0$  и  $Q_B$ ) и поступлений ( $Q_C$  и  $Q_M$ ) теплоты позволяет определить наиболее результативные пути и меры реализации, во-первых, выше описанной спирально-циклической методологии улучшения энергосберегающей архитектуры и теплозащитных качеств здания, во-вторых, энергоэффективных тепловых режимов в целях минимизации годового расхода энергии на отопление, охлаждение и вентиляцию. Достижение этой цели сводится к решению наглядной «геометрической» задачи – требуется шаг за шагом уменьшать площади заштрихованных зон графика. Вышеизложенную наглядную «геометрическую» методологию повышения энергоэффективности теплового режима здания выражает предложенная автором концепция «ножниц» графиков суммарных потерь и поступлений теплоты. Точка их пересечения С является осью этих «ножниц» (см. рис. 1, а). При идеальной энергосберегающей архитектуре здания эти «ножницы» замкнуты вокруг этой оси, поскольку как для холодного, так и теплого периода года  $Q_M = 0$ .

Следует сначала определить вид и положение «ножниц», т.е. выбрать энергосберегающие теплозащитные качества здания, затем решать задачи дальнейшего снижения энергозатрат, чтобы максимально замкнуть эти «ножницы». Базовые «ножницы» уже энергоэффективны, если графики  $Q_B$  и  $Q_0$  относятся, например, к нормативно допустимым кратностям воздухообмена (рис. 1, а'), экономически целесообразным значениям  $k_{cp}$  и расчетным температурам внутреннего воздуха (рис. 1, а''). Далее для каждого диапазона изменения  $t_e$  выбирается более приемлемый и энергоэффективный тепловой режим с целью минимизации  $Q_M$ .

В диапазоне А и К по СНиП-КР 23-01: 2013 допустимо незначительное отклонение  $t_i$  от ее нормативных значений. В зоне искусственного охлаждения К и J кондиционером днем подается минимальный расход охлажденного воздуха при использовании ночного охлаждения помещений за счет естественного проветривания с расходом воздуха  $L_e^{max}$ . Причем в зонах F, H и G расход  $L_e$  принимается переменным в зависимости от степени требуемого естественного охлаждения. При повышении  $t_i$ , начиная с зоны G, уже требуется затенение окон мобильными устройствами при их максимальном эффекте в зонах I, J и K.

Неудачная архитектура здания, в частности неэнергоэффективная его ориентация в отношении солнечных лучей и ветра, требует устройства энергосберегающих заграждений у ограждений. На рис. 1 стационарные (б) и мобильные (в) устройства солнцезащиты окна на восточном и западном фасаде имеют высокую стоимость и сложны в эксплуатации; на рис. 1, г ставни, используемые для ночного энергосбережения и улучшения микроклимата зимой, применяются также как ветроуловитель для проветривания помещений летом.

В четвертой главе рассмотрены особенности, пути и варианты оптимизации теплового эффекта солнечной радиации и окружающей среды на здание.

В основу реализации этой задачи положена имитационная тепловая модель здания, выраженная зависимостью (2). Для отопительного периода со средними показателями  $t_i$ ,  $t_e$ ,  $z_j$  и  $n$  диктующей выступает задача снижения потерь теплоты  $Q_0$ ,  $Q_B$  и увеличения  $Q_C$ , а в жаркий период лета – снижение  $Q_C$  и других поступлений теплоты. Рассмотрим возможности оптимизации теплового эффекта окружающей среды для холодного периода по зависимостям

$$Q_0 = k_{cp} A \Sigma [(t_i - t_{ej}) z_j], \text{ Вт}\cdot\text{ч}, \quad (13)$$

$$Q_B = n V_i c_v [(t_i - t_{ej}) z_j], \text{ Вт}\cdot\text{ч}. \quad (14)$$

На основе этих формул можно получить

$$Q_0 + Q_B = (k_{cp} A + n V_i c_v) D d, \text{ Вт}\cdot\text{ч}. \quad (15)$$

Градусо-сутки расчетного отопительного периода  $Dd = (t_i - t_{ej}) z_j, ^\circ\text{C}\cdot\text{сут.}$ , относящиеся к зданиям с нормативной  $t_i = 20 ^\circ\text{C}$ , автором представлены

на карте Кыргызстана в виде изолиний. Рекомендуется ее использовать при разработке энергосберегающей архитектуры, определении конструктивной концепции зданий и прогнозировании их теплотребления. Снижения  $Q_0$  и  $Q_B$  можно добиться при уменьшении главных составляющих правой части формул (13) и (14), кроме климатических параметров  $t_{ej}$  и  $z_j$ . Значительный потенциал кроется в возможности принятия энергетически целесообразных, но не ниже нормативных значений объема  $V_i$  и температуры внутреннего воздуха  $t_i$ , кратности воздухообмена  $n$ . Поэтому недопустимо распространенное энергосбережение в зданиях путем уменьшения  $t_i$ ,  $z_j$ ,  $n$ , и  $V_i$  ниже нормативных.

Важно сосредоточить усилия на мерах снижения  $k_{ср}$ . Согласно второй имитационной математической модели здания, теплозащитную способность оболочки, состоящей из  $n$ -ного количества наружных ограждений, рекомендуется характеризовать через средний коэффициент теплопередачи

$$k_{ср} = \sum (f_n b_n k_n), \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С}). \quad (16)$$

Эта зависимость получена по условиям стационарного потока теплоты через все  $n$  наружные ограждения при условно принятом одинаковом температурном напоре  $t_i - t_e$ . Ставится задача экономически целесообразного снижения геометрических  $f_n$ , температурных  $b_n$  и теплотехнических  $k_n$  показателей наружных ограждений. Причем для замкнутой оболочки любого здания справедлива математическая запись в виде  $\sum (A_n / A) = \sum f_n = 1$ . Следовательно, для снижения  $k_{ср}$  теоретически по формуле (16) требуется комплексный подход – добиться для каждого ограждения снижения  $k_n$ ,  $b_n$  и  $f_n$ . На практике принято снижать  $k_n$  за счет улучшения теплозащитных способностей материальных слоев ограждающих конструкций.

Создание энергосберегающих ограждений у ограждений позволяет снизить показателя  $b_n$ . Наружные ограждения отапливаемой зоны здания могут примыкать к грунту, холодному подвалу, веранде, другому зданию или воздушному пространству. Для расчета передачи теплоты через эти ограждения действительный температурный напор  $(t_i - t'_e)$  можно заменить расчетным в виде  $(t_i - t_e)b$ , где поправка  $b = (t_i - t'_e)/(t_i - t_e)$  является температурным показателем теплового эффекта окружающей среды. Условие  $b > 0$  указывает на потери теплоты через примыкающее ограждение. При  $b = 1$  ограждение имеет непосредственный контакт с наружным воздухом. Если  $b < 0$ , поток теплоты направлен в сторону помещения от примыкающей зоны. Степень снижения  $b_n$  характеризует энергоэффективность экономически приемлемых архитектурно-планировочных и конструктивных решений, касающихся оболочки здания.

Особенности сложных процессов теплового эффекта  $Q_c$  изучены за счет вычислительных исследований и натурных экспериментальных измерений.

Разработанная компьютерная программа расчета (на языке «Turbo-Pascal») позволяет определить текущие и интегральные значения интенсивности потока суммарной, прямой, рассеянной и отраженной солнечной радиации, поступающей на поверхность любой ориентации и любого наклона для любого часа календарного дня, количества суток и сезона года. Расчеты ведутся для любой географической широты местности на любой высоте над уровнем моря с учетом загрязнения атмосферы и статистической облачности неба. В программу расчета заложены соотношения продолжительностей наблюдения облачного и безоблачного неба среднего дневного периода суток каждого месяца для 13 наиболее важных населенных пунктов Кыргызстана (такие данные имеются и для 54 метеорологических пунктов России). Для этих целей используются соответствующие графические годовые структуры погоды, представленные на географических атласах. Приемлемая достоверность результатов расчета интенсивности суммарной солнечной радиации для безоблачного неба и неба со статистической облачностью подтверждена тем, что их погрешность по сравнению с данными СНиП «Строительная климатология» (табл. 1) не превышает  $\pm 7\%$ .

Таблица 1. – данные расчета и СНиП среднесуточной суммарной солнечной радиации, поступающей на вертикальные поверхности при статистической облачности неба г. Бишкека (с  $42^\circ 51'$  с. ш.)

Месяцы года	Погрешности и интенсивность суммарной солнечной радиации, МДж/м <sup>2</sup> , поступающей на вертикальную плоскость, обращенную на:					
	восток			запад		
	в СНиП	результаты расчета	погрешность, %	в СНиП	результаты расчета	погрешность, %
Июнь	13,83	13,60	-1,69	12,84	13,59	5,87
Июль	14,17	13,77	-2,84	13,65	13,79	1,05
Август	12,67	11,92	-5,88	12,51	12,03	-3,84
Средние	13,55	13,09	-3,39	13,00	13,13	1,00

Обычно наблюдаются преобладающие ночное охлаждение и дневное нагревание ограждений. Их динамика изучена на основе опытных измерений в двухэтажном доме в г. Бишкеке (рис. 2).

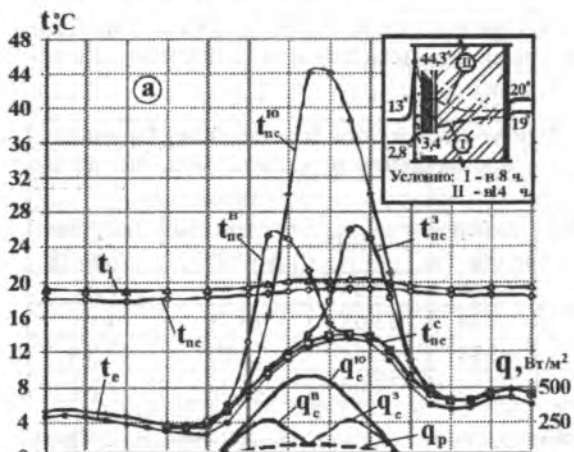


Рис. 2. Энергоэффективный дом с солнечным нагреванием и ночным охлаждением вертикально-сквозным проветриванием и длинноволновым облучением небосвода

Разработана энергосберегающая архитектура, позволяющая максимально привлечь энергию окружающей среды и солнечной радиации: осуществляется зимой пассивное солнечное нагревание, летом – ночное охлаждение вертикально-сквозным проветриванием и длинноволновым облучением небосвода.

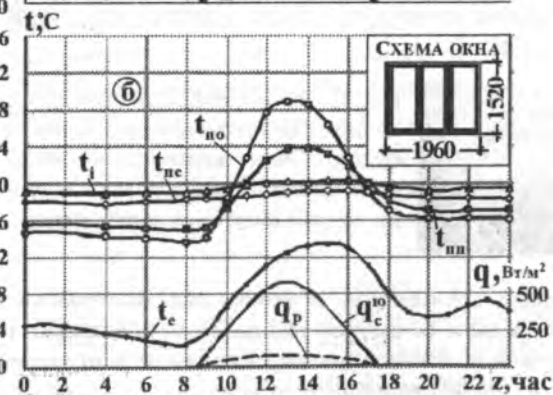
С этих позиций здание имеет значительные площади окон на южном фасаде, башню-уловитель ночного горного бриза, открывающиеся окна и двери. Наружные стены с внешней стороны под цементно-песчаной штукатуркой (толщиной 15...25 мм по металлической сетке) имеют слои теплоизоляции из пенопласта в 50 мм и минеральной ваты в 20 мм. Пол открытой обзорно-рекреационной террасы интенсивно охлаждает потолок второго этажа ночным длинноволновым излучением небосвода, имеющего низкую условную температуру. Принятые идеи энергосберегающей архитектуры изучены на практике и подтверждены натурными измерениями.

Осуществлены долгосрочные и краткосрочные (со 2 по 12 января 2010 г.) исследования при бесконтактном измерении температуры на поверхностях (как автоматически усредненные температуры в 12 точках) инфракрасным термометром Fluke 68 (наряду с приборами Testo 435 и Testo 445). Приборы имеют сертификат соответствия, достаточное быстродействие и высокую точность с погрешностью показания на дисплее  $\pm 0,1$  °C. Измерения проводились в течение 4...5 мин через каждый час.



Поступление утром (безоблачного дня 12.01.10 г.) рассеянной, затем и прямой солнечной радиации на поверхности Ю и В стен (ориентированных на юг и восток) вызывает повышение температуры на них (рис. 3, а).

Рис. 3. Результаты натурных измерений (в безоблачный 12.01.10 г.) и расчетные интенсивности солнечной радиации на: а) наружных стенах; б) окне Ю фасада многоквартирного дома в г. Бишкеке (с  $42^{\circ} 51'$  с. ш.). Обозначения:  $t_i$  и  $t_e$  – температуры внутреннего и наружного воздуха;  $t_{nc}$ ,  $t_{пo}$  и  $t_{пп}$  – то же, на внутренней поверхности наружной стены, стекла и переплета окна;  $t_{пc}^{10}$ ,  $t_{пc}^B$ ,  $t_{пc}^3$  и  $t_{пc}^c$  – то же, на наружной поверхности стен Ю, В, З и С фасада;  $q_c^{10}$ ,  $q_c^B$ ,  $q_c^3$  и  $q_c^c$  – то же, интенсивности суммарной и  $q_c$  – рассеянной солнечной радиации



Способствует этому и повышение  $t_e$ . Как видно, темп повышения  $t_{пc}^B$  на В стене выше, чем  $t_{пc}^{10}$  на Ю стене. Около полудня солнечного времени (установлено, что оно опережает декретное на 47 мин и графики построены по часам декретного времени) температура на поверхности  $t_{пc}^{10}$  максимальна (см. рис. 3, а) и равна  $44,3$  °C при температуре наружного воздуха  $13$  °C. Максимальная температура на В стене ( $25,8$  °C около 11 ч 10 мин) ниже, чем на З стене ( $26,6$  °C около 15 ч 20 мин) из-за дополнительного теплового эффекта при более высокой  $t_e = 14,2$  °C. Темп падения  $t_{пc}^{10}$  после полудня меньше, чем у  $t_{пc}^B$ .

Темп снижения  $t_{пc}^c$  на С стене ниже, чем у  $t_e$  из-за тепловой инерционности массы поверхностных слоев стены. Дневное повышение температуры (до  $44,3$  °C на Ю стене) на поверхностях ограждений вызывает значительный сток (идея его использования заложена в основу патента автора на изобретение) аккумулированной теплоты солнечной радиации и окружающей среды. У С стены наблюдается увеличение стока теплоты в окружающую среду приблизительно с 15 до 20 ч 20 мин до начала повышения  $t_e$ . Он уменьшается приблизительно с 21 до 23 ч вследствие повышения температуры наружного воздуха от  $5,3$  °C до  $7,5$  °C. Ночью разница между  $t_{пc}^c$  и  $t_e$  более стабильна и равна  $0,5...0,8$  °C.

Другая серия исследований посвящена изучению динамики теплового взаимодействия окна (с тремя слоями обычного стекла толщиной 4 мм с воздушными прослойками в 8 мм и пятью камерными металлопластиковыми профилями), ориентированного на юг, с внутренней средой на основе аналогичных бесконтактных измерений температур на его поверхностях, обращенных в сторону интерьера. На рис. 3, б представлены графики автоматически усредненных (прибором Fluke 68) температур в 12 точках, лежащих на продольной срединной оси: 1) каждого из трех листов стекла; 2) двух средних профилей переплета; 3) горизонтальных и вертикальных профилей, примыкающих к конструкции стены. Выявлено, что это окно около полудня солнечного времени при безоблачной и безветренной погоде выступает как конвективно-лучистая панель системы отопления. Причем «порог чувствительности»  $\dot{q}_{c,ч}$  (см. главу 2) в данных условиях соответствует интенсивности суммарной солнечной радиации, равной  $257$  Вт/м<sup>2</sup>. Конвективная теплоотдача остекления наблюдается приблизительно с 10 ч 10 мин до 16 ч 40 мин, а профилей – с 11 ч 10 мин до 17 ч 10 мин, когда температура на их поверхностях выше температуры воздуха  $t_i$ . Сдвиг этого промежутка времени и более низкие значения  $t_{пп}$ , чем у  $t_{пo}$ , вызваны в основном более высокой массовой теплоемкостью и кондуктивной теплоотдачей профилей примыкающей конструкции стене. В ночное время это окно представляет собой обширное «теплопроводное включение» в стене. С момента перехода «дневного» режима на «ночной» восходящие конвективные воздушные струи у рассматриваемых поверхностей становятся нисходящими.

Эффективность пассивных способов солнечного нагрева здания изучена на основе компьютерных вычислений и соответствующих графиков членов уравнения (3) при  $\Delta Q \approx 0$ . Выявлено, что массивная стена с двойным остеклением при невентилируемой воздушной прослойке и окнами на южном фасаде трехэтажного дома в виде куба позволяет снизить сезонный расход теплоты на

отопление здания в условиях г. Новосибирска на 30,6 %, в г. Кызыл-Кии – на 49,3 % (при долях, приходящихся на окна, соответственно, 6 % и 14,6 %).

В течение отопительного периода 2003-2004 гг. испытана экспериментальная установка пассивного солнечного отопления двухкомнатного дома в г. Бишкеке через остекленную (10,4 м<sup>2</sup>) глинобитную стену южного фасада. Натурные измерения, наблюдения и опрос жителей показали, что солнечно-активная стена позволила, во-первых, улучшить микроклимат, во-вторых, снизить сезонный расход теплоты на отопление здания на 30...40 %. Для предотвращения перегрева помещения (в июне-августе месяцах) крайние остекленные створки из деревянных рам накладываются на центральные для затенения стены за счет натянутой серебристой полиэтиленовой пленки между ними.

В пятой главе представлены особенности вычислительной оптимизации теплозащитной способности оболочки и создания энергосберегающей архитектуры здания.

Выбор теплозащитной способности оболочки здания оказывается обоснованным, если установлены теоретические ориентиры – ее максимальный, минимальный, нормативный и экономически целесообразный уровни. Например, одним из возможных пожеланий заказчика может быть проект здания с максимально возможной теплозащитой, исключающей привлечение искусственных источников энергии на отопление. Тогда имитационная математическая модель здания по выражению (2) и (3) для заданных условий  $Q_M = 0$  и  $\Delta Q \approx 0$  показывает, что  $Q_G + Q_C - Q_O - Q_B = 0$ . На основе этого уравнения и формулы (13) выведена зависимость для предельно высокой теплозащитной способности оболочки здания в виде

$$k_{ср}^{\min} = \frac{Q_G + Q_C - Q_B}{A \Sigma [(t_i - t_{ej}) z_j]} \cdot \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}). \quad (17)$$

Реализация  $k_{ср}^{\min}$  на практике требует больших капитальных затрат на создание наружных ограждений с теплоизоляционным слоем значительной толщины  $\delta_{ИЗ}$ , мм. На основе вычислительных исследований установлено, что графическая зависимость коэффициента теплопередачи (рис. 4) любого ограждения  $k_n$  от  $\delta_{ИЗ}$  имеет более крутую ниспадающую экспоненту, чем у  $k_{ср}$  оболочки любого здания. На примере ограждения, представленного на рис. 3, а, график  $k_{ср}$  показывает, что увеличение  $\delta_{ИЗ}$  от 50 до 100 мм дает такой же прирост  $k_{ср}$  [ $\Delta k = 0,272 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ], как при дальнейшем увеличении ее от 100 до 580 мм. Расчеты для условий г. Бишкека [при  $Dd = 2960 \text{ (°C} \cdot \text{сут.)}$ ] показали, что увеличение  $\delta_{ИЗ}$  (рис. 3, а) на 10 мм выше его значения  $\delta_{ИЗ} = 21 \text{ мм}$  дает такое же снижение сезонных потерь теплоты (равное  $19,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ ), как при увеличении  $\delta_{ИЗ}$  аж на 480 мм, выше значения  $\delta_{ИЗ} = 100 \text{ мм}$ . Если назовем критической толщиной  $\delta_{ИЗ}^{\text{кр}} = 100 \text{ мм}$ , то эти данные означают, что в закритической

зоне требуется в 48 раз большее увеличение  $\delta_{ИЗ}$ , чтобы получить тот же эффект теплозащиты, равной  $19,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ .

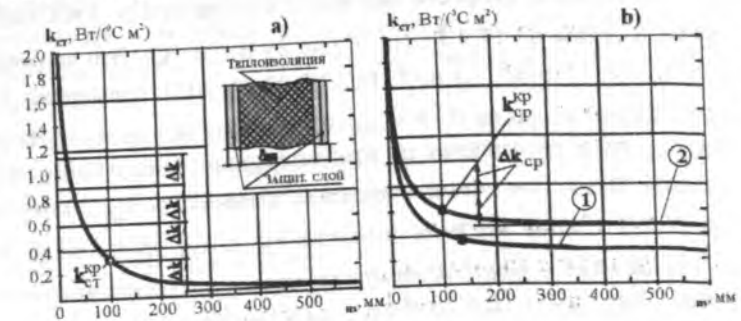


Рис. 3. Влияние толщины слоя теплоизоляции наружной стены на ее коэффициент теплопередачи  $k_{ср}$  и оболочки  $k_{ср}$  трехэтажного дома в виде куба: линия 1 – при коэффициенте теплопередачи других ограждений  $k_n = k_n^H$  (по СНиП 23-02-2003); линия 2 – при  $k_n = 0,5 k_n^H$

Аналогичный график 1 на рис. 3, б, построенный для  $k_{ср}$  трехэтажного жилого дома в виде куба в г. Бишкеке, имеющего нормативные  $k_n$  других ограждений, показал, что для наружной стены критический  $k_{ср}^{\text{кр}}$  достигается при толщине  $\delta_{ИЗ}^{\text{кр}}$ , которая значительно больше той толщины, которой соответствует  $k_{ср}^{\text{кр}}$  оболочки здания. Следовательно, существуют критические значения  $k_n^{\text{кр}}$  и  $k_{ср}^{\text{кр}}$ , ниже которых дальнейшее их снижение за счет увеличения  $\delta_{ИЗ}$  экономически нецелесообразно. Целесообразно принимать экономически выгодную величину  $k_{ср}$ , чтобы создать менее дорогостоящее здание, имеющее  $k_{ср} > k_{ср}^{\text{кр}}$ . Требуются значительные затраты на устройство «хвостовых» значений  $\delta_{ИЗ}$  для снижения «хвостовой» доли потерь теплоты  $Q_O$  здания. На основе специальных вычислений установлено, что эти доли потерь составляют обычно лишь 10...15 % от годовых. Отсюда следует, что указанное «нулевое» потребление (когда  $Q_M = 0$ ) практически недостижимо, поскольку имеются значительные потери теплоты на вентиляцию  $Q_B$ . Согласно формуле (17), решение этой задачи ближе к реальности, если удастся значительно снизить  $Q_B$  (при приточной и вытяжной систем механической вентиляции с утилизацией теплоты уходящего воздуха), увеличить  $Q_C$  и имеются большие  $Q_G$ .

Вычислительными исследованиями изучено влияние коэффициентов теплообмена у внутренней  $\alpha_i$  и внешней  $\alpha_e$  поверхности наружных ограждений на  $k_n$  и  $k_{cp}$ . Повышение скорости наружного воздуха от 1 до 4 м/с увеличивает  $\alpha_e$  наружной стены от 17,4 Вт/(м<sup>2</sup>·°С) до 29 Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Это вызывает, при постоянном  $\alpha_i = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) по СНиП КР 23-01: 2013, повышение  $k_{cp}$  вышеуказанного здания всего на 0,73 % [от 0,408 Вт/(м<sup>2</sup>·°С) до 0,411 Вт/(м<sup>2</sup>·°С)]. Увеличение  $k_{cp}$  из-за повышения  $\alpha_i$  относительно больше, но остается также незначительным вследствие превалирующего влияния на  $k_{cp}$  материальных слоев ограждений. Самые высокие значения  $k_n$  и  $k_{cp}$  имеет теоретическое здание с ограждениями с минимальными термическими сопротивлениями указанных слоев ( $\delta_n/\lambda_n \approx 0$ ). При этом  $k_n = \alpha_{e,n} \alpha_{i,n} / (\alpha_{e,n} + \alpha_{i,n})$  и

$$k_{cp}^{\max} = \sum [f_n b_n \alpha_{e,n} \alpha_{i,n} / (\alpha_{e,n} + \alpha_{i,n})], \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)}. \quad (18)$$

Рассмотрим трехэтажное здание в виде куба высотой 9,7 м с долей общей площади окон от площади фасадов 0,18 и наружной дверью 2,1 м x 2,0 м. Если его наружные ограждения имеют  $b = 1$ , то по формуле (16) получим

$$k_{cp} = 0,542k_{CT} + 0,004k_{ДВ} + 0,12k_{ОК} + 0,167k_{Пл} + 0,167k_{ПК}, \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)}. \quad (19)$$

Как видно, значение произведения  $f_n b_n$  выступает как показатель «важности» данного ограждения среди остальных в решении задачи оптимизации величины  $k_{cp}$ . Если у всех ограждений  $k_n$  приблизительно равны, то снижение  $k_{CT}$  дает наибольшее снижение  $k_{cp}$ , поскольку указанное произведение для наружной стены наибольшее – 54,2 %.

Выбор  $k_{cp}$  рассматриваемого здания следует осуществлять по условиям, во-первых, когда  $k_{cp}^{\min} < k_{cp} < k_{cp}^{\max}$ , во-вторых –  $k_{cp} \leq k_{cp}^H$ . Предложенный методический подход сопоставления идеальных и реальных показателей теплозащиты ограждений и оболочки здания позволяет минимизировать энергопотребление при обеспечении ими требуемого уровня экономичности, долговечности, теплоустойчивости, сопротивления воздухо- и паропроницанию, а также условий предотвращения увлажнения, намокания и появления плесени.

Решена задача разработки энергосберегающей архитектуры путем вычислительной оптимизации выбора целесообразных размеров и мест расположения окон и устройств их затенения по условиям минимизации  $Q_M$  для холодного и теплого периода. Специально разработанная компьютерная программа позволила определить тепловой эффект затенения рассматриваемого ограждения любой ориентации для любого часа, любого безоблачного календарного дня года. Учитывается и месячная статистическая облачность неба. Для здания в г. Бишкеке рассмотрены различные варианты затенения окна, ориентированного на

юг, восток, запад, юго-восток и юго-запад и имеющего остекленную зону размером 2 м x 1,8 м. Для сравнения построены графики  $Q_C$  в зависимости от изменения ширины устройств затенения (перпендикулярных к фасаду) от 0,5 м до 1 м через каждые 0,1 м. Максимальное снижение  $Q_C$  наблюдается при установке верхне-горизонтального и двух вертикальных устройств у краев окна. При их ширине 0,8 м за июнь, июль и август  $Q_C$  снижается на 92 %, но за отопительный период нежелательное снижение  $Q_C$  также значительно – 53 %. Более оптимальным оказалось указанное сочетание устройств при их ширине 0,6 м, позволяющее снизить  $Q_C$  за отопительный период лишь на 14 %, а за указанные три жарких месяца – на 87 %. Вывод: размеры, места размещения и материал этих устройств следует выбрать по круглогодичным условиям затенения. Следует учитывать также их попутный эффект, вызывающий суточное лучисто-конвективное охлаждение и нагревание прилегающих зон окна и фасада.






Выдвинутая идея создания энергосберегающей архитектуры предполагает, в частности, выбор целесообразной формы здания. Установлено, что для вариантов зданий с одинаковым объемом  $V_e$ , но различными формами предложенный показатель  $E_S$  по формуле (8) имеет прямолинейную зависимость от удельной площади внешней поверхности оболочки  $a = A/V_e, \text{ м}^{-1}$ . Использование выражений  $a$ ,  $A$  и  $V_e$  для теоретического здания в виде сферы позволило по формуле (8) вывести расчетную зависимость для здания любой формы

$$E_S = 0,2068 a \sqrt[3]{V_e - 1}. \quad (20)$$

Она удобна для архитектора и проектировщика, поскольку не содержит геометрических показателей сравниваемого здания в виде сферы.

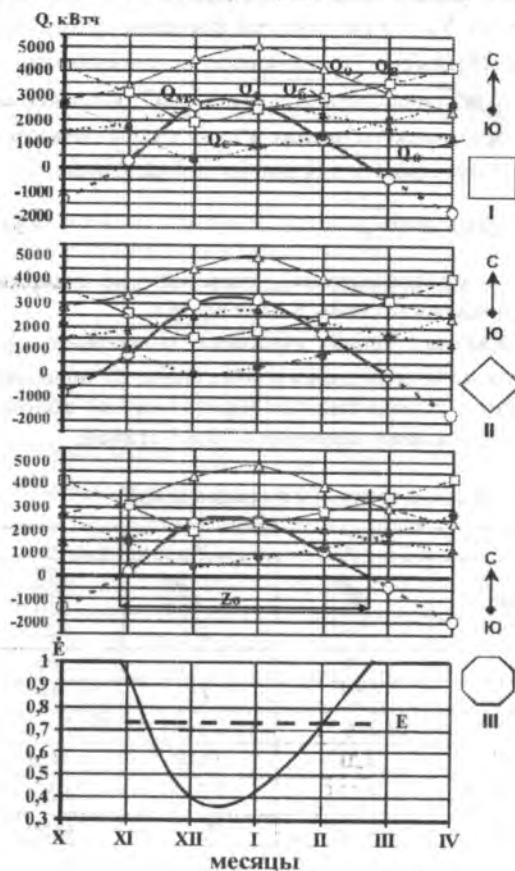
Сопоставление значений  $E_S$  обычных зданий, имеющих одинаковые объемы 10300 м<sup>3</sup>, как у девятиэтажного крупнопанельного дома (табл. 2), показывает, что, при прочих равных условиях, потери теплоты через оболочку соответственно на 10 % и 16 % меньше, чем у здания, имеющего 18 и 5 этажей.

Таблица 2 – теоретический потенциал  $E_S$  улучшения формы зданий

№ здания	1	2	3	4	5
Показатели зданий					
Этажность	-	7	9	5	19
Высота, м	27	21,76	27	15	54
План, (а x в), м	D=27	21,76 x 21,76	11,2 x 34,1	11,2 x 61,3	11,2 x 17,0
Площадь, А, м <sup>2</sup>	2289	2841	3207	3548	3426
$a = A/V_e, \text{ м}^{-1}$	0,222	0,276	0,311	0,344	0,332
$E_S$	0	0,24	0,40	0,55	0,50

У семизэтажного здания в виде куба эти потери на 16 % меньше, чем у девятиэтажного здания. В свою очередь, здание в виде куба (с  $E_S=0,24$ ) имеет на 24 % больше потерь теплоты, чем у сравниваемого теоретического здания.

Концепция энергосберегающей архитектуры здания предполагает взаимосогласованное изменение составляющих зависимости (3) для снижения  $Q_M$ . Вычислениями исследованиями изучена энергоэффективность теплового режима компактных трехэтажных жилых зданий (рис. 4), имеющих одинаковые объемы  $V_e = 912,7 \text{ м}^3$  и различные варианты формы и ориентации. Приняты одинаковыми конструкции и площади двухслойных остеклений окон ( $60 \text{ м}^2$ ) и массивных стен на фасадах с южной стороны. Из I и II вариантов зданий, имеющих одинаковые формы, но различные ориентации, эффективнее I вариант, позволяющий обеспечить значительное пассивное солнечное нагревание при статистической облачности неба. Наибольшую реальную продолжительность периода отопления имеет II вариант здания (135 сут., что все же меньше расчетной продолжительности 150 сут.), а наименьшую – III вариант (111 сут.).



Она для I варианта здания с наибольшим солнечным нагреванием оказалась (115 сут.) больше, чем у III варианта, имеющего лучшей энергоэффективности формы  $E_S$ . Этим установлено, что увеличение  $Q_C$  за счет выбора соответствующей формы и ориентации может привести к увеличению потерь теплоты  $Q_O$  и наоборот. Количественной мерой текущей и сезонной энергоэффективности теплового режима здания служат соответствующие показатели  $\dot{E}$  и  $E$ , что на рис. 4 наглядно отражено для III варианта здания.

Рис. 4. Динамика изменения потерь ( $Q_O$ ,  $Q_B$ ) и поступлений ( $Q_Bo$ ,  $Q_C$  и  $Q_M$ ) теплоты и энергоэффективности ( $\dot{E}$ ) теплового режима зданий различной формы и ориентации

Запись  $0 \leq \dot{E} < 1$  характеризует границы и продолжительность отопительного периода (см. рис 4). Условие  $\dot{E} = 1$  соответствует «нулевой», а минимальные значения  $\dot{E}$  – максимальной подаче теплоты системой отопления.

Предложенная методология повышения энергоэффективности теплового режима здания реализована на примере решения задач по оптимизации теплозащиты оболочки здания и созданию энергосберегающей архитектуры путем снижения показателя  $E_S$ , повышения текущих  $\dot{E}$  и средних значений  $E$ .

Шестая глава посвящена особенностям практического опыта создания энергосберегающей архитектуры и повышения энергоэффективности теплового режима зданий при их проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации.

В 1996 г. при участии автора осуществлена (рис. 5, а) энергосберегающая реконструкция девятиэтажного крупнопанельного жилого здания 105 серии по адресу: г. Бишкек, микрорайон «Асанбай», д. 9. Были теплоизолированы наружные стены, покрытие (слоем пенопласта толщиной 50 мм) и трубопроводы, установлены у каждого нагревательного прибора термостатические клапаны и электронные счетчики теплоты, а в тепловом пункте здания – теплосчетчик системы отопления и регулятор температуры воды на подающем трубопроводе, работающий по сигналу датчика температуры наружного воздуха.

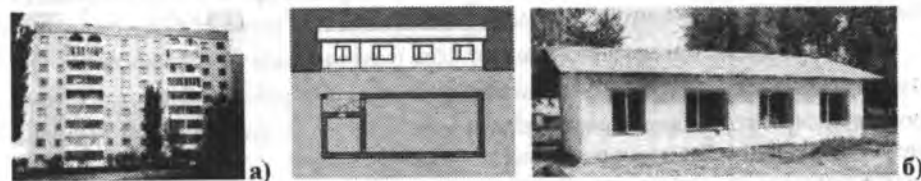


Рис. 5. Реконструированное девятиэтажное жилое здание (а) и построенное пассивное здание с ограждениями из соломенных тюков (б)

Измерены температура воздуха и расход теплоты в этом и контрольном здании, имеющем идентичные размеры, конструкции и ориентацию. В отопительный период 1996-1997 гг. расход теплоты на отопление опытного здания составил 14,4 МВт·ч, контрольного – 20 МВт·ч. В помещениях квартир в опытном здании температура воздуха была около 20 °С, в контрольном – 18 °С. Соответственно, в контрольное здание требуется дополнительно подавать около 2,7 МВт·ч теплоты, чтобы обеспечить  $t_i$ , равную 20 °С. За расчетный отопительный период экономия теплоты внешней теплоизоляцией наружных стен составляет 25 % – около 5,27 МВт·ч/год при снижении отрицательного эффекта угловых тепловых мостов путем закругления углов этих стен. При этом общее энергосбережение за счет повышения теплового режима здания составляет 40 %, равной 8,3 МВт·ч/год, при сроке окупаемости затрат 4...5 лет.

В горных регионах Кыргызстана многоквартирные частные дома имеют наружные ограждения, у которых сопротивление теплопередаче в 1,4...2,8 раза

ниже, чем нормативное. Это вызывает перерасход теплоты на отопление и вентиляцию на 30...65 % при значительном удельном годовом потреблении теплоты в пределах 450...650 кВт·ч/м<sup>2</sup> площади пола. Теплоизоляция наружных ограждений этих зданий с использованием местных материалов окупается за 1,5...2 года. При участии автора и его студентов в 2002-2004 гг. осуществлены различные типы внешней теплоизоляции наружных ограждений более 20 индивидуальных домов в районах, где наблюдаются холодная и продолжительная зима и жаркое лето. В шести из них экономия теплоты на отопление, составляющая около 45...65 %, определена путем сравнения результатов натуральных измерений, осуществленных в течение двух отопительных сезонов до и после такой теплоизоляции. До реконструкции температура внутреннего воздуха  $t_i$  снижалась часто до 13...15 °С. После дополнительной теплоизоляции наружных стен, пола и покрытия, переустановки окна с северного фасада на южный, а также обучения членов семьи основам печного отопления температура  $t_i$  стала более приемлемой и стабильной, а подача теплоты  $Q_M$  – более низкой и адекватной изменениям  $t_e$ . Измерениями установлено, что до реконструкции в период летнего перегрева  $t_i$  повышалась до 29...31 °С. После нее за счет улучшенной теплозащиты, устройств затенения окон и интенсивного ночного охлаждения помещений сквозным проветриванием горным бризом обеспечивается благоприятный микроклимат, а  $t_i$  самоуставливается ниже 27 °С.

Вычислительные и технические способы решения задачи минимизации  $Q_M$  путем снижения  $Q_0$ ,  $Q_B$  и оптимизации влияния  $Q_C$  реализованы при планировании, проектировании, строительстве (в 2003 г.) и эксплуатации экспериментально-демонстрационного многофункционального здания (рис. 4, б) с ограждениями из сильно прессованных соломенных тюков (с учетом приемлемой долговечности, пожаробезопасности и защиты от грызунов) в с. Бала-Аилчи Московского района в Чуйской долине. Деревянно-каркасное здание имеет зал и кабинет (с размерами в плане 11,5 м x 6 м и 4 м x 2 м. Суточные и сезонные тепловые режимы зала, имеющего три пластиковых окна общей площадью 11,2 м<sup>2</sup> с двойным остеклением на продольном южном фасаде, улучшены благодаря пассивному контролю  $Q_C$ . При проектировании рассматривалось естественное тепловое состояние зала согласно формуле (10). Осуществлена вычислительная оптимизация  $Q_C$ : для теплого периода организовано максимальное затенение окон; для холодного периода минимизировано их затенение. Найдены целесообразные размеры и места размещения окон. В частности, определены энергосберегающие уровни верхней и нижней границы остекления относительно уровня кромки двускатной крыши, отбрасывающей тень на фасад. Разработанный пакет компьютерных программ позволил построить оптимизационные семейства графиков (рис. 6) величин, касающихся теплового режима здания. С учетом статистической облачности неба рассчитаны интенсивности поступающей суммарной солнечной радиации для вариантов изменения вылета кромки кровли от 0,5 м до 1 м через каждые 0,1 м при различных уров-

нях верха и низа окон. Определен энергетически выгодный и конструктивно приемлемый вылет кромки кровли, равный 1 м, при возвышении этой кромки над уровнем верха остекления в 0,86 м и высоте остекленной части окон 1,65 м. Снижение  $Q_C$  в июне, июле и августе составляет, соответственно, 51,6 %, 51,2 % и 30,6 %. Для расчетного холодного периода (с 8 октября до 11 марта) достигнуто минимальное затенение окон – общее поступление  $Q_C$  уменьшено лишь на 7 %.

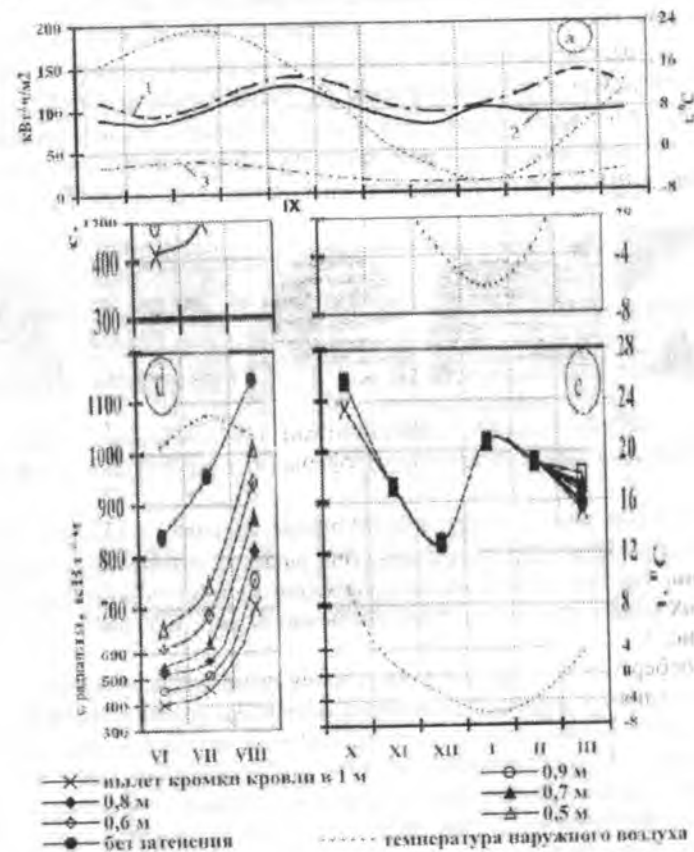


Рис. 6. Динамика изменения теплоты поступающей среднемесячной солнечной радиации на окно южного фасада: а – на 1 м<sup>2</sup> его площади – линии: 1 и 2 – без учета и с учетом среднестатистической облачности неба; 3 – рассеянной радиации; б и с – при разнице уровней верха остекления окна и нижней кромки кровли в 0,56 м; д и е – то же, в 0,86 м

Натурные наблюдения подтвердили достоверность компьютерных вычислений – с 11 ноября по 17 февраля практически отсутствовало затенение



остекленной зоны окон (см. рис. 6, е), а в летом – оно максимальное (см. рис. 6, д). Осуществлено численное компьютерное решение уравнения (3) и сравнение полученных результатов рассматриваемого здания с данными аналогичного здания, имеющего обычные кирпичные стены и другие ограждения. Оптимизационные мероприятия позволили сократить продолжительность отопительного периода с 188 до 86 суток и энергозатраты на отопление на 17080 кВт·ч. При максимальном затенении окон суммарное поступление теплоты солнечной радиации за июнь, июль и август месяцы снижено на 782 кВт·ч.

На основе построенной автором диаграммы зависимости  $E_S$  от  $a$  установлено, что из рассмотренных 18 правильных многоугольников и тел вращения наименьший резерв улучшения формы  $E_S$  имеет икосаэдр – 0,062, наибольший – тетраэдр – 0,64. Кыргызская юрта (рис. 7, а) может служить эталоном формы здания с позиций целесообразной акустики, эффективности и экономичности освещения, вентиляции, нагревания и охлаждения объема при  $E_S = 0,154$ .

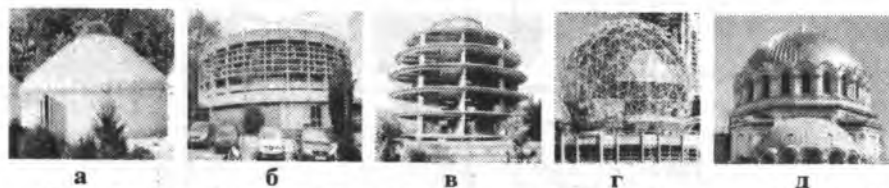


Рис. 7. Формы зданий с фрагментами тел вращения в виде юрты (а), цилиндра (б), фрагментами вытянутой сферы (в), сферы (г) и полусферы (д)

У зданий (см. рис. 7) в форме б) цилиндра  $E_S$  равна 0,143, в) с фрагментом вытянутой сферы – 0,128 и г) сферы она равна нулю. Исторические здания и сооружения как культурное наследие архитектурной мысли народов, живущих в холодных климатических условиях, обычно имеют округлые фрагменты формы (см. рис. 7, д).

Энергосберегающая архитектура зданий предполагает свести к минимуму негативное влияние тепловых мостов на здоровье и условия пребывания людей. На основе обобщения особенностей трехмерных процессов передачи теплоты, происходящих в зоне тепловых мостов, автором установлено, что тепловой мост следует рассматривать относительно внутренней поверхности наружного ограждения. Впервые предлагается автором следующее его определение: тепловой мост – это частная зона наружного ограждения с такой внутренней поверхностью, сквозь которую передача теплоты значительно больше, чем через его основную гладь. Отрицательный эффект и количество тепловых мостов снижаются, если теплозащитная оболочка и отдельные ограждения имеют неразрывные (как скорлупа яйца) слои наружной теплоизоляции, а форма самого здания, внешние и внутренние поверхности его ограждений образованы округлыми фрагментами. На рис. 8 представлены фотографии автора: а – вид плесени в углу наружных стен и потолка; способы снижения отрицательного эффекта тепловых мостов закруглением: б – внутренних и в – внешних углов здания;

примеры: г – конструктивных и архитектурных, а также д – эксплуатационных тепловых мостов. Тепловые мосты предложено автором классифицировать как архитектурные, конструктивные и эксплуатационные.



Рис. 8. Вид плесени (а), способы борьбы с тепловыми мостами (б и в), виды тепловых мостов: конструктивных и архитектурных (г), эксплуатационных (д)

Борьба с ними нацелена на предотвращение роста плесени на внутренних поверхностях ограждений, нарушения нормативных санитарно-гигиенических условий и параметров микроклимата в помещениях и снижения энергопотребления здания. Способы борьбы касаются наружных ограждений: 1) архитектурные связаны с формообразованием (углы, декоративные выступающие элементы и др.); 2) конструктивные – с наличием теплопроводных включений (встроенные ригели, колонны, перемычки и др.); 3) эксплуатационные – с местным увеличением теплопроводности материала (увлажнение, трещины и др.). Наиболее эффективна наружная теплоизоляция зон тепловых мостов. Закругленные углы не только улучшают выразительность интерьера и экстерьера, но и обеспечивают более высокие температуры на их поверхностях, вызывая улучшение условий микроклимата.

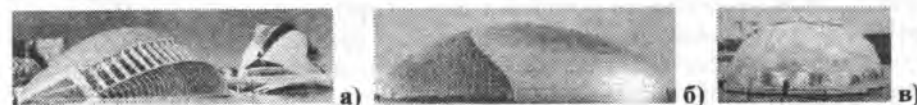


Рис. 9. Формы зданий изящных линий, напоминающие: а) глаз и воинский шлем; б) огромную каплю ртути и в) плавающие полусферы

Пластичная архитектура и минимальное количество тепловых мостов обеспечиваются при зданиях с изящной и компактной формой, если их внешность образована более естественными изящными линиями и поверхностями. К таким зданиям относятся «Рукотворная гора» Антонио Гауди в г. Барселоне (см. рис. 8, в), «Город искусств и наук» Сантьяго Калатравы и Феликса Канделы в г. Валенсия (рис. 9, а), большой национальный центр Китая Поль Эндрю в г. Пекине (см. рис. 9, б), храм науки Бруно Фрески и Александра Боака в г. Ванкувере, лондонские «Отурец» и «Улитка» Нормана Фостера, Барселонский небоскреб Жана Нувеля; «Витой» небоскреб Сантьяго Калатравы в г. Мальме, монреальская биосфера Ричарда Фуллера и Эрика Готье и др.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Установлена актуальность поставленной проблемы исследований: архитектура и теплозащитная оболочка зданий часто не приспособлены к особенностям климата, наблюдаются ненормативные теплозащита, вентиляция и инсоляция; сопротивление теплопередаче наружных ограждений в 1,4...2,8 раза ниже нормативных, перерасход энергии на нагревание и охлаждение составляют 30...65 %, а температура воздуха в помещениях доходит до 12...15 °С зимой, до 29...31 °С летом. Совершенствование архитектуры и теплозащиты зданий является мощным средством борьбы с глобальным изменением климата и истощением ископаемого топлива.

2. Предложены два вида имитационной математической модели здания, представленной как открытая термодинамическая система с сосредоточенными параметрами. Вторая из них в виде замкнутого объема обновляемого воздуха в здании явилась теоретической основой создания энергетически целесообразных вариантов его архитектуры и круглогодичного теплового режима.

3. Выдвинута теоретическая идея и определены типы и классификация тепловых состояний здания, представленных как естественное, естественно-возмущенное и искусственное; для их количественной оценки выведены расчетные формулы термической и временной энергоэффективности его теплового режима. Максимальная энергоэффективность, равная единице, характеризует такую энергосберегающую архитектуру и тепловой режим здания, при которых заданные параметры микроклимата достигаются при нулевом расходе энергии.

4. Выдвинуты новая концепция, понятие и термин энергоэффективной формы здания, служащие теоретической основой архитектурно-энергетической методологии совершенствования формы реального здания заданного объема относительно теоретического здания в виде сферы того же объема. Новая расчетная формула, выведенная путем сравнения уравнений тепловых балансов теоретического и реального здания, позволяет количественно оценить такое качество здания как его форма, и рассчитать теоретический потенциал улучшения этой формы.

5. Предложены новые концепции, понятия и термины «энергосберегающая архитектура», «саморегулирование теплового режима», «энергосберегающие ограждения у ограждений». Они и принцип примыкания здания к грунту и прилегающему воздушному пространству позволили осуществить вычислительную оптимизацию теплового эффекта окружающей среды и солнечной радиации при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации более десяти малоэтажных зданий, включая пассивное здание с ограждениями из соломенных тюков.

6. Разработаны спирально-циклическая модель и методология совершенствования энергосберегающей архитектуры и улучшения установленной совокупности «теплозащитных качеств» здания путем поэтапно-последовательного выбора места размещения, объема, формы, ориентации, размеров и уровня теплозащиты как здания в целом, так и его отдельных помещений и ограждений.

7. Впервые графически представлено уравнение теплового баланса здания в зависимости от годового изменения среднесуточных температур наружного воздуха. Выдвинута новая концепция оптимизации «ножниц» графиков суммарных потерь и поступлений теплоты здания, предложенная как наглядная методология совершенствования энергосберегающей архитектуры и теплового режима здания в целях минимизации суточных и сезонных расходов энергии на отопление, охлаждение и вентиляцию.

8. Предложен экспресс-метод графического определения нормативной теплозащиты наружных стен и толщины слоя теплоизоляции из различных материалов как простой и наглядный инструмент для разработки энергосберегающей архитектуры и конструктивной концепции зданий. Метод универсален и охватывает всю обжитую территорию Кыргызстана, поскольку используется специально разработанная автором географическая карта с климатологическими изолиниями градусо-суток расчетного отопительного периода.

9. Предложена формула взаимосвязи теплотехнических, геометрических и температурных показателей наружных ограждений здания на основе установленных автором зависимостей для предельно низкого, высокого, нормативного и критического коэффициента теплопередачи как ограждений, так и всей теплозащитной оболочки [около 0,37 Вт/(м<sup>2</sup>·°С) для трехэтажного дома в виде куба]. Они позволили принимать экономичные и конструктивно приемлемые толщины слоя теплоизоляции из местных материалов при реконструкции шести региональных жилых зданий при снижении расхода теплоты на отопление на 30...60 % и сроке окупаемости затрат за 1,5...2 года.

10. Натурными измерениями автора инфракрасным термометром Fluke-68 установлено, что в безоблачный полдень при среднесуточной температуре наружного воздуха 7 °С температура на наружной поверхности стены южного фасада с внешней теплоизоляцией доходит до 42...44 °С, а на поверхности стекла со стороны интерьера окна с трехслойным остеклением – до 26...28 °С, при этом оно выступает как панельно-лучистый отопительный прибор. Значительный сток с наружных поверхностей здания теплоты окружающей среды и солнечной радиации, аккумулированной днем, можно утилизировать (по патенту автора) для нагревания поступающего вентиляционного холодного воздуха.

11. Предложена и реализована новая методология создания энергосберегающей архитектуры путем компьютерной вычислительной минимизации месячного, сезонного и годового потребления энергии на основе уравнения баланса теплоты здания. С использованием этой методологии запроектированы, построены, реконструированы и испытаны опытными измерениями более десяти зданий в различных климатических условиях Кыргызстана.

12. На основе предложенной концепции и опыта реализации энергосберегающей архитектуры зданий тепловые мосты обобщены научно обоснованными определением и классификацией как архитектурные, конструктивные и эксплуатационные; предложены способы борьбы с ними для предотвращения роста плесени на ограждениях, нарушения нормативных санитарно-гигиенических условий и параметров микроклимата в помещениях и перерасхода энергии.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

На основе научного и практического опыта автора по теме диссертации, накопленного с 1998 г., справок внедрения результатов исследований, идей патентов на изобретение при проектировании, строительстве и реконструкции зданий целесообразно реализовать: **I. Энергосберегающую архитектуру**, приспособленную к климату и окружающей среде, при этом предпочтительны: **а)** компактное здание, принятое с учетом его места расположения, назначения, удобства, стоимости и внешней выразительности при «утопленном» в толщу наружных ограждений толстом, неразрывном и паропроницаемом слое теплоизоляции и минимуме тепловых мостов; **б)** кирпичные наружные и внутренние стены, массивное покрытие, деревянный и утепленный пол, герметичные, но открывающиеся окна с трехслойным остеклением; **в)** уменьшение зимнего охлаждения при малых площадях окон северного фасада, устройстве герметичных ограждений, утепленных тамбуров, ставней и штор окон, расположении окон и дверей вдоль преобладающего направления ветра и на заветренном фасаде; **г)** отделка ограждений интерьером деревом, легкими акустическими листами и гипсокартоном хорошо по условиям микроклимата холодной зимы, очень плохо – жаркого лета; **д)** ориентация главных и незатененных помещений и окон на южной стороне здания для зимнего солнечного нагревания; **е)** затенение ограждений и минимальные площади окон на восточном и западном фасаде для уменьшения летнего перегрева; **ж)** открывающиеся окна, двери, «термические башни» и уловители ночного бриза для летнего ночного охлаждения здания сквозным и вертикальным проветриванием; **II. Энергоэффективный тепловой режим** здания путем контроля степени мобильной и стационарной солнцезащиты, солнечного нагревания, ночного охлаждения и естественного воздухообмена в зависимости от состояния внутренней среды и суточного, сезонного изменения погодных условий для целей экономии энергии при автоматизации отопления, охлаждения и вентиляции.

Практические решения следует принимать на основе расчетов и проектов архитекторов и специалистов, чтобы здание стало недорогим, удобным, комфортным, экологичным, эстетичным, безопасным, надежным и долговечным.

### Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Boronbaev E.K. Solar-Thermal Supply and Energy Saving Architecture of Buildings [Text] / E.K. Boronbaev // Applied Optics and Solar Energy. – Prague: 1989. – P. 296-299.
2. Lorsbach M. Improving the Energy Efficiency of Buildings in Kyrgyzstan [Text] / M. Lorsbach, G. Narciss, E. K. Boronbaev – American Council for an Energy-Efficient Economy: USA. – Washington / Berkeley: 1996. – P. 8.103-8.112.
3. Боронбаев Э.К. Концепция энергоэффективной формы зданий [Текст] / Э.К. Боронбаев // Проблемы управления и автоматизации. – Бишкек: Нац. АН, 2000. – С. 449-453.
4. Боронбаев Э.К. Критический коэффициент теплопередачи энергоэффективного здания и его ограждений [Текст] / Э.К. Боронбаев // Проблемы

строительства и архитектуры. Часть 3. – Бишкек: Илим, 2000. – С. 24-34.

5. Боронбаев Э.К. Новая методология оптимизации теплозащитных качеств зданий [Текст] / Э.К. Боронбаев // Проблемы управления и автоматизации. – Бишкек: Нац. АН, 2000. – С. 502-505.
6. Боронбаев Э.К. Теоретический предел продолжительности отопления и охлаждения зданий [Текст] / Э.К. Боронбаев // Энергосбережение и микроклимат в зданиях: сб. н. тр.: Вып. 2. – Бишкек: Технология, 2000. – С. 68-78.
7. Боронбаев Э.К. Теоретический предел теплозащиты зданий [Текст] / Э.К. Боронбаев // Энергосбережение и микроклимат в зданиях: сб. науч. тр.: Вып. 2 – Бишкек: Технология, 2000. – С. 5-17.
8. Боронбаев Э.К. Влияние динамики солнечной энергии на ориентацию зданий [Текст] / Э.К. Боронбаев, Э.О. Тохлукова // Энергосбережение и микроклимат в зданиях: Сб. науч. тр.: Вып. 2 / Кырг. гос. ун-т строит-ва, трансп. и архит. – Бишкек: Технология, 2000. – С. 35-44.
9. Боронбаев Э.К., Возможности использования пассивных систем солнечного отопления в условиях Кыргызстана [Текст] / Э.К. Боронбаев, А.М. Абдылдаева // Энергосбережение и микроклимат в зданиях: сб. науч. тр.: Вып. 2. – Бишкек: Технология, 2000. – С. 50-57.
10. Боронбаев Э.К. Расчет круглогодичной солнечной радиации на поверхности зданий [Текст] / Э.К. Боронбаев, Э.О. Тохлукова // Проблемы строительства и архитектуры. Часть 3. – Бишкек: Илим, 2000. – С. 35-42.
11. Боронбаев Э.К. Стратегия реконструкции здания относительно его идеальной энергоэффективности [Текст] / Э.К. Боронбаев // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2001. – № 2. – С. 57-61.
12. Боронбаев Э.К. Теоретические основы теплозащиты зданий [Текст] / Э.К. Боронбаев // Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве. Часть II. – Бишкек: КТУ, 2001. – С. 361-372.
13. Боронбаев Э.К. Энергоэффективная наружная стена и практика комплексной теплозащиты зданий [Текст] / Э.К. Боронбаев // Энергосбережение и микроклимат в зданиях: сб. н. тр.: Вып. 3 – Бишкек: Билим, 2001. – С. 49-62.
14. Боронбаев Э.К. Энергосберегающие режимы теплообеспечения микроклимата в здании [Текст] / Э.К. Боронбаев // Энергосбережение и микроклимат в зданиях: сб. науч. тр.: Вып. 3. – Бишкек: Билим, 2001. – С. 5-20.
15. Боронбаев Э.К. Энергосберегающая реконструкция зданий и особенности дополнительной теплоизоляции стен [Текст] / Э.К. Боронбаев // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2001. – № 2. – С. 136-139.
16. Боронбаев Э.К. Энергоэффективность формы и потери теплоты зданий [Текст] / Э.К. Боронбаев // Проблемы строительной отрасли и пути их решения. – Бишкек: Технология, 2001. – С. 166-173.
17. Боронбаев Э.К. Пассивный солнечный обогрев зданий [Текст] / Э.К. Боронбаев, А.М. Абдылдаева // Энергосбережение и микроклимат в зданиях: сб. науч. тр.: Вып. 3. – Бишкек: Билим, 2001. – С. 33-44.
18. Боронбаев Э.К. Конструкции наружных ограждений с использованием сыпучих теплоизоляционных материалов [Текст] / Э.К. Боронбаев,

- Э.О. Тохлукова // Проблемы строительной отрасли и пути их решения. – Бишкек: Технология, 2001. – С. 173-182.
19. Боронбаев Э.К. Энергосберегающая взаимосвязь геометрических и тепло-технических показателей ограждений здания [Текст] / Э.К. Боронбаев, Э.О. Тохлукова // Энергосбережение и микроклимат в зданиях: сб. науч. тр.: Вып. 3. – Бишкек: Билим, 2001. – С. 68-75.
  20. Боронбаев Э.К. Задачи энергосберегающего охлаждения здания проветриванием [Текст] / Э.К. Боронбаев // Объединенный научный журнал. – Москва: Тезарус, 2002. – № 6 (29). – С. 36-42.
  21. Боронбаев Э.К. Концепция оптимизации «ножниц» потерь и поступлений теплоты здания [Текст] / Э.К. Боронбаев // Объединенный научный журнал. – Москва: Тезарус, 2002. – № 31 (54). – С. 64-67.
  22. Боронбаев Э.К. Основы создания энергосберегающих ограждений у ограждений здания [Текст] / Э.К. Боронбаев // Объединенный научный журнал. – Москва: Тезарус, 2002. – № 31 (54). – С. 68-71.
  23. Боронбаев Э.К. Особенности динамики охлаждения и нагревания ограждений здания [Текст] / Э.К. Боронбаев // Объединенный научный журнал. – Москва: Тезарус, 2002. – № 6 (29). – С. 42-48.
  24. Боронбаев Э.К. Тепловой эффект светопрозрачных ограждений [Текст] / Э.К. Боронбаев // Горный Кыргызстан и экология: сб. науч. тр. – Бишкек, 2002. – С. 50-57.
  25. Боронбаев Э.К. Солнечное нагревание зданий через лучепрозрачные и остекленные массивные ограждения [Текст] / Э.К. Боронбаев, А.М. Абдылдаева // Горный Кыргызстан и экология: сб. науч. тр. – Бишкек, 2002. – С. 57-70.
  26. Боронбаев Э.К. Выбор формы и ориентации здания по поступлению солнечной радиации при средних условиях облачности [Текст] / Э.К. Боронбаев, Э.О. Тохлукова // Материалы научно-практической конференции. Часть 3. – Алматы: КазГАСА, 2002. – С. 108-114.
  27. Боронбаев Э.К. Поступление солнечной радиации на поверхность зданий при средней облачности неба [Текст] / Э.К. Боронбаев, Э.О. Тохлукова // Объединенный научный журнал. – М.: Тезарус, 2002 – № 31 (54). – С. 72-76.
  28. Боронбаев Э.К. Суточная динамика эффекта затенения ограждений от солнечных лучей [Текст] / Э.К. Боронбаев, Э.О. Тохлукова // Горный Кыргызстан и экология: сб. науч. тр. – Бишкек, 2002. – С. 70-79.
  29. Боронбаев Э.К. Энергосберегающее затенение ограждений здания с учетом облачности неба [Текст] / Э.К. Боронбаев, Э.О. Тохлукова // Объединенный научный журнал. – Москва: Тезарус, 2002. – № 31 (56). – С. 76-79.
  30. Бинц А. Оптимизация теплового эффекта Солнца на энергоэффективное здание из соломенных поков [Текст] / А. Бинц, Э.К. Боронбаев, Р. Кунц, Э.О. Тохлукова, А.М. Абдылдаева // Вестник Кырг. гос. ун-та стр-ва, трансп. и архит. Вып. 1(4). – Бишкек: 2004. – С. 75-82.
  31. Боронбаев Э.К. Графики оптимизации круглогодичных режимов теплообеспечения микроклимата в здании [Текст] / Э.К. Боронбаев // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск, 2004. – № 10. – С. 60-64.
  32. Боронбаев Э.К. Имитационная математическая модель и энергоэффективность здания [Текст] / Э.К. Боронбаев // Энергосбережение – проблемы, современные технологии и управление / КТУ. – Бишкек: Техник, 2004. – С. 233-238.
  33. Боронбаев Э.К. Выбор формы и ориентации здания по тепловому эффекту внутренних источников, Солнца и окружающей среды [Текст] / Э.К. Боронбаев, А.М. Абдылдаева, Э.О. Тохлукова // Объединенный научный журнал. – Москва: Тезарус, 2003. – № 18. – С. 52-57.
  34. Боронбаев Э.К. Энергоэффективность здания и реальная продолжительность периода отопления [Текст] / Э.К. Боронбаев, А.М. Абдылдаева, Э.О. Тохлукова // Энергосбережение – проблемы, современные технологии и управление. – Бишкек: Техник, 2003. – С. 238-243.
  35. Боронбаев Э.К. Энергосберегающее взаимодействие общей площади окон и формы здания [Текст] / Э.К. Боронбаев, Э.О. Тохлукова, А.М. Абдылдаева // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск, 2004. – № 9. – С. 99-101.
  36. Боронбаев Э.К. Повышение энергоэффективности зданий: предпосылки, теория, практика [Текст] / Э.К. Боронбаев – Бишкек: Технология, 2004. – 253 с.
  37. Экранный теплоизоляционный теплоизолятор. [Текст]: пат. 20030055.1 Кыргыз. Респ./ Боронбаев Э.К., заявитель и патентообладатель Боронбаев Э.К.; заявл. 30.05.2003. – С. 8. Оpubл. 30.09.2004. Бюл. № 9 (66).
  38. Устройство для обогрева помещения. [Текст]: пат. 20030044.1 Кыргыз. Респ./ Клевцов Е.В., Боронбаев Э.К., заявитель и патентообладатель Клевцов Е.В., Боронбаев Э.К.; заявл. 07.05.2003. – С. 6. Оpubл. 20.08.2004. Бюл. № 8 (65).
  39. Абдыкалыков А.А. Теплозащита зданий: климатические регионы и категории мест строительства (на примере Кыргызстана) [Текст] / А.А. Абдыкалыков, Э.К. Боронбаев, А.М. Абдылдаева, Ю.В. Поляков и др. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 4. – С. 106-110.
  40. Боронбаев Э.К. Особенности стратегии энергосберегающего улучшения теплозащиты малоэтажных зданий [Текст] / Э.К. Боронбаев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 4. – С. 127-130.
  41. Боронбаев Э.К. Натурные изменения температур: окно южного фасада здания как источник теплоты и холода [Текст] / Э.К. Боронбаев // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 2. – С. 59-60.
  42. Боронбаев Э.К. Натурные исследования суточного изменения температуры на внешней и внутренней поверхностях наружных стен здания [Текст] / Э.К. Боронбаев // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 2. – С. 57-58.
  43. Боронбаев Э.К. Графическая оценка нормативной теплозащиты наружной стены для разработки конструктивной концепции и энергосберегающей архитектуры здания [Текст] / Э.К. Боронбаев, А.М. Абдылдаева // Вестник Кыргыз. гос. ун-та строит. трансп. и архит. – Бишкек, 2013. – Вып. 3(41). – С. 282-286.
  44. Боронбаев Э.К. Особенности проектирования требуемой теплозащиты зданий в климатических условиях Кыргызстана [Текст] / Э.К. Боронбаев,

А.М. Абдылдаева // Вестник Кырг. гос. ун-т строит. трансп. и архит. – Бишкек, 2013. – Выпуск 3(41). – С. 287-293.

45. Боронбаев Э.К. Энергосберегающая архитектура зданий: теоретические основы и особенности практики [Текст] / Э.К. Боронбаев // Вестник Кырг. гос. ун-т строит., трансп. и архит. – Бишкек, 2013. – Вып. 3(42). – С. 121-129.
46. Боронбаев Э.К. Энергосберегающая архитектура и тепловые мосты в ограждениях здания [Текст] / Э.К. Боронбаев // Вестник Кырг. гос. ун-т строит., трансп. и архит. – Бишкек, 2013. – Выпуск 3(41). – С. 130-136.

### РЕЗЮМЕ

диссертации Боронбаева Эркина Капаровича на тему: «Теория и практика энергосберегающей архитектуры и энергоэффективности теплового режима гражданских зданий (на примере Кыргызстана)» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям: 05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение; 05.23.20 – теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия

**Ключевые слова:** гражданские здания, энергосберегающая архитектура, тепловой режим, тепловой баланс, энергоэффективность, микроклимат, теплозащита, тепловые мосты.

Работа посвящена проблеме создания энергосберегающей архитектуры и повышения энергоэффективности теплового режима гражданских зданий.

Автор на основе изучения современного состояния вопроса, особенностей взаимодействия теплозащитной оболочки здания с энергией окружающей среды и солнечной радиации реализовал оригинальные пути снижения расхода энергии на отопление, охлаждение и вентиляцию. Выдвинуты идеи, концепции и понятия, соответственно предложены формулы и методы расчета показателя энергоэффективности формы здания; его минимального, максимального и критического уровня теплозащиты; энергоэффективности теплового режима для естественного, возмущенно-естественного и искусственного состояния.

Разработаны наглядно-графический метод оптимизации «ножниц» годовых графиков суммарных потерь и поступлений теплоты и спирально-циклическая методология улучшения установленных теплозащитных качеств здания для снижения его энергопотребления. Тепловые мосты обобщены новыми определением и классификацией как архитектурные, конструктивные и эксплуатационные, предложены способы борьбы с ними для предотвращения роста плесени на ограждениях интерьера, нарушения нормативных санитарно-гигиенических условий, микроклимата в помещениях и перерасхода энергии.

Более десяти зданий запроектированы, построены, реконструированы и опытными измерениями испытаны в различных климатических условиях Кыргызстана.

### КЫСКАЧА МАЗМУН

Боронбаев Эркин Капаровичтин «Жарандык имараттардын энергияны үнөмдөөчү архитектурасынын жана жылуулук режиминин энергиялык натыйжалуулугун теориясы жана практикасы (Кыргызстандын мисалында)» темадагы 05.23.03 – жылуулук менен камсыздандыруу, желдетүү, абаны жагдайлоо, газ менен камсыздандыруу жана жарык кылуу; 05.23.20 – архитектуранын теориясы жана тарыхы, тарыхый-архитектуралык мурастарды реконструкциялоо жана реставрациялоо адистиктеринин алкагында техникалык илимдердин доктору окумуштуулук даражасын изденип алуу үчүн жазылган диссертациясынын

**Негизги сөздөр:** жарандык имараттар, энергияны үнөмдөөчү архитектура, жылуулук режим, жылуулук баланс, энергиялык натыйжалуулук, микроклимат, жылуулукту тосуу, жылуулук көпүрөлөрү.

Бул илимий иш азыркы мезгилдеги курч имараттардын энергияны үнөмдөөчү архитектурасын иштеп чыгуу жана жылуулук режиминин энергиялык натыйжалуулугун жогуралатуу маселесине арналган.

Автор маселенин азыркы абалын изилдөөнүн негизинде имараттардын жылуулук тосуу жөндөмдүүлүгүн айлана-чөйрөнүн жана күн нурунун энергиясынын өзгөрүүлөрүнө шайкеш кылуу аркылуу имаратты жылытууга, муздатууга жана желдетүүгө кетчү энергияны азайтуу иш-максатарын жаңы жана өзгөчө жолдор менен чечкен. Жаңы идеялар, концепциялар жана түшүнүктөр ойлоп чыгарылган, ошолорго карата имараттын формасынын энергия натыйжалуулугунун көрсөткүчүн; имараттын жылуулукту тосуу жөндөмдүүлүгүнүн эң төмөнкү, жогорку жана өзгөчө чектелген деңгээл көрсөткүчүн, табигый, бузулган-табигый жана жасалма абалындагы жылуулук режиминин энергия натыйжалуулугун аныктоо формулалары жана аларды эсептөө ыкмалары сунушталган.

Имараттын энергияны керектөөсүн төмөндөтүү үчүн жылуулук келүүнүн жана жоготуунун жалпы жылдык «кайчы» графиктерин кыналыштыруунун көрүнүктүү-сызыктар методу жана имараттын жаңы белгиленген жылуулук сактоо сапаттарын жакшыртуунун эшилме-кайталап кароо методологиясы иштелип чыккан. Жылуулук көпүрөлөрдүн мурун турукталбаган түшүндүрмөсү жана классификациясы архитектуралык, конструкциялык жана эксплуатациялык деп иштелип чыккан жана алардын кесепети болгон имараттын ичиндеги көк басуусун, микроклимат жана санитардык-гигиеналык шарттардын начарлашын алдын ала болтурбоо жана энергияны керектөө көлөмүн төмөндөтүү жолдору сунушталган.

Автордун катышуусу менен Кыргызстандын ар кылдуу климаттык шарттарындагы ондон ашык имараттар долбоорлонгон, курулган, кайра ондолгон жана өлчөп изилдөө аркылуу сыноодон өткөрүлгөн.