

САМАРИН Олег Дмитриевич

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ
ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2012 г.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»).

Научный консультант: доктор технических наук, профессор, член-корр. РААСН Гагарин Владимир Геннадьевич.

Официальные оппоненты: Соловьев Алексей Кириллович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет», кафедра «Архитектура гражданских и промышленных зданий», заведующий кафедрой.

Куприянов Валерий Николаевич, доктор технических наук, профессор, член-корр. РААСН, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра «Проектирование зданий», заведующий кафедрой.

Дацюк Тамара Александровна, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», факультет Инженерно-экологических систем, декан.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет»

Защита состоится _____ февраля 2013 г. в _____ час. на заседании диссертационного совета Д 007.001.01 при Научно исследовательском институте строительной физики РААСН по адресу: 127238, Москва, Локомотивный пр., 21, тел. +7(495)482-40-76, факс +7(495)482-40-60.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-методическом фонде НИИ строительной физики РААСН.

Автореферат разослан _____ 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Умнякова Нина Павловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современная ситуация с нормированием энергосбережения и теплозащиты в РФ ориентирует специалистов на применение весьма ограниченного набора решений по снижению энергопотребления, не всегда отвечающих конкретным условиям строительства и зачастую весьма дорогостоящих, но избыточных с точки зрения обеспечения теплотехнической безопасности. При этом практически отсутствует теоретически обоснованная методическая база для разработки нормативных документов в области энергосбережения, особенно в части выбора наиболее целесообразных энергосберегающих мероприятий.

Кроме того, на уровне действующих норм слабо проработана возможность учета взаимовлияния и взаимозаменяемости различных энергосберегающих решений, что не позволяет в полной мере учесть эффект от их совместного использования уже на этапе технико-экономического обоснования (ТЭО) основных проектных решений и в ряде случаев приводит к их внутренней противоречивости. Отсутствуют также четкие и однозначные критерии оптимальности используемого комплекса решений по снижению энергопотребления, особенно с точки зрения экономических интересов заказчика.

В связи с этим разработка теоретических основ энергосбережения с использованием комплексного подхода к выбору и реализации энергосберегающих мероприятий при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и в первую очередь систем обеспечения их микроклимата с учетом сравнительной эффективности данных мероприятий является актуальной. Это позволит решить важную народнохозяйственную проблему энергосбережения с использованием малозатратных и быстрокупаемых мероприятий в зданиях различного назначения в разных климатических условиях при существующем и прогнозируемом уровне цен на материалы, оборудование и тарифах на энергоносители и должно способствовать развитию отечественной строительной индустрии.

Целью работы является:

Разработка теоретических основ выбора комплекса малозатратных и быстрокупаемых мероприятий по снижению энергопотребления зданий в их взаимной увязке и с обеспечением необходимой взаимозаменяемости в условиях реальной экономической конъюнктуры и соответствующей законодательству РФ при обязательном обеспечении теплотехнической безопасности.

В соответствии с поставленной целью необходимо было решить следующие **задачи:**

- разработка методики оценки энергопотребления зданий и ТЭО проекта, учитывающей использование всех типичных энергосберегающих мероприятий;
- выявление элементов современных ограждающих конструкций со сложным температурным полем и изучение особенностей их теплового режима и теплопередачи для оценки энергопотребления здания;
- выдвижение и обоснование целесообразного сочетания малозатратных и быстрокупаемых решений по снижению энергопотребления, основанных на простейших технологиях, доступных для массового строительства;
- построение критерия оптимальности выбранного сочетания энергосберегающих мероприятий в условиях современной экономики, исследование их сравнительной эффективности, выявление области целесообразного применения и глубины реализации.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- разработаны научные основы нормирования энергопотребления и теплозащиты зданий, базирующиеся на комплексном учете применения малозатратных энергосберегающих мероприятий, их взаимной увязке и взаимозаменяемости, и позволяющие достичь минимума совокупных дисконтированных затрат на строительство и эксплуатацию здания и его систем обеспечения микроклимата;

- на основании экспериментальных и теоретических исследований усовершенствованы методы расчета теплопередачи в современных ограждающих конструкциях с учетом специфики свойств используемых материалов, их размещения и конфигурации, с акцентом на влияние рассматриваемых процессов на энергопотребление здания и безопасность его эксплуатации;

- научно обоснованы границы применимости и глубина реализации наиболее типичных малозатратных энергосберегающих технических решений в различных зданиях;

- определены статистические показатели относительной энергетической и экономической эффективности планируемых энергосберегающих мероприятий, пригодные для предварительной оценки на стадии предпроектных проработок;

- предложены оптимальные сочетания энергосберегающих мероприятий, обеспечивающие максимальный энергосберегающий эффект при минимальных материальных и энергетических затратах для разных значений цен на материалы и оборудование и тарифов на энергоносители;

- с использованием теории предельной полезности обосновано предложенное сочетание решений по снижению энергопотребления по дифференциальной и интегральной эффективности инвестиций;

- проведено районирование территории РФ по сроку окупаемости оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий;

- получена зависимость расчетного срока окупаемости решений по снижению энергопотребления от прогнозируемого изменения климатических параметров.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

- создана методическая основа для разработки нормативных документов по энергосбережению с учетом Закона РФ «О техническом регулировании», и обоснована идеология энергосбережения, содействующая развитию отечественного производства и строительства;

- разработана методика комплексной оценки энергопотребления зданий и ТЭО принятой совокупности энергосберегающих мероприятий в условиях рыночной экономики на этапе принятия основных инженерных решений, соответствующая предложенным принципам нормирования энергопотребления и учитывающая все основные энергосберегающие мероприятия;

- сформулированы и обоснованы предложения по будущей корректировке действующих норм в области теплозащиты и энергопотребления зданий, учитывающие предложенные принципы нормирования энергопотребления;

- предложены рекомендации по расчету теплопередачи в критических элементах ограждающих конструкций (углы, оконные откосы) с целью определения расчетного сопротивления теплопередаче для обеспечения санитарно-гигиенических условий в зданиях и оценки их энергопотребления;

- разработаны рекомендации по выбору целесообразного сочетания и необходимой глубины реализации энергосберегающих мероприятий, по энергетической и технико-экономической оценке их совокупности в зависимости от назначения здания, климатических характеристик района строительства и уровня цен и тарифов.

- получены инженерные формулы для оценки энергетического эффекта от применения ряда отдельных технических решений по снижению энергопотребления, в

том числе аппаратов утилизации теплоты вытяжного воздуха, автоматизации систем вентиляции и кондиционирования воздуха и др.;

- предложены энергосберегающие комбинированные схемы обработки воздуха в системах вентиляции и кондиционирования, основанные на сочетании рециркуляции и теплоутилизации и позволяющие достичь максимального снижения энергопотребления.

Достоверность научных положений, выводов и результатов обоснована из анализа экспериментов на основе теории ошибок, хорошей сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также результатов исследований других авторов.

Внедрение результатов работы:

Предложенные в диссертации принципы нормирования энергопотребления и методика комплексной оценки энергопотребления зданий использованы в Стандарте организации – Российского научно-технического общества строителей СТО 17532043-001-2005 (Изд. ГУП ЦПП, 2006) «Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий» (далее – Стандарт РНТО) и при выполнении работ по теме 7/11 тематического плана НИР ФГБОУ ВПО «МГСУ» в 2011 году «Разработка критериев контроля качества работ в области оценки и прогнозирования энергетической эффективности зданий и сооружений». Предложенные методики расчета энергопотребления зданий и ТЭО комплекса энергосберегающих мероприятий использованы в проектах стандартов ГОСТ Р «Системы обеспечения микроклимата зданий. Методика экономической оценки энергосберегающих мероприятий.» и «Системы обеспечения микроклимата новых зданий. Оценка энергетической эффективности при проектировании.»

Разработанные в диссертации методики расчета теплопередачи в элементах ограждающих конструкций (углы, оконные откосы) использованы в ряде работ, выполненных по хозяйственным договорам. Предложенные в диссертации методики расчета эксплуатационной энергетической характеристики зданий и температурной эффективности аппаратов утилизации теплоты вытяжного воздуха в системах механической вентиляции и кондиционирования внедрены в разработанные по заданию Департамента топливно-энергетического города Москвы нормативные документы – методики расчета энергетической эффективности рекомендуемых мероприятий по энергосбережению в г. Москве (разделы 5 и 7).

Методика комплексной оценки энергопотребления зданий и ТЭО комплекса энергосберегающих мероприятий, а также методики расчета температурной эффективности аппаратов утилизации теплоты вытяжного воздуха внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВПО «МГСУ» в составе дисциплины «Энергосбережение и энергоэффективность зданий».

Апробация работы.

Основные результаты работы докладывались на ежегодных (№№ 6 – 9) научно-технических конференциях НИИСФ РААСН в 2001 – 2004 году, на Первой, Второй и Третьей Международных научно-технических конференциях МГСУ «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции» в 2005, 2007 и 2009 г., а также на 5-й, 6-й и 7-й конференциях ВГТУ «Energy for buildings» (Вильнюс, 2002, 2004 и 2008 г.). Кроме того, результаты были представлены на 6-м Московском Международном Форуме «Heat&Vent2004», на семинарах МГСУ «Актуальные проблемы строительства высотных зданий» (2004), «Высотные и большепролетные здания. Технологии инженерной безопасности и надежности» (2005), конференциях МГСУ «Фундаментальные науки в современном строительстве» (2008), «Современные фасадные системы: эффективность и долговечность» (2008), и на Межрегиональной

конференции «Энергосбережение в ЖКХ и строительстве» в КДЦ «Гостиный Двор» (2006), а также на конференциях НИИСФ РААСН «Строительная физика в XXI веке» (2006) и «Актуальные вопросы строительной физики» (2009 – 2012 г.г.), научно-практической конференции «Алюминиевые фасадные системы: аспекты безопасности, надежности, долговечности» (2007) и Всероссийской специализированной выставке-форуме «Стройтехмашиндустрия России-2008» в МВЦ «Крокус-Экспо» и Второй Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций здания» (С.-Пб, 2009).

Основное содержание исследования **опубликовано:**

- в **трех монографиях**, а также в статьях и докладах, всего в 97 печатных работах, из них 47 – в журналах, входивших на момент сдачи статьи в список изданий, рекомендованных ВАК РФ, в т.ч. 38 – по направлению «Строительство».

Объем работы. Диссертация состоит из введения, основной части из шести глав, заключения, списка использованной литературы, приложения и актов о внедрении. Общий объем работы 316 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе представлен анализ научных работ, посвященных основным методам исследования процессов в ограждениях, помещениях и инженерном оборудовании, современным способам и технологиям энергосбережения и оценки их эффективности. Отечественными исследователями в этой области являлись и являются В.К.Аверьянов, А.И.Ананьев, В.Н.Богословский, Л.Д.Богуславский, В.И.Бодров, М.М.Бродач, О.Е.Власов, В.Г.Гагарин, Т.А.Дацюк, А.Н.Дмитриев, Г.С.Иванов, В.В.Козлов, О.Я.Кокорин, В.И.Костин, А.Д.Кривошеин, Ю.Я.Кувшинов, Е.Г.Малявина, А.Г.Перехоженцев, М.Я.Поз, Г.М.Позин, В.И.Прохоров, В.К.Савин, Н.П.Сигачев, А.К.Соловьев, Ю.А.Табунщиков, В.П.Титов, Ф.В.Ушков, К.Ф.Фокин, А.М.Шкловер и др. Из зарубежных авторов можно отметить В.Блази (W.Blasi), В.Файста (W.Feist), Е.Юодиса (E.Juodis), Б.Келлера (B.Keller) и др.

По мере появления новых конструкций наружных ограждений здания и современного энергосберегающего оборудования, обеспечивающего внутренний микроклимат в помещениях, а также по мере возникновения новых, более сложных задач по расчету тепловлажностных процессов в перечисленных объектах одновременно развиваются и совершенствуются методы подобных расчетов. Практически все эти методы основаны на использовании базовых уравнений тепломассопереноса и гидроаэродинамики. Однако именно их практическая реализация применительно к той или иной конкретной задаче, особенно в плане разработки программ для численного решения с помощью ЭВМ, а также выводы и рекомендации и составляют главную новизну и ценность таких разработок.

В работах Ф.В.Ушкова и Г.К.Авдеева введено понятие приведенного сопротивления теплопередаче, которое было использовано для нормирования теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Введение приведенного сопротивления теплопередаче позволило при нормировании учесть влияние теплопроводных включений. В этой связи можно отметить исследования ряда специалистов по разработке методов определения приведенного сопротивления теплопередаче различных ограждающих конструкций: Г.К.Авдеева, И.Н.Бутовского, Е.Г.Малявиной, В.С.Беляева, В.В.Козлова и др. Понятие фактора формы для оценки влияния на сопротивление теплопередаче элементов с двумерным и трехмерным температурным полем было введено В.Н.Богословским, им же на основании данных К.Ф.Фокина и других авто-

ров предложены зависимости для температуры на внутренней поверхности таких элементов (углы, оконные откосы и др.).

Исследования А.И.Ананьева посвящены повышению теплозащитных качеств и долговечности стен из штучных элементов. Известны также работы В.А.Могутова, В.К.Савина и А.Д.Кривошеина по экспериментальному и теоретическому определению теплозащитных свойств заполнений светопроемов. Большое значение имеют исследования В.К.Савина по изучению конвективных струйных течений и обоснованию применения энергоэффективных конструкций окон. В работах В.Г.Гагарина и В.В.Козлова впервые было предложено нормирование теплозащиты при помощи удельных характеристик теплопотребления и разработаны рекомендации по расчету приведенного сопротивления теплопередаче с использованием удельных потерь теплоты через точечные и линейные теплотехнические неоднородности. Важными также являются исследования В.П.Титова по расчету воздушного режима многоэтажных зданий.

Среди зарубежных работ в данной области можно отметить, например, монографию Б.Келлера и Е.Мадьяри (В.Keller, Е.Magyar), посвященную нестационарному тепловому режиму помещения, работу М.Абрахамссона (М.Abrahamsson), касающуюся связи теплозащитных свойств ограждений, интенсивности поверхностного теплообмена, энергопотребления и экологических характеристик помещения, М.Гжельчака (М.Grzelczak) по экспериментальному исследованию теплозащиты окон и многие другие. Вместе с тем, ряд вопросов остается недостаточно изученным. В частности, это касается расчета двух- и трехмерных температурных полей в современных ограждениях с повышенным уровнем теплозащиты, особенно в участках, критичных с точки зрения обеспечения санитарно-гигиенических требований, т.е. наружных углов, стыков, откосов и т.д. Кроме того, это также некоторые вопросы обеспечения микроклимата высотных зданий.

В.Файст (W.Feist) разработал теорию «пассивного дома», обладающего чрезвычайно низким энергопотреблением за счет повышенной теплозащиты ограждений, рациональной ориентации и объемно-планировочных решений, а также использования вторичных энергоресурсов и внутренних источников теплоты. За счет этого, как правило, удается избежать использования внешних источников энергии.

Разработке энергоэффективных схем обработки воздуха в системах его кондиционирования и исследованию температурной эффективности устройств утилизации теплоты посвящены работы В.Н.Богословского, М.Я.Поза, О.Я.Кокорина. Эти авторы используют методы математического моделирования процессов теплопереноса в теплообменных аппаратах и термодинамический анализ процессов изменения состояния влажного воздуха.

Комплексными работами концептуального характера в области энергосбережения являются исследования Ю.А.Табунщикова и М.М.Бродач. Они посвящены применению математических методов для изучения тепловой эффективности зданий, проектирования энергоэффективных зданий, а также особенностям разработки математических моделей для систем управления тепловым режимом интеллектуальных зданий. Однако вопросы оптимального нормирования этими авторами рассмотрены в меньшей степени.

Новая основа нормирования энергосберегающих мероприятий была предложена Г.С.Ивановым. Она базируется на технико-экономической оптимизации теплозащитных свойств несветопрозрачных ограждений, исходя из текущей стоимости теплоизоляционных материалов и единовременных затрат на устройство теплоизоляции. При этом должно учитываться потребление не только тепловой, но и электри-

ческой энергии. Однако полноценная методика расчета, учитывающая все составляющие энергопотребления и способы их уменьшения, предложена не была.

Подобная методика была описана в работах В.И.Прохорова. Она сводится к составлению энергетического баланса здания и анализу относительных величин теплопотребления инженерными системами с определением возможного снижения энергопотребления за счет тех или иных энергосберегающих мероприятий. Там же излагается способ оценки окупаемости энергосберегающих технических решений с помощью т.н. топливных эквивалентов, когда определяется, сколько топлива можно закупить на ту же валютную сумму, которая была потрачена на энергосберегающие мероприятия, и это количество сравнивается с годовой экономией топлива, достигаемой за счет реализации данного технического решения.

Одним из первых вопросы ТЭО энергосберегающих мероприятий в инженерных системах здания рассматривались Л.Д.Богуславским. Методика оценки окупаемости энергосберегающих мероприятий в условиях рыночной экономики с использованием заемных средств на реализацию этих мероприятий по методу совокупных дисконтированных затрат была предложена В.Г.Гагариным. В его работах приведены формулы для расчета таких затрат при условии их приведения к концу расчетного срока и отмечено главное условие окупаемости, состоящее в том, что годовой процент за взятый кредит не должен превышать получаемую экономию на эксплуатационных затратах, к которым прежде всего относятся затраты на тепловую энергию. Большую известность получила книга А.Н.Дмитриева, Ю.А.Табунщикова и др., в которой так же представлена методика ТЭО решений по снижению энергопотребления с применением дисконтирования и компаундинга и правила вычисления расчетного срока окупаемости.

Был проведен анализ нормативных и статистических документов РФ и некоторых зарубежных стран в области теплозащиты и энергосбережения в РФ в свете требований Закона РФ «О техническом регулировании» (ЗТР). Важнейшими государственными программными документами в сфере энергосбережения в России являются Закон РФ «Об энергосбережении ...» № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 года и утвержденная Правительством РФ 13 ноября 2009 г. Энергетическая стратегия на период до 2030 года.

Анализ основного действующего в РФ документа в области нормирования теплозащиты и энергопотребления зданий на момент создания работы – СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» – и сравнение его требований с наиболее характерными аналогичными документами зарубежных стран, в первую очередь DIN 4108-2, EnEV 2009 (Германия), приводит к следующим выводам.

Приведенные в СНиП 23-02-2003 правила вычисления энергопотребления за отопительный период не учитывают многих возможных энергосберегающих мероприятий, например, утилизацию теплоты вытяжного воздуха или применение теплонасосных установок (ТНУ), а также другие составляющие энергетического баланса здания, в т.ч. расход теплоты на горячее водоснабжение, электропотребление и т.д.

В то же время немецкие нормы ориентированы на обеспечение нормативных энергозатрат не столько за счет повышения теплозащиты ограждений, сколько другими средствами, в первую очередь учетом теплопоступлений при автоматизации системы отопления и особенно утилизацией теплоты вытяжного воздуха. Такая возможность в DIN 4108-2, в отличие от СНиП 23-02-2003, есть непосредственно на уровне расчетных формул.

Основное внимание следует уделять малозатратным и безынвестиционным энергосберегающим мероприятиям, а также быстрокупаемым со сроком окупаемости 3–4 года. В дальнейшем такие инженерные решения будут называться «малоза-

тратные и быстрокупаемые». Анализ литературных источников показал, что по основной направленности энергосберегающие мероприятия в зданиях можно классифицировать следующим образом:

- оптимизация архитектурно-конструктивных и объемно-планировочных решений;
- повышение теплозащиты светопрозрачных и несветопрозрачных ограждений;
- снижение организованного и неорганизованного воздухообмена;
- снижение затрат тепловой и электрической энергии на системы вентиляции и кондиционирования воздуха при сохранении существующего воздухообмена (например, за счет утилизации теплоты и холода, рециркуляции, ночного проветривания, регулируемого электропривода насосов и вентиляторов и т.д.);
- мероприятия по снижению водо- и теплоснабжения в системах горячего водоснабжения (ГВС);
- инженерные решения по полезному использованию внутренних и внешних теплоступлений (в первую очередь автоматизация систем отопления);
- сокращение потребления тепловой и электрической энергии от внешних источников за счет нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ).

В работе рассматриваются в той или иной степени большинство из перечисленных направлений энергосбережения в той мере, в какой соответствующие мероприятия относятся к малозатратным и быстрокупаемым. Исключением является снижение затрат холода, а по сути, электроэнергии на системы кондиционирования воздуха. Это вызвано тем, что работа посвящена в первую очередь теплосбережению за отопительный период для получения рекомендаций и методик, максимально общих для жилых и общественных зданий. Кроме того, не рассматривается применение НВИЭ, поскольку они пока не относятся к малозатратным и быстрокупаемым.

При этом, однако, в соответствии с требованиями Закона РФ «О техническом регулировании» № 184-ФЗ от 27 декабря 2002 г. (ЗТР), разрабатываемые предложения в той части, в которой их реализация может приводить к решениям, формально избыточным по отношению к условиям санитарно-гигиенической и иной безопасности, предназначены исключительно для добровольного применения.

Таким образом, выполненный обзор позволил сделать анализ состояния вопроса и сформулировать задачи исследования.

Вторая глава посвящена развитию методов исследования теплозащитных свойств современных сложных ограждающих конструкций зданий с акцентом на влияние рассматриваемых процессов на энергопотребление здания и безопасность его эксплуатации.

В последнее время, в связи с появлением и распространением наружных ограждающих конструкций с повышенным сопротивлением теплопередаче и с наличием слоев из эффективных теплоизоляционных материалов, вновь возникают вопросы, касающиеся определения температур на внутренней поверхности характерных элементов таких ограждений. В частности, это относится к наружным углам, оконным откосам, стыкам и другим участкам с двумерным температурным полем. Необходимость таких расчетов в первую очередь связана с обеспечением безопасности функционирования зданий, поскольку именно в перечисленных элементах возможна конденсация водяного пара, обмерзание и другие неблагоприятные явления. Особенно это актуально в связи с принятием ЗТР, который основное внимание уделяет именно регламентации вопросов безопасности.

С другой стороны, приведенные и весьма подробно разработанные в работах К.Ф.Фокина, В.Н.Богословского и других ученых инженерные рекомендации по оценке температур на указанных участках оказываются в настоящее время частично

или даже полностью непригодными. В основном это связано с тем, что характеристики современных строительных конструкций выходят за пределы областей применимости разработанных ранее зависимостей. Однако представляется целесообразным получение инженерных формул, которые по своей простоте и наглядности не уступали бы приведенным в упомянутых работах, но в то же время давали бы достаточно точные данные при значительных сопротивлениях теплопередаче многослойных ограждающих конструкций. Такие формулы особенно эффективны для ориентировочных вычислений и на предварительных этапах проектирования.

Одним из наиболее опасных участков, которые могут определять минимальный уровень теплозащиты ограждений, является внутренняя поверхность наружного угла здания. Для вычисления температуры в углу необходим расчет двумерного температурного поля в поперечном сечении наружного угла. Такое поле, как известно, описывается дифференциальным уравнением Лапласа, которое в двумерном случае в пределах каждого материального слоя выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

где t – температура, °С, в сечении угла в точке с координатами x и y , м. При этом за начало координат можно выбрать наружную вершину угла.

Данное уравнение следует решать при граничных условиях 3-го рода, характеризующих связь интенсивности теплообмена на поверхностях угла с градиентом температуры в его массиве. В частности, для внутренней поверхности соответствующее выражение можно записать так:

$$-\lambda_{\text{в}} \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_{\text{в}} = \alpha_{\text{в}} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}). \quad (2)$$

Здесь n – расстояние по внутренней нормали к поверхности угла, м; $\lambda_{\text{в}}$ – теплопроводность материала у этой поверхности, Вт/(м·К); $t_{\text{в}}$ – температура в помещении, °С; $\tau_{\text{в}}$ – температура поверхности угла, °С; $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплообмена на внутренней поверхности, Вт/(м²·К). Аналогичное соотношение справедливо и для наружной поверхности, но тогда индексы «в» у используемых переменных следует заменить на «н».

На стыке материальных слоев используется граничное условие 4-го рода, выражающее непрерывность температурного поля и плотности потока теплоты. Оно записывается следующим образом:

$$t_1(x, y) = t_2(x, y); \lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial n_1} = -\lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial n_2}; \quad (3)$$

где t_1 и t_2 – температуры материалов на стыке слоев в точке с координатами x и y ; λ_1 и λ_2 – теплопроводности материалов соприкасающихся слоев, Вт/(м·К); n_1 и n_2 – расстояния вдоль внешних нормалей к поверхности контакта (вглубь слоев), м.

Исходный уровень коэффициента наружного теплообмена $\alpha_{\text{н}}$ при этом принимался равным 23 Вт/(м²·К) по СНиП 23-02-2003, а для $\alpha_{\text{в}}$ использовалась величина 6.8 Вт/(м²·К) по данным А.И.Ананьева, более точно соответствующая условиям внутреннего теплообмена при значениях разности температур $t_{\text{в}}$ и на внутренней поверхности стен, равной от 2 до 4 °С.

Система уравнений (1)-(3) решалась с помощью составленной программы для ЭВМ на языке Fortran методом конечных разностей при использовании аппроксимации 2-го порядка точности на шаблоне «крест». Для получения наиболее общих формул результаты расчетов обрабатывались в безразмерных параметрах. За опре-

деляющий критерий было выбрано отношение R_B/R_0 сопротивления теплообмену на внутренней поверхности угла $R_B = 1/\alpha_B$ к полному сопротивлению стены теплопередаче вдали от угла $R_{0,усл}$ (условному – без учета теплотехнической неоднородности). В качестве определяемого было принято условное относительное термическое со-

противление $r' = \frac{t_g - \tau_{yz}}{t_g - t_n}$, с помощью которого температуру непосредственно в углу τ_{yz} можно вычислить по формуле:

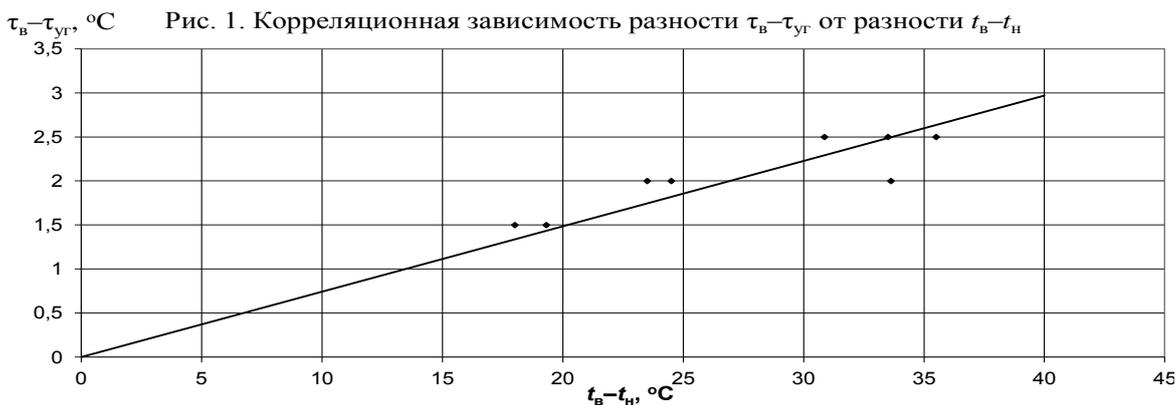
$$\tau_{yz} = t_g - r'(t_g - t_n). \quad (4)$$

Здесь t_n – температура наружного воздуха, °С. Ясно, что вдали от угла $r' = R_B/R_{0,усл}$, а для τ_{yz} обязательно должно быть $r' > R_B/R_{0,усл}$.

Результаты вычислений хорошо аппроксимируются следующим выражением, справедливым в широком диапазоне $R_{0,усл}$ вплоть до 8 (м²·К)/Вт:

$$r' = A(R_g/R_{0,усл})^{2/3}. \quad (5)$$

Здесь $A = 1$ для однослойных конструкций; $A = 0.75$ для многослойных с внутренним теплопроводным слоем, выравнивающим температуру. Структуру формулы (5) можно также найти методом конформных преобразований. Ее экспериментальное подтверждение было проведено с участием инж. К.И.Лушина и автора, проведенных на базе НИИСФ и ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» зимой 2004 г. путем непосредственных натурных замеров температуры в двухсекционном 11-этажном жилом доме. Результаты приведены на рисунке 1.



Сплошной линией показана зависимость, следующая из формулы (5). Коэффициент корреляции выборки $R = 0.994$, среднее квадратическое отклонение $\sigma = \pm 0.234^\circ\text{C}$, что не превышает приборной погрешности, равной $\pm 0.25^\circ\text{C}$, поэтому полученную зависимость можно считать достоверной.

Если приравнять величину τ_{yg} температуре точки росы, можно получить зависимость для требуемого значения $R_{0,усл}$ по условию теплотехнической безопасности угла. Расчеты показывают, что оба используемых требования – отсутствие конденсации водяного пара в наружном углу и допустимая по санитарно-гигиеническим условиям разность температуры t_B и на внутренней поверхности стены вдали от угла τ_B – дают близкие значения показателей теплозащиты при адекватном выборе перепада $t_B - \tau_B$, а именно 4 градуса для однослойных конструкций и 6 для ограждений с эффективным утеплителем. Но это свидетельствует об обоснованности применения именно санитарно-гигиенических условий и требования отсутствия конденсации к выбору теплозащиты и об избыточности требований Таблицы 4 СНиП 23-02-2003.

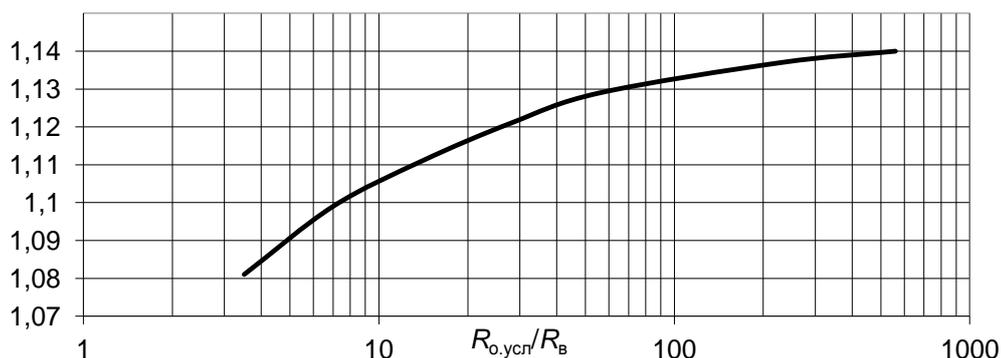
Численное решение системы (1)-(3) было проведено также и для других представляющих опасность с теплотехнической точки зрения элементов ограждающих

конструкций, в первую очередь оконных откосов и узлов примыкания заполнений светопроемов, а также ограждений с теплопроводными включениями типа трехслойных панелей с гибкими и жесткими связями.

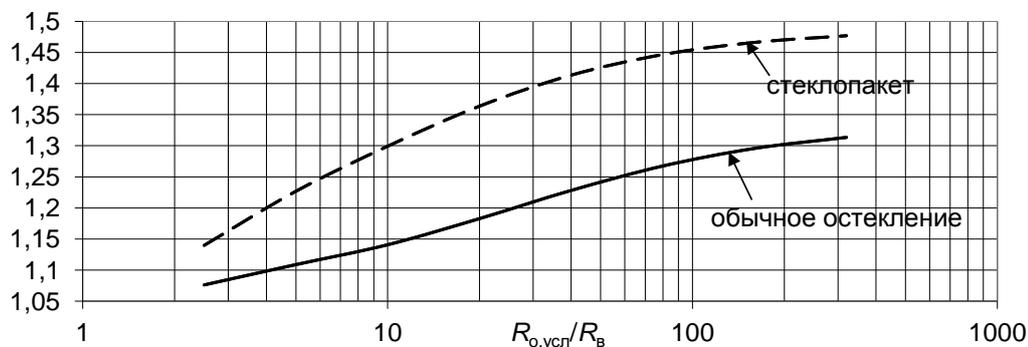
Оценку дополнительных теплопотерь через наружный угол здания и оконные откосы в инженерных расчетах целесообразно проводить с использованием фактора формы f , предложенного В.Н.Богословским и представляющего собой отношение фактических теплопотерь через двумерный элемент к теплопотерям через такой же по площади участок наружной стены с одномерным температурным полем. За границу двумерного элемента здесь принимают расстояние в два калибра, причем один калибр (\emptyset) равен произведению теплопроводности слоя утеплителя $\lambda_{ут}$ на величину $R_{о.усл}$.

Получаемые по результатам численных расчетов уточненные значения фактора формы в зависимости от соотношения между сопротивлением теплопередаче по глади наружной стены и внутреннему теплообмену $R_{о.усл}/R_{в}$ показаны на рисунках 2 и 3. В отличие от данных В.Н.Богословского, эти значения являются существенно переменными. При этом для обеспечения необмерзания зоны примыкания заполнения светопроема к откосу в условиях применения стеклопакетов необходимо, чтобы сопротивление теплопередаче оконного блока было не менее $0.6 - 0.65 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ для градусо-суток отопительного периода $D_d = 4500 \text{ К} \cdot \text{сут}$ и выше, либо толщина рамы была не менее 80 мм.

$f_{н.в}$ Рис.2. Зависимость фактора формы наружного угла $f_{н.в}$ по внутреннему обмеру от отношения $R_{о.усл}/R_{в}$ (инженерный вариант)



$f_{отк}$ Рис.3. Зависимость фактора формы оконного откоса $f_{отк}$ от соотношения $R_{о.усл}/R_{в}$



Результаты расчетов по предлагаемым зависимостям подтверждены экспериментальными данными ряда исследователей, например, А.Д.Кривошеина, и других. В качестве примера на рисунке 4 представлены фактические значения $f_{отк}$, вычисленные по данным замеров плотности теплового потока q , $\text{Вт}/\text{м}^2$, на внутренней по-

верхности наружной стены общественного здания у оконного откоса и вдали от него, выполненных при участии автора зимой 2010 года.

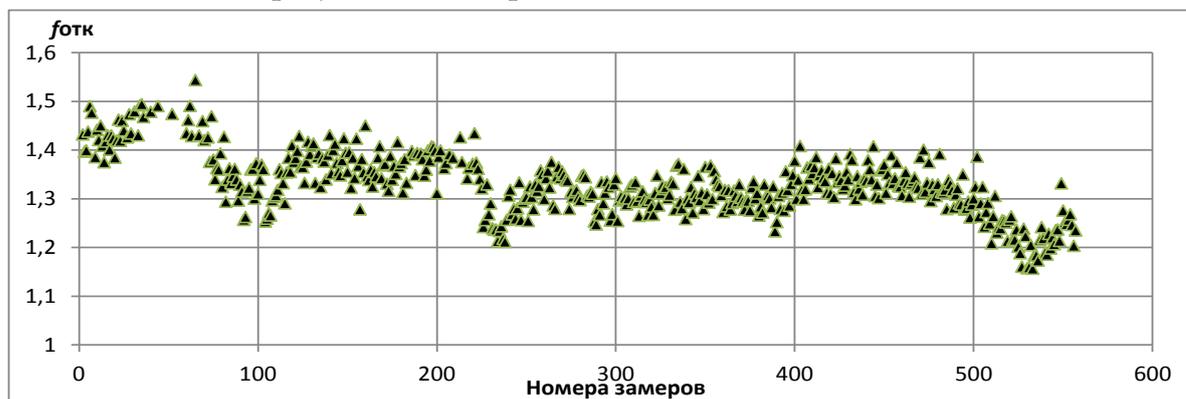


Рис.4. Экспериментальные значения $f_{отк}$

Статистическая обработка данных, представленных на рисунке 4, дает для рассматриваемой конструкции среднее значение $f_{отк}$, равное 1.33, при среднеквадратичном отклонении ± 0.103 , или в относительном выражении $\pm 7.75\%$. Это сопоставимо с погрешностью используемых измерительных приборов (5 – 7 %). Для сравнения с теоретической зависимостью, изображенной на рисунке 2, следует вычислить фактическое отношение $R_{о,усл}/R_{в}$. Для наружной стены значение $R_{о,усл}$, вычисленное с использованием экспериментальных значений t_e , t_n и величины q вдали от откоса по

формуле $R_{о,усл} = \frac{t_e - t_n}{q}$, оказывается равным $0.86 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, а в соответствии со СНиП

23-02-2003 $R_{в} = 1/\alpha_{в} = 1/8.7 = 0.115 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, откуда $R_{о}/R_{в} = 0.86/0.115 = 7.47$, что дает по рисунку 2 для обычного остекления $f_{отк} = 1.28$. Таким образом, расхождение экспериментального и теоретического уровня $f_{отк}$ оказывается равным примерно 3.8%, что даже меньше инструментальной погрешности использованных приборов и, следовательно, не может быть признано существенным.

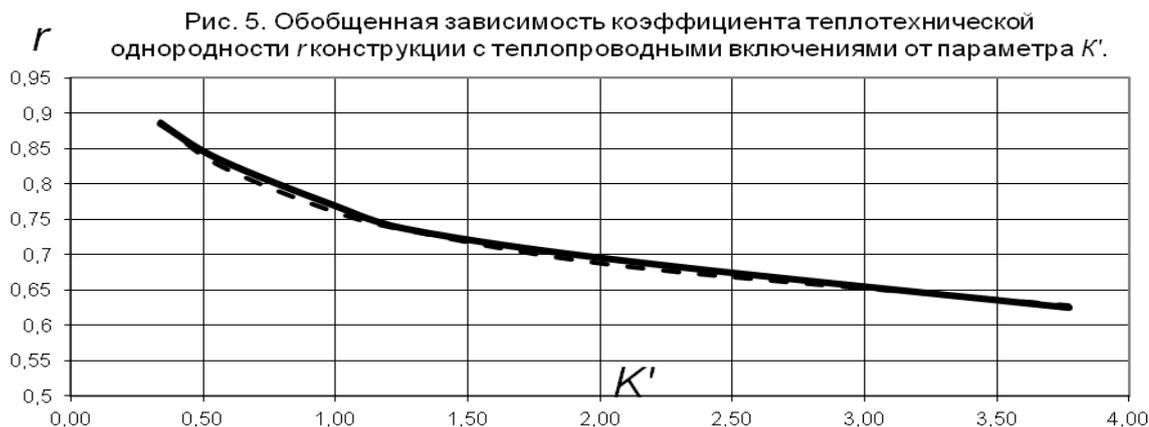
Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с теплопроводными включениями в настоящее время ведется с использованием коэффициента теплотехнической однородности. Этот коэффициент показывает, какую долю от условного сопротивления теплопередаче стены составляет приведенное сопротивление теплопередаче, вычисленное с учетом трехмерности температурного поля. Оценку коэффициента теплотехнической однородности наружной стены с теплопроводными включениями типа трехслойных панелей с гибкими связями можно осуществлять по рисунку 5 в зависимости от отношения $K' = F_{кр}\lambda_{к}/(F_{фас}\lambda_{ут})$ суммарной тепловой проводимости связей к проводимости стены без учета связей, где $F_{кр}$ и $F_{фас}$ – площадь сечения кронштейнов и фасада, $\lambda_{к}$ и $\lambda_{ут}$ – теплопроводность материала кронштейнов и утеплителя.

В этом случае вместо уравнения (1) использовался его аналог для осесимметричного случая:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda(r, z) r \frac{\partial t}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(r, z) \frac{\partial t}{\partial z} \right) = 0 \quad (6)$$

Здесь r – расстояние в плане от рассматриваемой точки до оси теплопроводного включения, z – расстояние вдоль нормали до поверхности стенки, t и $\lambda(r, z)$ – соответственно температура, °С, и теплопроводность материала стенки, Вт/(м·К), в точке с координатами r и z . В этом случае условия на стыках учитываются автоматически, с помощью задания пространственного распределения теплопроводности материала.

Численный расчет проводился так же по разработанной программе для ЭВМ на языке Fortran.



Зависимость на рисунке 5 хорошо аппроксимируется следующим выражением (пунктирная линия):

$$r = 0.76(K')^{-1/7} \quad (7).$$

Использование полученных зависимостей дополнительных теплотерь через угол и откосы от отношения $R_{o,усл}/R_B$ позволяет в ряде случаев доказать, что конструкция наружной стены на самом деле удовлетворяет требованиям по приведенному сопротивлению теплопередаче, в то время как при расчете по данным В.Н.Богословского это условие не будет выполняться. Дело здесь в том, что эти дополнительные потери теплоты всегда оказываются меньше, чем их предельные значения, указанные в работах В.Н.Богословского и фактически соответствующие граничным условиям 1-го рода для уравнения (1). Таким образом, учет условий 3-го рода дает возможность оценить дополнительные теплотери более точно для реального соотношения $R_{o,усл}/R_B$.

С точки зрения безопасной эксплуатации ограждений и здания в целом представляет интерес период, в течение которого на ее внутренней поверхности температура понижается до какого-либо определенного значения, оставаясь при этом выше нуля. Например, это может быть точка росы или уровень, задаваемый допустимым перепадом между температурой на поверхности и температурой внутреннего воздуха по санитарно-гигиеническим соображениям.

Известно, что решение дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности для зависимости относительной избыточной температуры $\theta_{ст}$ на внутренней поверхности стены от времени с момента начала охлаждения в безразмерном виде первоначально должно выглядеть следующим образом:

$$\theta_{ст} = A - B \cdot \sqrt{Fo}, \quad (8),$$

где $Fo = \frac{\tau}{\lambda_s c \rho (\sum R_{ст})^2}$ – безразмерный критерий Фурье;

$\theta_{ст} = \frac{t_{ст} - t_n}{t_s - t_n}$ – безразмерная температура на внутренней поверхности для текущего момента времени τ .

Коэффициенты A и B зависят от конструкции стены и условий теплообмена, и могут быть получены численным расчетом. Коэффициент A , вообще говоря, должен

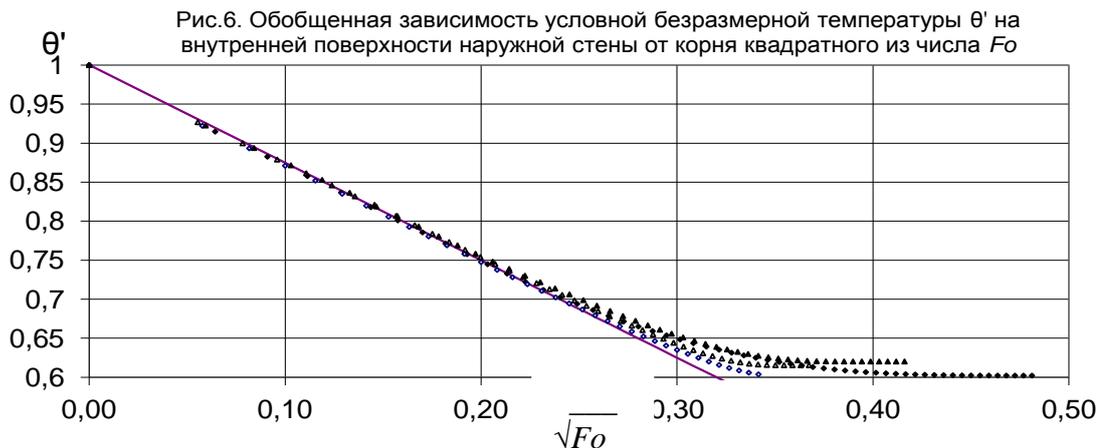
быть равен θ_0 – безразмерной избыточной температуре для начального момента $\tau_0 = 0$. Ясно, что $\theta_0 = 1 - R_B/R_0$. Здесь R_0 – сопротивление стены теплопередаче, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$. Величина $t_{\text{ст}}$, К, обозначает действительную текущую температуру на внутренней поверхности стены, параметр $\Sigma R_{\text{сл}}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$, представляет собой суммарное термическое сопротивление всех слоев стены, а c , Дж/(кг·К) и ρ , кг/м³ – соответственно удельная теплоемкость и плотность материального слоя, обращенного в помещение.

Результаты численного решения по программе для ЭВМ для различных конструкций стен представлены на рисунке 6. Легко видеть, что при $0.04 < \sqrt{Fo} < 0.25$, т.е. если $0.0016 < Fo < 0.063$, результаты очень хорошо аппроксимируются выражением (5) с коэффициентом $B = 1.22$ и наибольшим отклонением около 0.02. При этом, однако, $A = 0.99$ практически независимо от R_B/R_0 для всех исследованных вариантов. При дальнейшем росте Fo начинается замедление охлаждения, связанное с тем, что температурная волна проникает уже на всю глубину конструкции. Таким образом, сопоставление с численным расчетом ограничивает применение выражения (5) областью $Fo < 0.25$.

Для избыточной температуры в наружном углу численный расчет по программе для ЭВМ с последующей обработкой в безразмерных величинах дает зависимость для $\theta_{\text{ст}}$ в виде (9):

$$\theta_{\text{ст}} = 0.9 \exp(-2.51\sqrt{Fo}). \quad (9)$$

Следовательно, температура в углу понижается сначала быстрее, а потом, наоборот, медленнее, чем вдали от угла. Это обстоятельство необходимо учитывать при оценке теплотехнической безопасности подобных элементов ограждений.



Таким образом, полученные результаты дают возможность достаточно точной инженерной оценки теплозащитных свойств современных ограждений с трехмерным температурным полем на этапе расчета энергопотребления здания и принятия основных решений по реализации энергосберегающих мероприятий.

Третья глава посвящена совершенствованию методов нормирования энергосберегающих технических решений и построению методики оценки энергопотребления здания, соответствующей предложенным в работе принципам нормирования энергопотребления, основанным на комплексном подходе к энергосбережению и применению малозатратных энергосберегающих мероприятий, их взаимной увязке и взаимозаменяемости, и свободным от ошибок, присутствующих в действующих нормативных документах.

С экономической точки зрения энергосбережение не является самоцелью, а лишь средством для снижения суммарных затрат на возведение и эксплуатацию здания. Поэтому всегда представляет интерес вопрос о выборе оптимального сочетания

инженерных решений, обеспечивающих экономически обоснованное снижение энергопотребления. Но для этого необходимо представлять себе структуру энергетического баланса здания и связанные с ней возможности изменения энергозатрат по различным составляющим баланса.

В работе проанализированы данные исследований ряда авторов для различных категорий зданий (таблица 1). В некоторых случаях сведения по доле нагрузки ГВС отсутствовали, поэтому производился пересчет, исходя из среднего уровня в 26% (эти значения указаны в скобках).

Таблица 1. Тепловой баланс жилых зданий (осредненные значения).

| № | Источник | Доля в общих энергозатратах, % | | | | | | |
|----|---|--------------------------------|------------|-------|-------|---------------|---------------------------------|-----------------|
| | | Трансмиссионные теплопотери | | | | Ин-фильтрация | Всего на отопление и вентиляцию | ГВС |
| | | Стены | Чердак Пол | Окна | Всего | | | |
| 1 | СПБПромстрой | 8–20 | 6–8 | 12–14 | 28–42 | 30–48 | 70–78 | 22–30 |
| 2 | В.А.Епифанов | 16.3 | 5.9 | 10.4 | 32.6 | 41.4 | (74) | (26) |
| 3 | Ю.А.Матросов, И.Н.Бутовский, Д.Гольдштейн | | | | 49.0 | 25.3 | 74.3 | 25.7 |
| 4 | С.Л.Байдаков, Е.Г.Гашо, С.М.Анохин. | | | | | | 57.8 (69.1)* | 42.2 (30.9)* |
| 5 | Е.М.Васина, Е.Г.Гашо | | | | | | 63.7 (74.2)* | 36.3 (25.8)* |
| 6 | «Инсолар-Инвест» | | | | 39.2 | 34.8 | (74) | (26) |
| 7 | «Инсолар-Инвест», Ю.А.Матросов, К.И.Лушин | | | | 36.3 | 37.7 | (74) | (26) |
| 8 | Пересч.п.7 на отопит. период | | | | 44.7 | 29.3 | (74) | (26) |
| 9 | Стандарт РНТО | | | | 41.8 | 33.4 | 75.2 | 24.8 |
| 10 | НИЦЭ (Н.Новгород) | 22 | | 15–22 | 37–44 | 30–37 | (74) | (26) |

*) за скобками – в целом за год, в скобках – пересчет на отопительный период

Для сравнения в таблице 2 приведены данные по фактическому энергопотреблению общественных зданий – образовательных учреждений высшего профессионального образования (ВПО), включая учебные и вспомогательные корпуса, а также здания общежитий в 2002 – 2006 г.г. по данным различных источников.

Таблица 2. Фактическое энергопотребление зданиями ВПО.

| Ед. изм. | Источник | Отопление | Подогрев воздуха и ГВС | Суммарное теплотребление | Потребление электроэнергии | Всего |
|--|---|-----------|------------------------|--------------------------|----------------------------|-------|
| Гкал/(м ² ·г.) | Л.В.Дудникова, О.В.Скуднова, Н.А.Дудникова. | 0.2 | 0.22 | 0.42 | – | – |
| кВт·ч/(м ² ·г.) | | 233 | 250 | 488 | 45 | 533 |
| % | | 43.71 | 47.85 | 91.56 | 8.44 | 100 |
| тыс.Гкал/г. | А.А.Дульзон | 52 | 78 | 130 | – | – |
| ГВт·ч/г. | | 60 | 91 | 151 | 13 | 164 |
| % | | 36.58 | 55.49 | 92.07 | 7.93 | 100 |
| ГВт·ч/г. | Калининградский центр энергосбережения | – | – | 1.368 | 0.27 | 1.638 |
| % | | – | – | 83.52 | 16.48 | 100 |
| Стандарт РНТО (здания постройки до 1995г.) | | 45.88 | 44.41 | 90.28 | 9.72 | 100 |

Анализируя таблицы 1 и 2, легко видеть, что трансмиссионные теплотери через ограждающие конструкции и даже в целом затраты на отопление в среднем составляют менее половины от суммарных энергозатрат на функционирование здания. Поэтому основное внимание повышению теплозащиты ограждений, особенно несветопрозрачных, не оправдано. В то же время сопоставимое место в энергетическом балансе занимают расходы на подогрев воздуха, главным образом в системах механической вентиляции. Соответственно в первую очередь следует рассматривать мероприятия, направленные на сокращение именно этой составляющей энергозатрат. Наименее затратным здесь является применение утилизации теплоты вытяжного воздуха для первичного подогрева притока, особенно в аппаратах с промежуточным теплоносителем. В отличие от других способов теплоутилизации, такие аппараты занимают мало места и собираются из типовых теплообменных устройств, а также не требуют объединения приточной и вытяжной установки в единый агрегат. При коэффициенте температурной эффективности до $\frac{1}{2}$ это дает снижение суммарных энергозатрат также в среднем на 20 ... 23% от первоначального уровня.

Что касается затрат на подогрев воды для ГВС, приведенные результаты показывают, что в объектах общественного назначения их доля, как правило, невелика. Однако в жилых зданиях она может достигать до 30 – 35 %, что также дает значительный резерв для снижения энергопотребления. Наконец, существенный источник, по крайней мере в общественных зданиях, имеется благодаря значительной доле затрат электроэнергии, составляющей в соответствии с таблицей 2 около 13% в энергетическом балансе. Для этого отопительные приборы должны быть оборудованы автоматическими терморегуляторами.

Концепция методики, разработанной автором и вошедшей в Стандарт РНТО, сводится к следующему. Прежде всего, эти нормы распространяются на все виды жилых и общественных зданий. Кроме того, суммарное удельное энергопотребление здания и его снижение за счет использования энергосберегающих мероприятий не фиксируется жестко, а устанавливается по договору между заказчиком и подрядчиком. Это позволяет, оставаясь в рамках требований по безопасности в соответствии с ЗТР, применять в каждом конкретном случае наиболее оптимальное с энергетической и экономической точки зрения сочетание мер по снижению энергопотребления.

Еще одна особенность рассматриваемой концепции заключается в том, что вычисляемые суммарные энергозатраты включают энергопотребление здания не только на отопление и вентиляцию, но и на ГВС, а также на другие нужды (освещение, привод инженерных систем и др.). Это позволяет достигать наиболее комплексного энергосбережения за счет рационального перераспределения затрат между максимально возможным числом составляющих.

Для унификации методики в зданиях с естественной и механической вентиляцией затраты на отопление учитывают только трансмиссионные теплотери, а инфильтрационная составляющая включена в теплотраты на вентиляцию. В этом случае в явном виде обеспечивается учет вида вентиляции (естественная или механическая) и режима ее работы в течение суток, а также энергосберегающие мероприятия типа теплоутилизации и вообще использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) за счет соответствующих понижающих коэффициентов. Наконец, составляемый в итоге энергетический паспорт здания содержит только основные интегральные величины, необходимые для оценки и нормирования энергопотребления здания, а именно климатические и конструктивные параметры и компоненты годовых энергозатрат.

Оценка энергопотребления здания с использованием рассматриваемой методики основана на сравнении двух вариантов устройства ограждающих конструкций и

инженерных систем объекта. За базисный вариант (далее – Вар.1) принимается здание без энергосберегающих мероприятий и с наружными ограждениями по СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника» до внесения изменений №3 и №4, но с использованием в качестве расчетной температуры наиболее холодных суток обеспеченностью 0.92 по данным СНиП 23-01-99* «Строительная климатология». За альтернативный вариант (Вар.2) принимается использование возможных энергосберегающих мероприятий:

- Утепление несветопрозрачных наружных ограждений до оптимального уровня.
- Замена оконных блоков на более энергоэффективные.
- Утилизация теплоты вытяжного воздуха.
- Установка в системах ГВС индивидуальных водосчетчиков, смесителей с левым расположением крана горячей воды и кранов с регулируемым напором, а также применение ГНУ для подогрева воды.
- Установка автоматических терморегуляторов у отопительных приборов, дающая возможность учесть бытовые тепловыделения, а также тепlopоступления от солнечной радиации через окна.
- Другие мероприятия, возможные в конкретном проекте.

Расчет сопротивлений теплопередаче по Вар.2 производится по методике Г.С.Иванова, основанной на технико-экономической оптимизации теплозащитных свойств несветопрозрачных ограждений, исходя из текущей стоимости теплоизоляционных материалов и единовременных затрат на устройство теплоизоляции. Получаемые при этом значения сопротивления теплопередаче несветопрозрачных ограждений по Вар.2 при этом везде ниже, чем требуемые по таблице 1Б СНиП II-3-79* или, что то же самое, таблице 4 СНиП 23-02-2003, и примерно соответствуют уровню таблицы 1А СНиП II-3-79*.

Оценка энергопотребления зданий сводится к определению их энергетической эксплуатационной характеристики q . Она равна удельным суммарным затратам $\sum Q_i$ тепловой (на компенсацию трансмиссионных тепlopотерь, подогрев вентиляционного и инфильтрующегося воздуха и подогрев воды для ГВС) и электрической энергии, кВт·ч/(м²·г.), на 1 м² отапливаемой площади здания за один отопительный период в годовом цикле эксплуатации за вычетом тепlopоступлений $Q_{тп}$ от людей, электробытовых приборов и солнечной радиации через светопроемы:

$$q = \left(\sum Q_i - Q_{тп} \right) \cdot 10^3 / F_{om} \quad (10).$$

Таким образом, предлагаемая методика действительно позволяет учитывать все основные составляющие энергетического баланса здания, а при расчете каждой составляющей – все основные энергосберегающие мероприятия с помощью соответствующих понижающих коэффициентов. После расчета энергетической эксплуатационной характеристики q_1 и q_2 по обоим вариантам определяется относительное снижение энергопотребления для Вар.2 за счет принятых решений по энергосбережению:

$$\Delta q = (1 - q_2 / q_1) \cdot 100\% \quad (11)$$

Далее величина Δq сравнивается с требуемым снижением энергопотребления, заданным заказчиком, и делается вывод о достаточности принятого комплекса энергосберегающих мероприятий. После этого производится расчет абсолютного и относительного снижения энергопотребления по каждому мероприятию и оценивается их сравнительная энергетическая эффективность. Расчет завершается составлением энергетического паспорта здания и оценкой экономической целесообразности при-

нятого решения по снижению энергопотребления. В качестве желательного уровня снижения энергопотребления в Стандарте РНТО принята величина 50%.

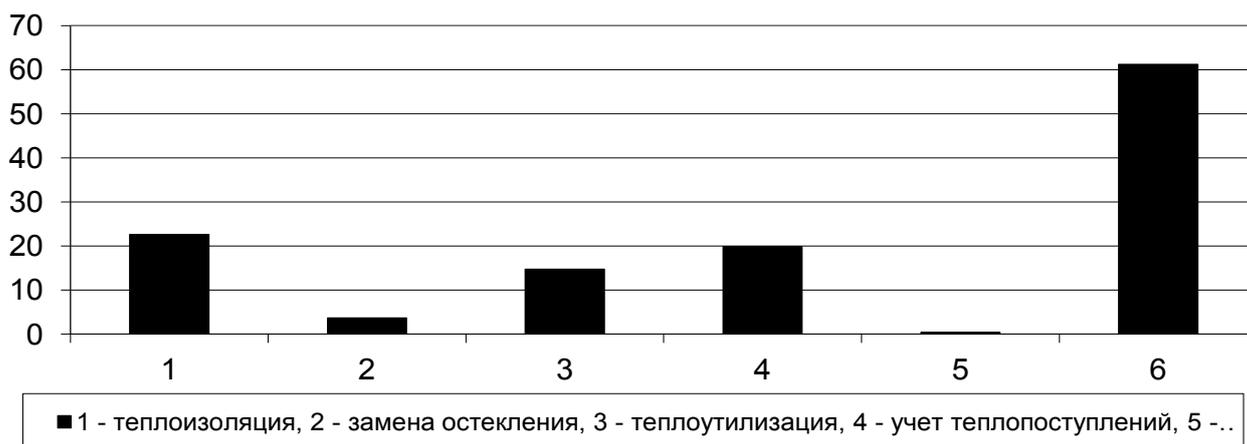
В процессе выполнения работы были проведены расчеты по предлагаемой методике для группы из 23 общественных зданий различных размеров и назначения. В таблице 3 приводятся основные результаты для характерного здания-представителя, включенные в Стандарт РНТО, а обобщенные для всей группы – в виде столбчатой диаграммы на рисунке 7.

Таблица 3. Сравнительная эффективность энергосберегающих мероприятий для здания средней школы по типовому проекту 221-1-25-387.

| Энергосберегающие мероприятия | Снижение энергопотребления | |
|---|----------------------------|------|
| | кВт·ч/(м ² ·г.) | % |
| Утепление несветопрозрачных наружных ограждений | 81.7 | 21.6 |
| Замена двойного остекления на тройное | | |
| - повышение термического сопротивления | 12.9 | 3.4 |
| - снижение неорганизованного воздухообмена | 4.1 | 1.1 |
| Утилизация теплоты вытяжного воздуха | 44.3 | 11.7 |
| Установка смесителей с левым расположением крана горячей воды и кранов с регулируемым напором | 0.4 | 0.1 |
| Учет бытовых тепловыделений | 76.2 | 20.1 |
| Учет теплопоступлений от солнечной радиации через окна | 28.9 | 7.6 |
| Итого | 248.5 | 65.6 |

Рисунок 7 показывает, что применение рассматриваемого комплекса энергосберегающих мероприятий в среднем позволяет добиться даже более глубокой экономии – порядка 60 – 62%, т.е. почти в три раза. Результаты расчетов по предлагаемой методике для всей группы исследованных зданий показывают, что относительная энергетическая эффективность решений по энергосбережению обнаруживает чрезвычайную статистическую устойчивость. Ее уровень для разных мероприятий так же можно оценить по рисунку 7.

Рис.7. Среднее относительное снижение энергопотребления в общественных зданиях за счет различных энергосберегающих мероприятий, %



При этом вклад каждого мероприятия в относительное снижение энергопотребления различен, но для всех зданий это распределение имеет сходный вид. Адекватность методики подтверждается сопоставлением получаемой по результатам расчетов структуры энергетического баланса с экспериментальными данными разных авторов, приведенными в таблицах 1 и 2. Легко видеть, что возможные расхождения заведомо лежат в пределах точности инженерных расчетов.

Поэтому вычисленные средние значения можно с большой уверенностью использовать для предварительной ориентировочной оценки энергетического баланса и вклада каждого мероприятия в общее снижение энергопотребления. Суммарная экономия энергии весьма значительна и мало отличается для большинства зданий, находясь в пределах 55 – 65%, причем на долю утепления несветопрозрачных ограждений приходится, как правило, всего около 20 %, подтверждая тем самым предварительные выводы, сделанные выше по результатам анализа энергетического баланса. При этом для каждого здания с заданной формой в плане и определенной отопляемой площадью существует оптимальная этажность в смысле минимального значения коэффициента компактности k_e^{des} , м⁻¹. Однако при реализации рассматриваемого комплекса энергосберегающих мероприятий влияние компактности на энергетические показатели является более сложным (см. рисунок 8). В результате более выгодными при фиксированной отопляемой площади могут оказаться конструкции зданий с повышенной этажностью и соответственно более высокой площадью светопроемов и одновременно уменьшенной площадью пола и перекрытий, т.е. объекты типа «башня».



Это связано с тем обстоятельством, что при использовании энергоэффективного остекления и автоматического регулирования теплоотдачи отопительных приборов, позволяющего полезно использовать теплотпступления в помещения, дополнительные теплотптери, связанные с ростом площади светопроемов, оказываются в целом за отопительный период меньше, чем приток теплоты от солнечной радиации. Одновременно получаем, что требования СНиП 23-02-2003 и некоторых других нормативных документов по ограничению максимального коэффициента остекления в условиях применения рассматриваемого комплекса решений по снижению энергопотребления избыточны, и площадь светопроемов следует выбирать только по СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение», исходя из необходимой естественной освещенности. В то же время для упрощения и удешевления решений по снижению энергопотребления необходимы ограничения на коэффициент компактности здания, а также различные требования к зданиям с различной компактностью.

Таким образом, полученные результаты дают возможность достаточно точной инженерной оценки основных составляющих энергетического баланса зданий и влияния на них энергосберегающих мероприятий на этапе расчета энергопотребле-

ния здания и принятия основных решений по выбору теплозащиты его ограждений и устройству инженерных систем.

Четвертая глава содержит предложения по совершенствованию нормирования теплозащиты и некоторые аспекты оптимизации принимаемых решений по энергосбережению. В частности, рассматривается нормирование предложенной В.Г.Гагариным и В.В.Козловым удельной характеристики расхода тепловой энергии (аналога величины q_2 из таблицы 3, но без учета электропотребления и теплотрат на ГВС) q_{om}^{mp} , Вт/(м³·К), для зданий в зависимости от их отапливаемого объема V_h и величины D_d . Для жилых зданий соответствующие значения приведены в таблице 4.

Таблица 4. Предлагаемая базовая удельная характеристика расхода тепловой энергии для жилых зданий

| $V_h, \text{ м}^3$ | Значения q_{om}^{mp} при различных $D_d, \text{ К} \cdot \text{сут}$: | | | | |
|--------------------|--|-------|-------|-------|-------|
| | 1000 | 3000 | 5000 | 8000 | 12000 |
| 300 | 1.025 | 0.861 | 0.731 | 0.606 | 0.507 |
| 600 | 0.807 | 0.700 | 0.604 | 0.509 | 0.433 |
| 1200 | 0.639 | 0.576 | 0.505 | 0.433 | 0.376 |
| 2500 | 0.507 | 0.478 | 0.428 | 0.374 | 0.331 |
| 6000 | 0.402 | 0.400 | 0.365 | 0.327 | 0.295 |
| 15000 | 0.332 | 0.348 | 0.324 | 0.295 | 0.271 |
| 50000 | 0.277 | 0.308 | 0.291 | 0.271 | 0.252 |
| 200000 | 0.268 | 0.282 | 0.272 | 0.256 | 0.241 |

При этом показано, что составляющие величины q_{om}^{mp} – удельный расход теплоты на вентиляцию (аналог Q_2) и удельные (на 1м³) бытовые теплопоступления и теплопоступления от солнечной радиации (аналоги $q_{быт}$ и $Q_{рад}$) практически не связаны с V_h и должны нормироваться только в зависимости от назначения здания и режима его эксплуатации, а теплопоступления – еще и от D_d .

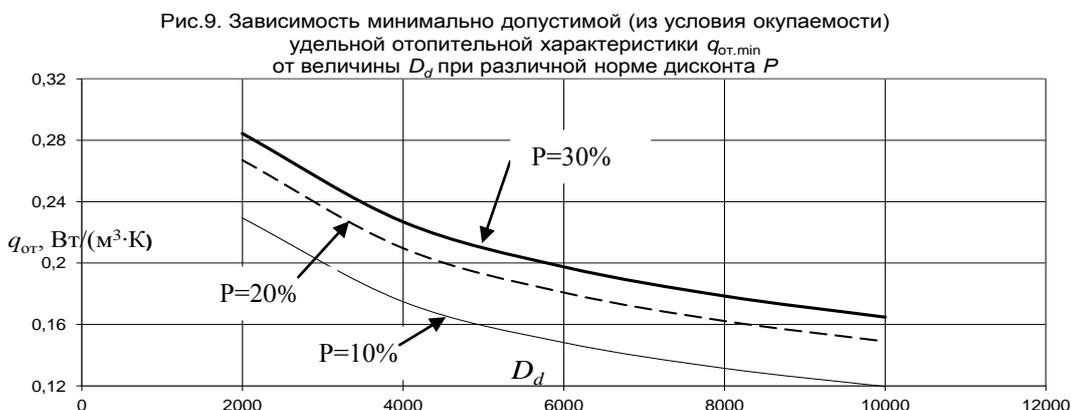
Кроме того, исследованы особенности применения наиболее типичных энергосберегающих технических решений в различных зданиях, в том числе дополнительной теплоизоляции несветопрозрачных ограждений и установки современного энергоэффективного остекления, а также использования утилизации теплоты вытяжного воздуха. При этом обоснован объем и границы применимости рассматриваемых мероприятий в условиях сохранения их малозатратности и быстрокупаемости, а также решен ряд смежных вопросов, касающихся, в частности, установления вероятностно-статистической связи между расчетными параметрами наружного климата (для сокращения числа переменных в используемых зависимостях), особенностей реализации энергосберегающих мероприятий в высотных зданиях и некоторые другие.

Расчеты показывают, что существует минимальный уровень удельных затрат теплоты на отопление $q_{от}$, Вт/(м³·К), зависящий от стоимости теплоизоляции C_{yt} , руб/м³, и ее теплопроводности λ_{yt} , Вт/(м·К), затрат на систему отопления $C_{от}$, руб на 1Вт установленной мощности, тарифа на тепловую энергию C_t , руб/Гкал, нормы дисконта p , % годовых, и в меньшей степени от конструктивных характеристик здания, ниже которого капиталовложения в теплоизоляцию экономически не оправданы. Выражение для оптимального значения $q_{от}$ получается при использовании метода совокупных дисконтированных затрат (подробнее см. ниже):

$$q_{om} = \sqrt{\frac{C_{ко.м} (k_e^{des})^2 C_{ym} \lambda_{ym}}{C_{om} \cdot 0.698 \sqrt{D_d} + D_d \cdot 20.64 \cdot 10^{-6} C_m \cdot 100 / p}} \cdot (12)$$

Здесь $C_{\text{комп}}$ – параметр, учитывающий дополнительные теплотери и соотношение между площадью и характерными коэффициентами теплопередачи для теплоизолированных конструкций и окон. В первом приближении в условиях действующих норм по теплозащите для общественных зданий характерное значение $C_{\text{комп}}$ составляет порядка 2 – 2.2, для жилых – около 2.6 – 3.0.

Минимальный уровень $q_{\text{от}}$ на 10 – 20% выше нормируемого в СНиП 23-02-2003 (рисунок 9). Заметим, что в формулу (12) в явном виде не входит объем здания, поэтому учет конструктивных особенностей осуществляется только через показатель компактности и коэффициент $C_{\text{комп}}$.

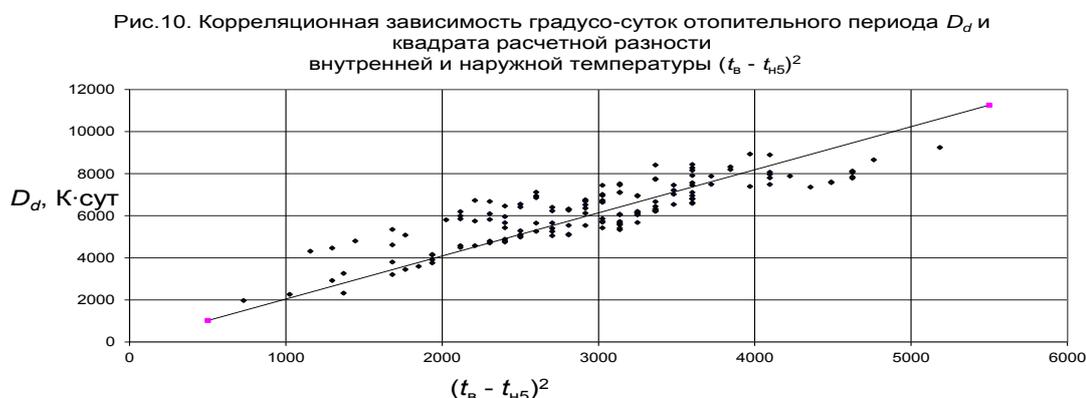


При этом следует иметь в виду, что годовые затраты на тепловую энергию пропорциональны D_d , а стоимость системы отопления – расчетной разности температуры внутреннего и наружного воздуха ($t_{\text{в}} - t_{\text{н}}$), где роль $t_{\text{н}}$ играет $t_{\text{н5}}$ – средняя температура наиболее холодной пятидневки по СНиП 23-01-99*.

Поэтому по результатам анализа климатических параметров, приведенных в СНиП 23-01-99* для 150 городов РФ была получена корреляционная зависимость D_d от $(t_{\text{в}} - t_{\text{н5}})$, которая выглядит так:

$$D_d = (2.05 \pm 0.18)(t_{\text{в}} - t_{\text{н5}})^2 \quad (13)$$

Соответствующее поле корреляции показано на рисунке 10. Как видно, здесь точки достаточно тесно группируются около прямой, описываемой формулой (13), с очень высоким коэффициентом корреляции, равным 0.99. Отсюда коэффициент при $\sqrt{D_d}$ в знаменателе формулы (12) $0.698 = 1/\sqrt{2.05}$.



Существует также максимальная стоимость теплоизоляционного материала, зависящая от D_d , при превышении которой использование материала в конструкциях здания становится нецелесообразным. Ее значение можно получить из формулы (7)

при заданной величине $q_{от}$:

$$C_{ym.max} = \frac{q_{от}^2 (C_{от} \cdot 0.698 \sqrt{D_d} + D_d \cdot 20.64 \cdot 10^{-6} C_m \cdot 100 / p)}{C_{ком} (k_e^{des})^2 \lambda_{ym}} \quad (14)$$

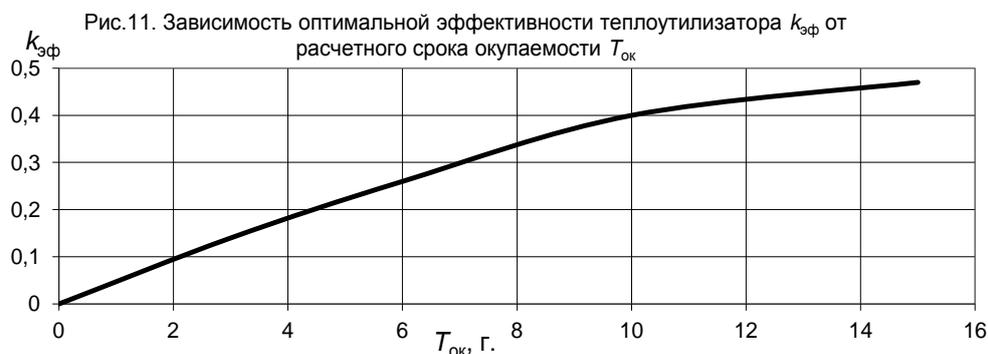
Соответствующие значения приведены в таблице 5.

Таблица 5. Предельная экономически целесообразная стоимость теплоизоляции.

| $q_{от}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ | Значения D_d | | | | |
|---|--|------|------|------|-------|
| | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 |
| | Значения $C_{yt.max}, \text{руб}/\text{м}^3$ | | | | |
| 0.4 | 2197 | 3673 | 5031 | 6326 | 7583 |
| 0.35 | 1682 | 2812 | 3852 | 4844 | 5806 |
| 0.3 | 1236 | 2066 | 2830 | 3559 | 4265 |
| 0.25 | 858 | 1435 | 1965 | 2471 | 2962 |
| 0.2 | 549 | 918 | 1258 | 1582 | 1896 |
| 0.15 | 309 | 517 | 707 | 890 | 1066 |
| 0.1 | 137 | 230 | 314 | 395 | 474 |

Оптимальное повышение теплозащиты заполнений светопроемов зависит от соотношения их стоимости и стоимости применяемого теплоизоляционного материала и не зависит от коэффициента остекления здания. При выборе энергоэффективного остекления необходимо исходить из требования, чтобы снижение расходов на утепление несветопрозрачных конструкций, допускаемое за счет повышения теплозащиты окон, было не меньше, чем удорожание остекления после его замены, поскольку только тогда достигается экономический эффект от такой замены.

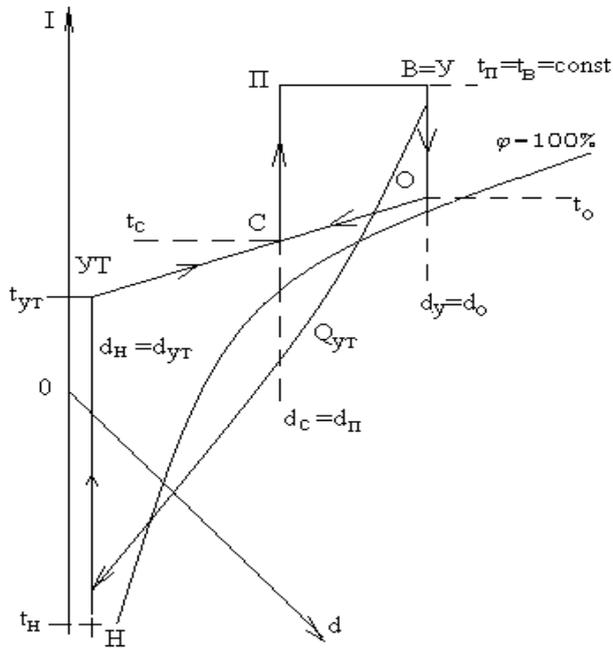
Коэффициент температурной эффективности устройств утилизации теплоты вытяжного воздуха $k_{эф}$ в схеме с промежуточным теплоносителем должен приниматься близким к максимально возможному с технической точки зрения, т.е. до 0.5 (рисунок 11).



Получающийся в расчетах срок окупаемости, в зависимости от принятого $k_{эф}$ достигающий величины 15 лет, т.е. вплоть до расчетного срока амортизации оборудования $T_{ам}$, является в некотором отношении предельным, возникающим при учете всех капитальных затрат. Если же учитывать только дополнительные капиталовложения непосредственно в теплоутилизацию, как это будет сделано в последней главе, срок окупаемости действительно сокращается до 3 – 4 лет.

Таким образом, полученные результаты дают возможность установления предельных характеристик энергосберегающих мероприятий на этапе принятия основных решений по выбору теплозащиты ограждений здания и устройству его инженерных систем.

В пятой главе рассматриваются способы оценки энергетической эффективности некоторых энергосберегающих мероприятий, в первую очередь в системах механической вентиляции и кондиционирования воздуха, и методы ее повышения. С помощью аналитических и численных решений систем дифференциальных и алгебраических уравнений теплового баланса и теплопередачи получены простые инженерные формулы для оценки $k_{эф}$ теплоутилизаторов различных конструкций. Однако

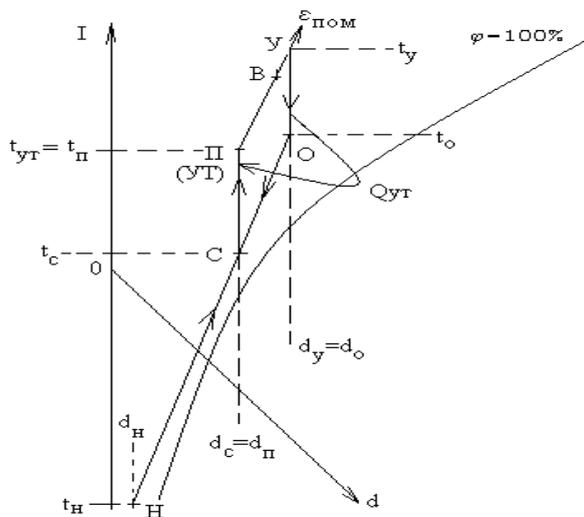


максимально возможное снижение энергопотребления на подогрев притока (до 80 – 82%) достигается в схемах с комбинированной обработкой воздуха (теплоутилизация + рециркуляция), поэтому подобные решения (см., например, рисунки 12 и 13) могут быть рекомендованы в случаях, когда рециркуляция допустима, например, при малом числе персонала или при значительных влаговыведениях (бассейны и т.п.).

← Рис.12. Схема процесса обработки воздуха с теплоутилизацией, рециркуляцией и вторичным подогревом для бассейна.

От существующих рекомендаций в данной области, предложенных, например, О.Я.Кокориным, схема рисунка 12 отличается тем, что суммарный расход воздуха проходит через все теплообменники, кроме самого первого (для первичного подогрева наружного воздуха), что позволяет использовать унифицированные каркасно-панельные установки постоянного поперечного сечения.

Схема рисунка 13 позволяет в принципе вообще отказаться от дополнительного подогрева притока, поскольку после пропуска смеси наружного и рециркуляционного воздуха через калорифер-утилизатор мы сразу получаем нужную температуру.



← Рис.13. Схема процесса обработки воздуха с рециркуляцией и теплоутилизацией для машинного зала ЭВМ.

Расчет нестационарного теплового режима помещения с привлечением теории автоматического управления показывает, что использование собственной теплоустойчивости помещений, обслуживаемых автоматизированными системами вентиляции и кондиционирования воздуха, позволяет сократить расчетный воздухообмен и, соответственно, затраты на по-

догрев и транспортирование воздуха до 50% от вычисляемых по максимальной нагрузке на помещение.

Функционирование систем механической вентиляции и кондиционирования воздуха в высотных зданиях имеет значительные особенности, поэтому для определения энергопотребления таких зданий и принятия решений по его снижению необходим расчет воздушного режима таких зданий с учетом изменения скорости ветра по высоте и перетекания воздуха между помещениями. Минимальное энергопотребление достигается при уменьшении площади остекления с высотой, а из соображений безопасности заполнения светопроемов на верхних этажах должны быть неоткрываемыми.

Шестая глава посвящена технико-экономическому обоснованию принятого комплекса энергосберегающих мероприятий. По результатам исследований предложены оптимальные сочетания таких мероприятий, обеспечивающие максимальный энергосберегающий эффект при минимальных материальных и энергетических затратах в различных климатических условиях для разных значений цен на материалы и оборудование и тарифов на энергоносители.

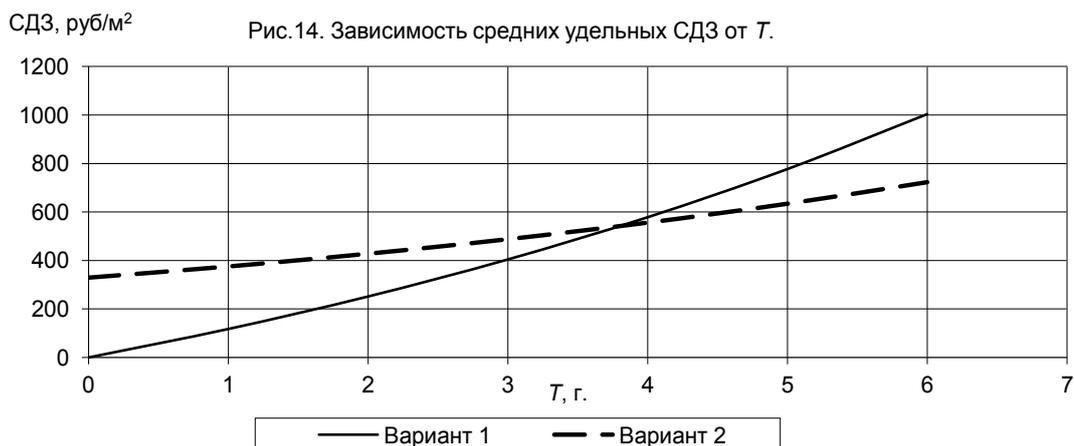
В условиях рыночной экономики технико-экономическую оценку наиболее целесообразно вести по величине совокупных дисконтированных затрат СДЗ, связанных с дополнительными капиталовложениями и уровнем годовых эксплуатационных издержек с учетом изменения цен и тарифов на энергоносители, а также рисков капиталовложений. Тогда СДЗ, приведенные к концу расчетного срока T , лет, т. е. промежутка времени с момента ввода здания в эксплуатацию, для каждого варианта определяются с использованием методики, принятой в работах В.Г.Гагарина, по следующей формуле:

$$\text{СДЗ} = K \cdot (1 + p/100)^T + \mathcal{E} \cdot [(1 + p/100)^T - 1] \cdot (100/p), \text{ руб}; \quad (15)$$

где K – общие капитальные затраты, руб; \mathcal{E} – суммарные годовые эксплуатационные издержки, руб/г.; p – норма дисконта, %. В расчетах ее можно принимать равной ставке рефинансирования ЦБ РФ. При использовании соотношения (15) удастся четко выявить критерий экономической целесообразности, который сводится к превышению годовой экономии расходов на тепловую энергию над годовым процентом за кредит или, если капиталовложения осуществляются из собственных средств, над упущенной прибылью, которую можно было бы получить, если вместо затрат на энергосбережение соответствующую сумму положить в банк.

Для оценки эффективности дополнительных капитальных вложений и определения срока их окупаемости необходимо построить графики зависимости СДЗ₁ и СДЗ₂ по Вар.1 и Вар.2 от T и найти их точку пересечения, определяющую графически расчетный срок окупаемости. При этом удобно сравнивать только дополнительные затраты и считать, что в Вар.1 $K = 0$, а в Вар.2, наоборот, $\mathcal{E} = 0$. Применительно к частному случаю оценки целесообразности утилизации теплоты в системах механической вентиляции эта методика была введена автором в учебный процесс.

На рисунке 14 приведены зависимости средних удельных СДЗ на 1 м² отапливаемой площади от T для группы зданий, рассмотренных в 3-й главе, при использовании среднерыночных цен на материалы и оборудование, действующих тарифов на энергоносители и норме дисконта 10 – 11% годовых. Можно отметить, что среднее значение расчетного срока окупаемости принятого комплекса энергосберегающих мероприятий для всех рассматриваемых объектов составляет примерно 4 года.



Для окончательного решения вопроса о выборе оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий, а также глубины и последовательности их реализации были проведены многовариантные расчеты на ЭВМ, позволяющие автоматически переычислять все энергетические и технико-экономические показатели здания при изменении тех или иных входных параметров. Целью расчетов была оценка суммарных дополнительных капитальных затрат на осуществление комплекса энергосберегающих мероприятий и соответствующего снижения энергопотребления при различной степени повышения теплозащитных свойств светопрозрачных и несветопрозрачных ограждений и переменной температурной эффективности устройств теплоутилизации. При этом энергетические показатели по-прежнему вычисляются по рассмотренной ранее методике Стандарта РНТО. Это дает возможность определить зависимость дисконтированного срока окупаемости $T_{ок}$ для рассматриваемой совокупности инженерных решений от глубины их реализации и выбрать тем самым оптимальный вариант.

Такой срок аналитически определяется по формуле, рекомендуемой в работах В.Г.Гагарина, а также А.Н.Дмитриева, Ю.А.Табунщикова и др., которая может быть получена из (15):

$$T_{ок} = \frac{-\ln(1 - pT_0/100)}{\ln(1 + p/100)}, \text{ г.}, \quad (16)$$

где $T_0 = K/\dot{E}$ – бездисконтный срок окупаемости, г.

Расчеты показывают, что при существующем уровне цен на материалы и оборудование, тарифов на энергоносители, а также норме дисконта порядка 10 – 11% годовых минимальная величина $T_{ок}$ в гражданских зданиях соответствует следующей глубине реализации энергосберегающих мероприятий:

- Утепление несветопрозрачных наружных ограждений – уровень теплозащиты увеличивается в среднем в 2 – 2.4 раза по сравнению с санитарно-гигиеническими требованиями (СНиП II-3-79* до Изменений №3 и №4), но остается ниже указанного в таблице 4 СНиП 23-02-2003 на 10 – 40% в зависимости от региона (величина 10% относится к $D_d = 3000 \text{ К}\cdot\text{сут}$, 40% – к $D_d = 9000 \text{ К}\cdot\text{сут}$).

- Замена заполнений светопроемов на более энергоэффективные – как, правило, с приведенным сопротивлением теплопередаче заполнения светопроемов в пределах $0.55 - 0.8 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ (в зависимости от стоимости), что может быть обеспечено установкой оконных блоков с тройным остеклением или включающих стек-

лопакеты. Степень повышения теплозащиты принимается по соотношению стоимости теплоизоляции и заполнений светопроемов и изменяется в пределах от 1.2 до 2 раз (меньшее значение относится к более дорогим конструкциям заполнений).

- Утилизация теплоты вытяжного воздуха (только при наличии механической вентиляции с подогревом притока) – наименее затратным является применение схемы с промежуточным теплоносителем при максимально возможной температурной эффективности утилизаторов (до 0.5).

- Установка в системах ГВС индивидуальных водосчетчиков, смесителей с левым расположением крана горячей воды и кранов с регулируемым напором, а также применение ТНУ для подогрева воды (последнее – в индивидуальных и пилотных проектах).

- Установка автоматических терморегуляторов у отопительных приборов – такими регуляторами должны быть оборудованы все отопительные приборы, кроме тех, где их установка не допускается по требованиям безопасности (лестничные клетки и т.п.).

Для иллюстрации данного обстоятельства на рисунке 15 сплошной линией показаны обобщенные графики для $T_{ок}$ при изменении отношения сопротивлений теплопередаче несветопрозрачных ограждений R_2/R_1 до и после утепления в пределах от 1.5 до 3 (отношение безразмерное) в климатических условиях Москвы.

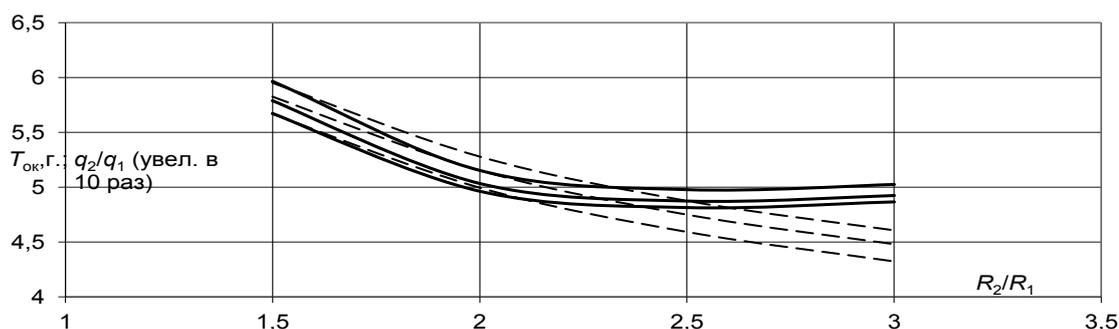


Рис. 15. Зависимость дисконтированного срока окупаемости комплекса энергосберегающих мероприятий $T_{ок}$ (сплошные линии) и относительного энергопотребления после их реализации q_2/q_1 (пунктир) от степени повышения теплозащиты несветопрозрачных ограждений R_2/R_1 . Отношение R_2/R_1 для окон: верхние линии – 1,25; средние – 1,5; нижние – 2,0. Коэффициент температурной эффективности теплоутилизаторов $k_{эф} = 0.5$.

Для других городов графики имеют аналогичный вид, отличаясь в основном абсолютными значениями $T_{ок}$. Степень повышения теплозащиты заполнений светопроемов $(R_2/R_1)_{ок}$ по отношению к минимальному уровню, отвечающему санитарно-гигиеническим требованиям, т.е. по Варианту 1, была установлена в размере 1.25 (верхняя линия), 1.5 (средняя) и 2.0 (нижняя). Коэффициент температурной эффективности теплоутилизаторов $k_{эф}$ здесь был принят максимально возможным для аппаратов с промежуточным теплоносителем, т.е. 0.5. При уменьшении $k_{эф}$ срок окупаемости монотонно возрастает.

Выводы об оптимальности предложенного комплекса инженерных решений были также подтверждены оценкой дифференциальной и интегральной эффективности инвестиций, опирающейся на теорию предельной полезности. В этом случае из условия максимизации бездисконтной эффективности \mathcal{E}'/K' суммарных относительных капитальных вложений в энергосбережение K' (по отношению к макси-

мально возможным при полной реализации всего комплекса мероприятий) получаем выражение:

$$\frac{d(\mathcal{E}/K')}{dK'} = \frac{d(f(K')/K')}{dK'} = \frac{K' df(K')/dK' - f(K')}{(K')^2} = 0 \quad (17).$$

В работе было показано, что для всех исследованных зданий \mathcal{E} зависит от K' нелинейно, и при аппроксимации $f(K')$ в виде $AK'^2 + BK' + C$ находим, что в оптимальных условиях $C = AK'^2_{\max}$, или $K'_{\max} = \sqrt{C/A}$. Результаты численных расчетов дают для Москвы, Воркуты и Краснодара соответственно $K'_{\max} = 1.046, 1.096$ и 1.017 , т.е. значения, близкие к 1, что и подтверждает наибольшую экономическую обоснованность именно предложенного комплекса решений по снижению энергопотребления в полном объеме.

Одновременно был получен экономически обоснованный уровень тарифов на тепловую энергию C_T , руб/Гкал, при централизованном теплоснабжении. При этом имеется в виду, что выручка от продажи теплоты, дополнительно производимой при когенерации, должна равняться стоимости электроэнергии, потерянной при переходе от конденсационного режима к теплофикационному. Тогда соотношение между C_T и тарифом на электрическую энергию $C_{эл}$, руб/(кВт·ч), может быть выражено формулой (18):

$$C_m = \frac{\eta_{oi} \eta_{ген} (i_{4'} - i_4)}{\eta_{m/o} (i_{4'} - i_{1'})} \cdot 1163 \cdot C_{эл}. \quad (18)$$

Здесь η_{oi} – внутренний относительный КПД турбины; $\eta_{ген}$ – КПД генератора; $\eta_{т/о}$ – КПД сетевых подогревателей; i_4 и $i_{4'}$ – энтальпия отработанного пара соответственно в конденсационном и теплофикационном режиме, кДж/кг; $i_{1'}$ – энтальпия конденсата в теплофикационном режиме, кДж/кг. Расчеты показывают, что получаемый результат примерно в 2.5 раза ниже, чем устанавливаемый производителями энергии по действующему методу распределения перепада энтальпий пара.

На рисунке 16 приведен график зависимости минимально возможной величины $T_{ок}$ от D_d по данным вычислений для Краснодара, Москвы, Новосибирска, а также для Воркуты – городов, расположенных в характерных климатических зонах РФ. Поэтому если нас интересует, когда принятая совокупность инженерных решений является малозатратной и быстрокупаемой, что определяется условием $T_{ок} < 5$ лет, рисунок 16 дает ответ: для этого D_d должны быть не менее 4500 – 5000.

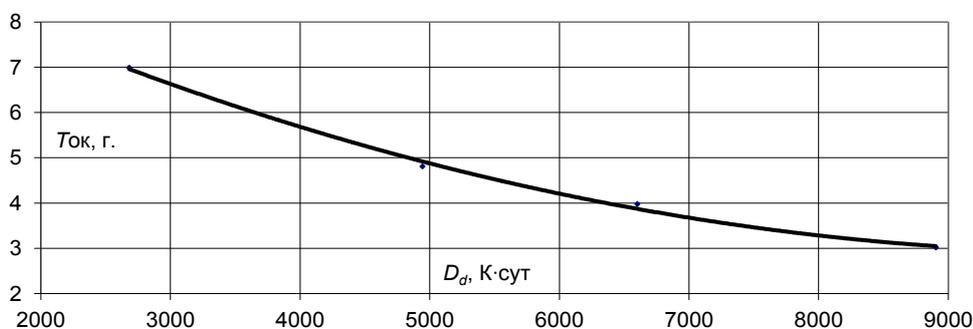


Рис.16. Зависимость минимальной величины $T_{ок}$ от D_d

Это соответствует климатическим параметрам большей части территории РФ, за исключением районов, лежащих к юго-западу от линии «С.-Петербург – Смоленск – Воронеж – Саратов». Соответствующие расчеты ввиду большого количества ва-

риантов выполнены с помощью разработанной программы для ЭВМ. Заметим, однако, что сроки окупаемости каждого отдельно взятого мероприятия могут существенно отличаться от приведенных цифр как в меньшую, так и в большую сторону. Анализ данных, приведенных ниже (таблица 6), показывает, что наименее затратным является устройство утилизации теплоты в системах вентиляции и автоматизация системы отопления.

Для сравнения в предпоследней строке таблицы 6 приведены данные по окупаемости тех же мероприятий, полученные в рамках программы TACIS Агентством по энергосбережению Республики Бурятия путем экспериментального определения снижения энергопотребления по результатам обследования зданий и учета фактических капитальных затрат. Таким образом, расчеты по рассматриваемой методике дают весьма близкую сходимость с опытными показателями, что говорит о ее достоверности и возможности применения в инженерных расчетах. В последней строке приведены сведения из работы И.М.Головных, М.Ю.Толстого, В.В.Хана, полученные в рамках реализации программы энергосбережения в бюджетной сфере Иркутской области на примере здания одной из школ региона. В данном случае сроки окупаемости несколько отличаются от средних, что, по-видимому, вызвано спецификой назначения и объемно-планировочных решений объекта, но в целом результаты также лежат в пределах разброса значений, приведенных в строках 1–12 таблицы 6.

Таблица 6. Величина $T_{ок}$ для отдельных энергосберегающих мероприятий.

| Здание | Дополнительная теплоизоляция | Замена остекления | Теплоутилизация | Термоклапаны |
|---------|------------------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| 1 | 6.48 | 2.21 | 1.28 | 0.76 |
| 2 | Не окуп. | 7.47 | 1.42 | 1.21 |
| 3 | 5.71 | 5.05 | 0.61 | 2.44 |
| 4 | 7.76 | 6.55 | 1.29 | 1.31 |
| 5 | 6.40 | 2.26 | 1.14 | 3.99 |
| 6 | 10.32 | Не окуп. | 1.61 | 1.34 |
| 7 | 7.25 | 6.39 | 1.03 | 1.43 |
| 8 | 9.54 | 10.69 | 1.26 | 1.37 |
| 9 | 11.17 | 3.10 | 1.23 | 2.13 |
| 10 | 9.33 | 3.12 | 0.65 | 1.05 |
| 11 | 9.35 | 2.78 | 3.32 | 2.28 |
| 12 | 8.67 | 3.06 | 1.12 | 2.10 |
| Ср. | 8.27 | 5.79 | 1.33 | 1.78 |
| TACIS | 9.5* | 5.3 | Не примен. | 1.3 |
| Иркутск | Не примен. | 8.6 | Не примен. | 2.2 |

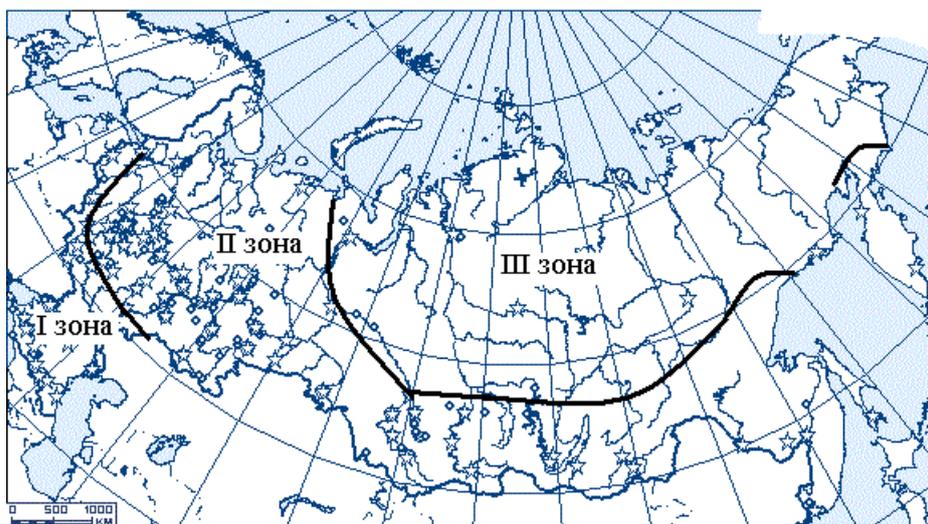
Примечание: * для сопоставимой степени повышения теплозащиты.

Но совсем обойтись без повышения сопротивления теплопередаче несвето-прозрачных ограждений не удастся, т. к. остальные способы энергосбережения, как правило, не обеспечивают желательного суммарного снижения энергопотребления – не менее чем в 2 раза по сравнению с базовым вариантом. Но такое повышение должно осуществляться в разумных, указанных выше пределах и после того, как исчерпан энергосберегающий потенциал других возможных мероприятий. Поэтому только комплексный подход к энергосбережению способен решить проблему дефицита энергоресурсов, оставаясь в рамках экономически эффективных решений.

Для подтверждения полученных рекомендаций было проведено технико-экономическое сравнение предлагаемого комплекса энергосберегающих мероприятий с результатами реализации требований действующих нормативных документов. Данные требования сводятся к выбору теплозащиты несветопрозрачных ограждений и заполнений светопроемов по таблице 4 СНИП 23-02-2003, применению автоматических терморегуляторов у отопительных приборов для использования внутренних тепловыделений и отсутствию утилизации теплоты вытяжного воздуха. Последняя по СНИП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» не является обязательной, а в методике оценки энергопотребления по СНИП 23-02-2003, как уже отмечалось, ее учет непосредственно не предусмотрен. В этом случае, используя модификацию программы для ЭВМ, рассмотренной выше, можно оценить разность капитальных затрат на реализацию энергосберегающих решений по сравниваемым вариантам.

В этом случае расходы на установку терморегуляторов будут совпадать, поскольку они предусматриваются в обоих случаях. По остальным составляющим можно сказать, что в нормативном варианте будут выше затраты на теплоизоляцию, так как при прочих равных условиях сопротивления теплопередаче несветопрозрачных ограждений, как уже отмечалось, при этом будут больше на 32 – 45% в северных районах и на 8 – 20% в южных. Расходы на остекление здесь, наоборот, будут меньше, поскольку мы получили, что оптимальный уровень теплозащиты заполнений светопроемов выше нормативного (соответственно на 10% и на 33%). Наконец, теплоутилизация присутствует только в предлагаемом (альтернативном) варианте, поэтому в нормативном наборе решений соответствующая статья затрат также выразится отрицательной величиной. Следовательно, основной вопрос здесь в соотношении между перечисленными составляющими расходов.

Результаты расчетов показывают, что зависимость осредненного по исследованным зданиям дисконтированного срока окупаемости предлагаемого варианта по сравнению с нормативным от D_d является еще более сильной, чем приведенная на рисунке 16. В частности, при числе градусо-суток отопительного периода D_d порядка 9000 применение рассматриваемого комплекса инженерных решений, как правило, позволяет обеспечить даже абсолютное снижение капитальных затрат по сравнению с реализацией существующих требований к теплозащите зданий. В соответствии с данными СНИП 23-01-99*, такой уровень D_d имеет место для достаточно обширной территории РФ, включающей Ямало-Ненецкий и часть Ханты-Мансийского АО (северо-восточнее Оби), Таймырский и Эвенкийский АО, Республику Саха и Магаданскую область (рисунок 17, зона III).



← Рис.17. Карта территории РФ с нанесением границ зон окупаемости предлагаемого комплекса энергосберегающих мероприятий

В то же время для D_d около 3000 (климатические условия Краснодара) срок окупаемости для многих зданий составляет 7 – 9, а в некоторых случаях и 20 – 25 лет, что уже выходит за пределы, когда вариант можно считать малозатратным (рисунок 17, зона I). Во II-й зоне с D_d от 3000 до 9000, охватывающей наиболее населенные районы РФ, кроме крайнего юго-запада, срок окупаемости не превышает 5 лет.

Было также показано, что аналогичные выводы относятся и к жилым зданиям. Правда, в данном случае утилизацию теплоты необходимо исключить из рассмотрения по причине отсутствия в жилых зданиях массовой застройки механической приточной вентиляции, однако это компенсируется значительными возможностями экономии в системе ГВС из-за большой доли ее нагрузки в энергетическом балансе. Кроме того, было исследовано влияние изменения параметров наружного климата на окупаемость энергосберегающих мероприятий. Обнаружено, что учет постепенного потепления приводит к определенному замедлению фактических сроков окупаемости. Расчеты показали, что в условиях отопительного сезона 2006 – 2007 годов с фактическим $D_d = 3245 \text{ К}\cdot\text{сут}$ против нормативного 4515 расчетный срок окупаемости увеличивается на 42%. Поэтому для повышения точности прогноза окупаемости необходима оперативная корректировка нормативных и справочных документов с использованием рядов метеорологических наблюдений за последние годы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе разработаны теоретические основы энергосбережения с использованием комплексного подхода к выбору и реализации энергосберегающих мероприятий при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и в первую очередь систем обеспечения их микроклимата с учетом сравнительной эффективности данных мероприятий. По результатам данных исследований решены основные вопросы по рассматриваемой проблеме:

1. Сформулированы и обоснованы принципы нормирования и оценки энергопотребления зданий, соответствующие требованиям ЗТР. Основой предложенных принципов является установление заказчиком требуемого снижения энергопотребления здания за счет применения тех или иных энергосберегающих мероприятий и последующего обеспечения такого снижения за счет оптимального выбора комплекса этих мероприятий при соблюдении требований безопасности.
2. На основе расчета теплопередачи и теплового режима элементов современных энергосберегающих ограждающих конструкций (углы, оконные откосы) с экспериментальным подтверждением полученных результатов предложены инженерные методы определения требуемого уровня теплозащиты ограждений, исходя из обеспечения санитарно-гигиенических требований. Разработаны рекомендации по оценке фактической теплозащиты конструкций с учетом указанных элементов и теплопроводных включений. Данные методы и рекомендации предназначены для оценки энергопотребления здания по укрупненным показателям на этапе ТЭО и, в отличие от существующих, сочетают простоту и инженерный вид с достаточно полным учетом влияния геометрии элементов и теплофизических свойств материалов на теплопередачу в неоднородных ограждениях.
3. Предложена методика расчета энергопотребления зданий, комплексным образом учитывающая все наиболее часто применяемые энергосберегающие мероприя-

- тия и позволяющая установить контрольные показатели энергопотребления на этапе ТЭО проекта. Достоверность ее результатов выявлена за счет их статистической обработки и сопоставления с имеющимися экспериментальными данными. Методика дополнена средствами технико-экономической оценки целесообразности принятого комплекса энергосберегающих мероприятий в условиях рыночной экономики.
4. Предложен и обоснован критерий оптимальности выбранного сочетания энергосберегающих мероприятий – расчетный срок окупаемости дополнительных капитальных вложений с учетом дисконтирования капитальных и эксплуатационных затрат.
 5. Собран банк данных по конструктивным характеристикам большой группы общественных зданий, для которых при использовании разработанной методики выявлены статистические показатели энергетической и экономической эффективности основных планируемых энергосберегающих мероприятий, пригодные для предварительных оценок.
 6. На основе анализа структуры энергетического баланса зданий, полученной с помощью разработанной методики расчета энергопотребления зданий, предложено и обосновано целесообразное сочетание малозатратных и быстрокупаемых энергосберегающих мероприятий, основанных на простейших технологиях, доступных для массового строительства в зданиях различного назначения.
 7. Наиболее эффективными по совокупности показателей признаны утилизация теплоты вытяжного воздуха в системах механической вентиляции и установка автоматических терморегуляторов у отопительных приборов, а также мероприятия по снижению расхода воды в системах ГВС, далее следует применение современных энергоэффективных окон, и на последнем месте – повышение теплозащиты несветопрозрачных ограждений в экономически оптимальных пределах.
 8. С привлечением вероятностно-статистических соотношений между параметрами наружного климата и теории автоматического управления выявлена оптимальная глубина и способы реализации, а также целесообразные пределы применимости отдельных мероприятий в пределах принятого комплекса, а также особенности его осуществления в жилых зданиях. Выявлена связь между особенностями конструктивных и объемно-планировочных решений здания и возможностями реализации решений по снижению энергопотребления.
 9. Установлена специфика организации энергосбережения в отдельных видах зданий, характерных для современного строительства. В общественных зданиях основное внимание должно уделяться утилизации теплоты в системах вентиляции, в жилых – применению энергоэффективного остекления и тепловодосбережению в системах ГВС.
 10. Разработаны рекомендации по применению предложенного комплекса мероприятий в зависимости от климатических параметров района строительства, а также стоимости оборудования и материалов, тарифов на энергоносители и ставки рефинансирования ЦБ РФ. Предложено осуществлять технико-экономическое обоснование принимаемых решений с учетом среднесрочных и долгосрочных прогнозов изменения климатических и стоимостных факторов. Признана целесообразной более оперативная корректировка нормативных и справочных документов с использованием рядов метеонаблюдений за последние годы.

11. Результаты диссертации использованы при разработке нескольких нормативно-инструктивных документов. Методы расчета теплопередачи в элементах ограждений, температурной эффективности аппаратов утилизации теплоты и ТЭО комплекса энергосберегающих мероприятий были использованы в учебном процессе ФГБОУ ВПО «МГСУ». Практические рекомендации, основанные на исследованиях автора, нашли применение на ряде строительных объектов страны.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии:

- «Теплофизические и технико-экономические основы теплотехнической безопасности и энергосбережения в здании» (М.: Изд. МГСУ – Тисо-принт. – 2007. – 160 с.);
- «Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность» (М.: Изд-во АСВ. – 2009; 2-е изд. – 2011. – 296 с.);
- «Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий» (М.: Изд-во АСВ. – 2011. – 128 с.).

Публикации в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, выделены курсивом, в т.ч. по направлению «Строительство» – жирным курсивом.

1. О.Д.Самарин. О взаимосвязи расчетных параметров наружного климата. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2001. – №2. – с.34–35.
2. О.Д.Самарин. О вероятностно-статистическом моделировании взаимосвязи расчетных параметров наружного климата. (Сб. докл. 6-й конф. НИИСФ 26 –28 апр. 2001г. – с.312 – 318).
3. *О.Д.Самарин. Определение теплопотерь наружного угла здания. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2001. – №4. – с. 53 – 56.*
4. *В.Н.Богословский, О.Д.Самарин. Исследование и моделирование естественного теплового режима здания в период ввода в эксплуатацию. // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2001. – №6. – с. 19 – 22.*
5. О.Д.Самарин. Об учете энергосберегающих мероприятий при нормировании теплозащитных свойств наружных ограждений. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2001. – №11. – с. 36 – 37.
6. *О.Д.Самарин. О расчете теплопотерь через наружный угол здания. // Известия вузов. Строительство. – 2001. – №11. – с. 90 – 94.*
7. О.Д.Самарин. Об оптимальной величине удельного энергопотребления зданий. (Сб. докл. 7-й конф. РНТОС 18-20 апреля 2002 г., с.103 – 109).
8. N.Parfentjeva, O.Samarin, S.Paulauskaite Calculation of temperature wave spread in a wall with regard to phase transitions. (Pap.of 5-th conf.of VGTU,2002, p. 105 – 113).
9. *Н.А.Парфентьева, О.Д.Самарин. Задача Стефана в строительстве. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – №6. – с. 38 – 39.*
10. *О.Д.Самарин. Особенности воздушного режима многоэтажных жилых зданий. // Известия вузов. Строительство. – 2002. – №6. – с. 70 – 74.*

11. *О.Д.Самарин. О некоторых проблемах энергосбережения в строительстве индивидуальных жилых зданий. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2002. – №4. – с. 48–50.*
12. *О.Д.Самарин. О связи нормирования теплозащитных свойств здания и особенностей его объемно-планировочных решений. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – №10. – с. 28 – 29.*
13. *О.Д.Самарин. О технико-экономической оптимизации удельного энергопотребления зданий. // Известия вузов. Строительство. – 2002. – №12. – с.57–62.*
14. *О.Д.Самарин. Экономически целесообразная эффективность теплоутилизаторов с промежуточным теплоносителем. // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2003. – №1. – с. 22 – 24.*
15. *Н.А.Парфентьева, О.Д.Самарин. О промерзании наружных стен при аварийных режимах теплоснабжения. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2003. – №2. – с. 46 – 47.*
16. *О.Д.Самарин. О снижении капитальных затрат на теплоизоляцию зданий при использовании утилизации тепла вытяжного воздуха. (Сб. докл. 8-й конф. НИИСФ 24–26 апреля 2003 г., с. 267 – 275).*
17. *N.Parfentjeva, O.Samarin, S.Paulauskaite. Oscillations of freezing front in external enclosures.//Journal of Civil Engineering and Management.–2003.–v.IX.–№2.–p.88–91*
18. *О.Д.Самарин. Определение теплопотерь откосов оконных проемов. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2003. – №2. – с. 71 – 74.*
19. *О.Д.Самарин. Об оптимальном распределении теплоизоляции в ограждающих конструкциях здания. // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 6. – с.59–63.*
20. *О.Д.Самарин. О методике оценки энергоэффективности зданий. / В кн. «Современные системы теплогазоснабжения и вентиляции» (Сб. трудов, посвященный 75-летию факультета ТГВ МИСИ-МГСУ) – М.: 2003. – с. 25 – 31.*
21. *О.Д.Самарин. Концепция нормирования энергопотребления и теплозащиты зданий. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2003. – № 4. – с. 66 – 69.*
22. *О.Д.Самарин. Об экономической целесообразности применения в школах окон с высокими теплозащитными свойствами. // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2003. – №9. – с. 11 – 14.*
23. *О.Д.Самарин. Расчет трехмерного температурного поля наружных стен с гибкими связями. // Известия вузов. Строительство. – 2003. – №10.– с.17–20.*
24. *О.Д.Самарин. О методике расчета энергоэффективности зданий. // Известия вузов. Строительство. – 2004. – №4. – с. 78 – 82.*
25. *О.Д.Самарин. Сравнительная эффективность энергосберегающих мероприятий. (Материалы 6-го Московского Междунар. Форума «Heat&Vent2004», с.21 – 25.)*
26. *О.Д.Самарин, П.С.Васин, Н.Н.Зайцев, Р.Ф.Гарифуллин, Н.В.Загорцева. Оценка энергоэффективности зданий и сравнительная эффективность энергосберегающих мероприятий. (Сб. докл. 9-й конф. РНТОС 25 мая 2004 г., с. 56 – 60.)*
27. *О.Д.Самарин. Особенности воздушного режима высотных жилых зданий и его расчет. (Сб. докл. семинара «Актуальные проблемы строительства высотных зданий») – М., МГСУ. – 2004. – с. 23 – 26.*
28. *О.Д.Самарин. О нормировании тепловой защиты зданий. // Журнал «СОК». – 2004. – № 6. – с.106 – 107.*
29. *N.Parfentjeva, O.Samarin, S.Paulauskaite, K.Valancius. Temperature field design of exterior walls with flexible braces. (Pap.of 6-th conf. of VGTU. –2004.– p.479–486).*

30. **О.Д.Самарин. Современная концепция нормирования энергопотребления и теплозащиты зданий.//Известия вузов. Строительство.–2004.–№9.–с.66–70.**
31. О.Д.Самарин. Еще раз о новых нормах по теплозащите зданий. // Журнал «СОК» . – 2005. – № 1. – с. 108 – 110.
32. О.Д.Самарин. Некоторые особенности конструирования и расчета систем обеспечения микроклимата высотных зданий. (Сб. докл. семинара «Высотные и большепролетные здания. Технологии инженерной безопасности и надежности») – М.: МГСУ. – 2005. – с.55 – 58.
33. **О.Д.Самарин. Особенности конструирования и расчета систем обеспечения микроклимата высотных зданий. // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2005. – № 6. – с. 23 – 26.**
34. **И.В.Рубцов, О.Д.Самарин. Математическое моделирование температурного поля в конструкциях вентилируемых фасадов со специальными креплениями. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005. –№ 8. – с. 54 – 55.**
35. **О.Д.Самарин. Расчет температуры на внутренней поверхности наружного угла здания с современным уровнем теплозащиты. // Известия вузов. Строительство. – 2005. – № 8. – с. 52 – 56.**
36. О.Д.Самарин. Эффективность энергосберегающих мер в общественных зданиях. // Строительная инженерия. – 2005. – № 9. – с. 72 – 76.
37. О.Д.Самарин, С.Ю.Барвинский, А.И.Анисимов, И.Р.Садикова. Оценка эффективности энергосберегающих мероприятий в рыночной экономике. (Сб. докл. конф. МГСУ 23 – 25 ноября 2005 г., с. 14 – 17.)
38. О.Д.Самарин. Современная ситуация с нормированием теплозащиты в зданиях и ее альтернативная концепция. (Сб. докл. конф. МГСУ 23–25 ноября 2005 г., с. 14 – 17.)
39. О.Д.Самарин. Энергетический баланс зданий и возможности энергосбережения. // Новости теплоснабжения. – 2005. – № 12. – с. 46 – 48.
40. И.В.Рубцов, О.Д.Самарин. Моделирование температурного поля и повышение теплотехнической однородности вентилируемых фасадов высотных зданий. (Сб. докл. междунар. конф. в КДЦ «Гостиный Двор» 25–27 янв. 2006 г., с.43–49).
41. **О.Д.Самарин. О комплексной инженерной оценке теплозащиты ограждений здания.//Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2006. – №3. – с. 14–18.**
42. О.Д.Самарин, Н.А.Венскова, И.В.Красильникова. Об эффективности энергосбережения в современных условиях. // Журнал «СОК».–2006.–№2. – с.102–105.
43. О.Д.Самарин, И.А.Богомолова, О.П.Семенюк. Эффективность энергосбережения в современных условиях. // Стены и фасады. – 2006. – № 2 – 3. – с. 54 – 56.
44. **О.Д.Самарин. Определение температуры в наружном углу здания. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2006. – № 3. – с. 38 – 39.**
45. О.Д.Самарин, О.П.Семенюк, И.А.Богомолова. О комбинированной обработке воздуха в системах вентиляции и кондиционирования.//Журнал «СОК». –2006. – №6. – с. 102–105.
46. **О.Д.Самарин. Современная ситуация с нормированием теплозащиты ограждающих конструкций и альтернативная концепция энергосбережения. // Известия вузов. Строительство. – 2006. – № 2. – с. 63 – 68.**

47. О.Д.Самарин. О комплексном энергосбережении за счет малозатратных мероприятий. (Сб.докл.конф.НИИСФ«Строительная физика в XXI веке» 25–27 сен.2006 г.,с.99–103).
48. О.Д.Самарин. К вопросу об определении температуры в наружном углу здания. (Сб. докл. конф. НИИСФ «Строительная физика в XXI веке» 25–27 сен. 2006 г.,с. 104–107).
49. **О.Д.Самарин.О комплексном подходе к энергосбережению за счет малозатратных мероприятий.//Известия вузов.Строительство.–2006.–№8.–с.54–58.**
50. О.Д.Самарин. Влияние энергосберегающих мероприятий на энергетический баланс здания. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. – № 1. – с. 58 – 59.
51. **О.Д.Самарин. Фактические сроки окупаемости энергосберегающих мероприятий и целесообразность их применения. // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2007. – № 2. – с. 7 – 9.**
52. О.Д.Самарин,С.А.Казаковцева,К.В.Свиридонов. О комплексной оценке энергоэффективности общественных зданий.//Фасадные системы.–2007.–№1.–с.22–25.
53. О.Д.Самарин, К.И.Лушин. Об экспериментальном подтверждении формул для расчета температуры в наружном углу здания. // Фасадные системы. – 2007. – № 1. – с.38–39.
54. O.Samarin, K.Lushin, S.Paulauskaite. Energy savings efficiency in public buildings under market conditions in Russia. // Technological and economic development of EKONOMY. – 2007. – Vol XIII. – № 1. – p. 67 – 72.
55. О.Д.Самарин, К.И.Лушин. Об экспериментальных исследованиях температурного графика в системе отопления. // Полимергаз. – 2007. – № 1. – с. 59 – 60.
56. О.Д.Самарин,И.М.Багренина,О.А.Колесникова.Комплексная оценка энергоэффективности общественных зданий в современных условиях.//Журнал «СОК». – 2007,№3,с.36–41.
57. **О.Д.Самарин. О расчете охлаждения наружных стен в аварийных режимах теплоснабжения.//Известия вузов. Строительство. – 2007. – №2. – с.46– 50.**
58. О.Д.Самарин. Влияние параметров наружного климата на выбор оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий в общественных зданиях. // Кровля и изоляция. – 2007. – № 2-3. – с. 26 – 28.
59. О.Д.Самарин. Тупик для закона, или утомленные реформой. // Окна и двери. – 2007. – № 4. – с. 9 – 10.
60. О.Д.Самарин. О скорости охлаждения наружного угла здания при аварийных режимах теплоснабжения. // Фасадные системы. – 2007. – № 3. – с. 17 – 19.
61. **О.Д.Самарин. Выбор оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий в общественных зданиях. //Известия вузов. Строительство. –2007. –№ 8. – с. 116–118.**
62. О.Д.Самарин. К вопросу о выборе оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий в общественных зданиях. (Сб. докл. конф. МГСУ.–2007.–с.30– 32).
63. О.Д.Самарин. О предельной стоимости энергоэффективного остекления. // Энергоэффективность. Опыт. Проблемы. Решения. – 2007. – №1-2. – с. 42 – 45.
64. О.Д.Самарин. Обоснование оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий по критерию максимальной эффективности инвестиций.//Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2008. – № 1. – с.13 – 16.
65. *О.Д.Самарин, К.И.Лушин. О распределении энергозатрат жилых зданий и исследовании температурного графика в их системах теплоснабжения. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2008. – № 1. – с. 56 – 59.*

66. О.Д.Самарин. Особенности реализации и технико-экономического обоснования комплекса энергосберегающих мероприятий для жилых зданий. // Новости теплоснабжения. – 2008. – № 1. – с. 49 – 53.
67. О.Д.Самарин, В.С.Бурнашов, Р.Р.Шайхуллина. О комплексном снижении энергопотребления общественных зданий.// Окна и двери. – 2008. – № 1. – с. 42 – 45.
68. О.Д.Самарин. О достоверности оценки энергетического баланса и эффективности энергосберегающих мероприятий в общественных зданиях. // Журнал «СОК». – 2008. – № 2. – с. 82 – 86.
69. О.Д.Самарин. О термодинамически обоснованной стоимости тепловой энергии в условиях когенерации. // Новости теплоснабжения. – 2008. – № 3. – с. 38 – 40.
70. О.Д.Самарин. Закон или порядок. Может быть, лучше «и»? // Окна и двери. – 2008. – № 2. – с. 19 – 20.
71. С.И.Завалишин, О.Д.Самарин. Разработка мероприятий по формированию экологически безопасной кровли общественного здания. // Экология урбанизированных территорий. – 2008. – № 1. – с. 54 – 57.
72. О.Д.Самарин. Технико-экономическое сравнение оптимального комплекса энергосберегающих мероприятий с нормативными решениями.//Полимергаз. – 2008.–№1. – с. 44–47.
73. О.Д.Самарин, Т.С.Малаховская, Р.В.Жуков. О комплексном подходе к снижению энергопотребления общественных зданий. // Журнал «СОК». – 2008. – № 3. – с. 64 – 68.
74. **О.Д.Самарин. О скорости понижения температуры в наружном углу здания при аварийных режимах теплоснабжения. // Известия вузов. Строительство. – 2008. – № 2. – с. 62 – 67.**
75. N.Parfentyeva, O.Samarin, K.Lushin, S.Paulauskaitė. The numerical and analytical methods of calculations of two-dimensional temperature fields in dangerous members of building enclosures. (Pap. of conf. of VGTU. – 2008. – p. 854 – 858).
76. О.Д.Самарин. Влияние геометрических характеристик здания на его энергетические показатели. // Окна и двери. – 2008. – № 4. – с. 35 – 37.
77. О.Д.Самарин. Об изменении температуры на поверхности ограждающих конструкций при их прогреве. // Кровля и изоляция. – 2008. – № 2. – с. 40 – 41.
78. Н.А.Парфентьева, О.Д.Самарин, К.И.Лушин. Численные и аналитические методы расчета двумерных температурных полей в опасных элементах ограждающих конструкций. (Сб. докл. конф. МГСУ «Фундаментальные науки в современном строительстве». – 2008. – с. 290 – 297).
79. **О.Д.Самарин. Обоснование оптимальной глубины реализации комплекса энергосберегающих мероприятий по максимальной эффективности инвестиций. // Известия вузов. Строительство. – 2008. – № 6. – с. 65 – 70.**
80. О.Д.Самарин. Об уровне теплозащиты нестепрозрачных ограждающих конструкций и о подходах к ее нормированию. (Сб. докл. конф. МГСУ «Современные фасадные системы: эффективность и долговечность». – 2008. – с. 60 – 64.).
81. О.Д.Самарин. О возможностях комплексного энергосбережения в общественных и multifunctional зданиях за счет малозатратных инженерных решений.//Энергоэффективность.Опыт.Проблемы.Решения.–2008.–№1-2.–с.41–45.
82. **О.Д.Самарин. Оценка температурной эффективности теплоутилизаторов с промежуточным теплоносителем по безразмерным параметрам. // Известия вузов. Строительство. – 2009. – № 2. – с. 54 – 58.**

83. О.Д.Самарин. Подбор теплоутилизационного оборудования приточных вентиляционных установок (кондиционеров) типа КЦКП. Методические указания к выполнению дипломного проекта для студентов специальности 270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция». – М.: МГСУ. – 2009. – 21 с.
84. О.Д.Самарин. *О влиянии изменения климата на окупаемость дополнительного утепления нестационарных ограждений.* // «ACADEMIA. Архитектура и строительство». – 2009. – № 5. – с. 561 – 563.
85. О.Д.Самарин. *Влияние изменения параметров наружного климата на окупаемость энергосберегающих мероприятий.* // Известия вузов. Строительство. – 2009. – № 6. – с. 43 – 48.
86. О.Д.Самарин, К.И.Лушин. *Энергетический баланс жилых зданий и его экспериментальные исследования.* // Вестник МГСУ, Спецвыпуск 2/2009. – с. 423–431.
87. О.Д.Самарин. *О приближенном расчете температурной эффективности аппаратов утилизации теплоты в системах механической вентиляции.* // Известия вузов. Строительство. – 2009. – № 11-12. – с. 53 – 56.
88. О.Д.Самарин. *О расчете температурной эффективности роторных регенеративных теплоутилизаторов в системах механической вентиляции.* // Известия вузов. Строительство., 2010, № 1, с. 63 – 67.
89. О.Д.Самарин. *Об аналитическом расчете температурной эффективности роторных регенеративных теплоутилизаторов.* // «ACADEMIA. Архитектура и строительство». – 2010. – № 3. – с. 402 – 404.
90. О.Д.Самарин. *Об аналитическом определении температурной эффективности роторных регенеративных теплоутилизаторов.* // Известия вузов. Строительство. – 2010. – № 7. – с. 52 – 56.
91. Н.А.Парфентьева, О.Д.Самарин, И.Г.Бобкова. *О методе расчета роторных теплоутилизаторов.* // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4. – т.3. – с. 335 – 338.
92. О.Д.Самарин, С.С.Азиева. *Принципы расчета нестационарного теплового режима помещения, обслуживаемого автоматизированными системами обеспечения микроклимата.* // Известия вузов. Строительство. – 2011. – № 1. – с. 59 – 62.
93. И.И.Горюнов, О.Д.Самарин, С.С.Азиева. *Принципы расчета нестационарного теплового режима помещения, обслуживаемого автоматизированными климатическими системами.* // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011. – № 1. – с. 69 – 70.
94. О.Д.Самарин. *О предложениях по пересмотру и совершенствованию СНиП 23-02.* // Вестник МГСУ. – 2011. – № 3. – т. 1. – с. 399 – 403.
95. С.И.Крышов, И.С.Курилюк, О.Д.Самарин. *Экспериментальное исследование температуры на внутренней поверхности оконных откосов.* // Жилищное строительство. – 2012. – № 6. – с. 3 – 6.
96. О.Д.Самарин. *Предложения по совершенствованию актуализированной редакции СНиП 23-02.* // Жилищное строительство. – 2012. – № 6. – с. 13 – 15.
97. О.Д.Самарин. *Энергетический баланс гражданских зданий и возможные направления энергосбережения.* // Жилищное строительство. – 2012. – № 8. – с. 2–4.