

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 721.011.1:607.7

ДАНИЛЕВСКИЙ
Леонид Николаевич

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности
05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха,
газоснабжение и освещение

Минск, 2014

Работа выполнена в Государственном предприятии «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С. С.»

Научный
консультант –

Пилипенко Владимир Митрофанович,
иностраный член Российской академии архитектуры и строительных наук, член-корреспондент Международной инженерной академии, доктор технических наук, профессор, директор Государственного предприятия «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» (Минск);

Официальные
оппоненты:

Гагарин Владимир Геннадьевич,
член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией строительной теплофизики НИИ строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, Заведующий кафедрой «Отопление и вентиляция» ФБГОУ ВПО «Московский Государственный строительный университет»;

Лазовский Дмитрий Николаевич,
Доктор технических наук, профессор, ректор Полоцкого Государственного университета;

Кузьмич Василий Васильевич,
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой организации упаковочного производства Белорусского Национального технического университета,

Оппонирующая
организация:

**Институт тепло– и массообмена имени А.В. Лыкова
Национальной академии наук Беларуси**

Защита состоится 28 ноября 2014 г. в 15 часов на заседании Совета по защите диссертаций Д 05.02.10 Белорусского национального технического университета по адресу: 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, ауд. 204, тел. ученого секретаря +375(17) 265–64–21

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета

Автореферат разослан «17» октября 2014 г.

Ученый секретарь совета по защите
диссертаций Д 02.05.10

Нестеров Л. В.

ВВЕДЕНИЕ

Подписанием в 1997 г. в Японии Киотского протокола, к которому в 2005 г. присоединилась и Белоруссия, мировым сообществом была провозглашена концепция устойчивого развития современного мира. Эта концепция предполагает разработку таких направлений развития, которые учитывали бы потребности будущих поколений, снижение влияния на среду обитания антропогенных факторов при существенном уменьшении расходования энергетических и природных ресурсов.

Одной из важнейших задач развития народно-хозяйственного комплекса Республики Беларусь является сокращение энергоемкости валового внутреннего продукта (ВВП). На отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых зданий в Республике Беларусь затрачивается около 35 % энергоресурсов, в этой связи снижение затрат энергии на эксплуатацию зданий в отопительном периоде при постоянном увеличении стоимости энергоносителей требует системного подхода, разработки комплекса организационно-технических мер по их снижению.

Важный вклад в развитие этого направления научных исследований внесли К. Ф. Фокин, В. Н. Богословский, В. Г. Гагарин, Б. М. Хрусталеv, Ю.А.Табунщиков.

В 90-е годы прошлого века энергосберегающие мероприятия, в основном, ограничивались повышением теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий. С конца 90-х годов отмечено расширение спектра исследований по созданию энергоэкономного инженерного оборудования жилых зданий. К настоящему времени подавляющее большинство многоэтажных жилых зданий в республике оснащены системами учета и регулирования потребления тепловой энергии. В то же время, оснащение зданий отдельными элементами энергоэкономного инженерного оборудования позволяет решать локальные задачи, не обеспечивая решение основной – существенного снижения энергопотребления и создания комфортной среды обитания человека. Основные элементы и системы жизнеобеспечения здания: вентиляция, канализация и горячее водоснабжение зданий проектируются без учета современных требований энергосбережения, т.к. отсутствует научная и методическая основа комплексного использования энергоэффективных решений.

В этой связи исследования, направленные на разработку научных основ системного подхода к созданию энергоэффективных жилых зданий, предполагающего внедрение организационно-технологических основ и приемов, методологии проектирования, можно рассматривать как проблему, имеющую важное значение для энергетической независимости государства. При имеющейся в

настоящее время системе учета энергопотребления эксплуатируемого жилого фонда отсутствует анализ и «обратная связь» с процессом проектирования в области формирования энергетических характеристик зданий и их последующей эксплуатации.

В настоящее время энергоэффективные жилые здания становятся объектами массового строительства. Это обстоятельство требует развития научных и технических основ создания таких зданий, решения следующих проблем:

- определение физических закономерностей формирования теплоэнергетического баланса эксплуатируемых жилых зданий, включая многоэтажные, и разработка с их учетом концепции энергоэффективного жилого здания, как энергетической системы, включающей параметры конструкции здания, его оболочки, особенности системы жизнеобеспечения, влияние окружающей среды, деятельности людей, проживающих в зданиях;

- оптимизация теплотехнических, архитектурных, светотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций с учетом климатических особенностей, а также обеспечения возможности использования вторичных и возобновляемых источников энергии для снижения тепловых потерь через оболочку здания;

- разработка математических моделей и алгоритмов поддержания оптимальных температурно-влажностных условий воздушной среды в энергоэффективных зданиях;

- научное обоснование и разработка технических решений использования вторичных и возобновляемых источников энергии в системах энергоснабжения зданий;

- определение степени влияния типа конструкции теплоутилизаторов воздух/воздух на их энергоэффективность в конкретных условиях эксплуатации;

- разработка и внедрение конструкции и алгоритма эффективной работы теплоутилизатора при низких температурах, учитывающих особенности фазовых переходов в канале удаляемого из помещений воздуха;

- обосновать необходимость и осуществить корректировку нормативной базы проектирования энергоэффективных зданий, исходя из научно обоснованных принципов выбора нормативных требований к теплотехническим показателям наружной оболочки здания и удельным показателям потребления тепловой энергии при эксплуатации зданий;

- получить подтверждение на практике основных закономерностей, принципов и критериев, разработанных в диссертации.

В диссертации разработаны основные принципы формирования утепленной оболочки здания, оптимизации параметров теплоутилизующего оборудования для систем вентиляции и горячего водоснабжения, а также методы

определения теплотехнических показателей эксплуатируемых зданий для расчетных условий, что непосредственно связано с экономией энергоресурсов, особенно в отопительный период.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Диссертационная работа выполнялась в рамках ряда заданий Государственной научно–технической программы «Строительные материалы, конструкции и технологии», а также тематического плана НИР, ОКР и ОТР Государственного предприятия «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» и соответствует приоритетным направлениям научно–технической деятельности в Республике Беларусь на 2011–2015 годы по направлениям «Энергетика и энергосбережение», «Промышленные и строительные технологии и производства», утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 22.07.2010 г. № 378, и приоритетным направлениям научных исследований в Республике Беларусь на 2011–2015 годы «п.1.5. использование возобновляемых источников энергии, вторичных энергоресурсов и местных видов топлива, п.1.6. энергообеспечение, энергоэффективные технологии», «п.8.8. новые неорганические и композиционные материалы для дорожного, промышленного и жилищного строительства, методы и средства измерения свойств строительных материалов», утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 г. № 586.

В основу диссертации положены результаты, полученные автором как непосредственным исполнителем исследований и разработок:

– по 14 заданиям Государственных научно–технических программ «Строительные материалы и технологии, 1998–2000 годы» (утверждена постановлением Кабинета Министров Республики Беларусь от 10 июня 2006 г. № 382), «Строительные материалы и технологии, 2001–2005 годы» (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 1 февраля 2001 г. № 141), «Строительные материалы и технологии, 2006–2010 годы» (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 4 января 2006 г. № 5), «Строительные материалы и технологии, 2011–2015 годы» (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 1 января 2011 г. № 116), в том числе по заданию 2.02.03 «Провести исследования, разработать и создать современное инженерное оборудование жилых зданий с целью снижения потребления тепловой энергии на их отопление и обеспечения комфортных условий проживания людей» (1998–2000 гг., № ГР 19981949), 4.01.12 «Исследовать и обосновать требования к жилью нового поколения (жилье XXI века) с учетом тенденций формирования новых потребительских качеств, архитектур-

но–градостроительных требований к застройке территорий, изменения социальной и демографической ситуации в республике. Разработать проект жилого дома нового поколения» (2001–2005 гг., № ГР 20012981), 4.02.06 «Исследовать пути снижения теплопотерь через светопрозрачные ограждения и разработать конструкцию окон с термическим сопротивлением более $1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ » (2001–2005 гг., № ГР 2005432), 7.10 «Разработать методику и технические средства, определить фактические энергетические характеристики жилых зданий, подготовить и внести изменения в существующие нормативы» (2005–2009 гг., ГР 20065149), «Исследовать, разработать и внедрить технологию производства теплоизоляционных панелей с улучшенными теплофизическими характеристиками для применения в строительстве» (2008–2010 гг., № ГР 20081157) и другим;

– более чем по 20 договорам с Минстройархитектуры на проведение НИР, ОКР и ОТР, включая договоры № 34–ФН/00 «Провести исследования, разработать физико–математические модели и программы компьютерного моделирования динамики теплового баланса зданий с учетом кондуктивного, конвективного и радиационного нагрева и охлаждения. Разработать рекомендации по определению оптимальных конструктивных и эксплуатационных характеристик здания, включая отопительно–вентиляционные системы, и поддержанию расчетных параметров и процессов эксплуатации здания» (1999–2001 гг.), № 37–ФН/05 «Провести исследования и на основе тепловизионных обследований зданий обобщить ошибки проектирования и строительства, приводящие к ухудшению теплофизических свойств зданий и сооружений, разработать рекомендации по тепловому расчету и альбом типовых решений ограждающих конструкций» (2005–2006 гг., № ГР 20053214), № 35–ГФН/07 «Исследовать и разработать энергосберегающие технические и проектные решения для жилых зданий, обеспечивающих снижение энергии на отопление и горячее водоснабжение на 70 % от существующего уровня, и подготовить необходимые изменения в существующие нормативы» (2007–2010 гг., № ГР 20073672), № 32–ИФ/08 «Разработать технические и проектные решения для строительства многоэтажных энергоэффективных жилых зданий в регионах Республики Беларусь» (2008–2010 гг., № ГР 20083523), № 58–ИФН/09 «Исследовать, разработать и внедрить типоразмерный ряд рекуперативных теплообменников воздух/воздух модульной конструкции с функцией регулирования температурно–влажностных условий жилых помещений для уровня воздухообмена от $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $5000 \text{ м}^3/\text{ч}$ » (2009–2010 гг., № ГР 20092581), № 59–ИФН/09 «Исследовать и разработать энергоэффективные инженерно–проектные решения реконструкции и модернизации зданий застройки 50–80 годов прошлого столетия, обеспечивающие снижение энергозатрат на отопление до 30 % и горячее водоснабжение до 50 % от нормативного уровня» (2009–2010 гг., № ГР 20092582) и другие.

Цель и задачи исследования. Целью диссертации является разработка научных и технических основ комплексной системы энергоэффективного проектирования жилых зданий массового строительства на основе минимизации расхода энергии с учетом технико–экономических и климатических факторов, использования вторичных и возобновляемых источников энергии и создания необходимой нормативной базы, влияющей на теплотехнические характеристики зданий.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- разработать физико–математическую модель теплового режима многоэтажного жилого здания, учитывающую случайный характер изменения ее составляющих, выполнить математическое моделирование тепловых режимов и обосновать технические решения, позволяющие использовать вторичные и возобновляемые источники энергии, для минимизации энергозатрат в период эксплуатации жилых зданий;

- научно обосновать и разработать методы расчета систем энергообеспечения здания с использованием вторичных и возобновляемых источников энергии, проектные и технические решения для использования в жилых зданиях;

- разработать принципы создания и технические решения компактных рекуперативных теплообменников, обеспечивающие их высокую эффективность работы при низкой температуре наружного воздуха;

- определить физическую сущность процессов, происходящих в системе вентиляции многоэтажных жилых зданий и обосновать принципы создания систем приточно–вытяжной вентиляции с механическим побуждением и рекуперацией тепловой энергии удаляемого воздуха для жилых многоэтажных зданий в различных климатических условиях и разработать технические решения систем принудительной вентиляции для применения в массовом жилищном строительстве;

- исследовать и разработать математическую модель, обосновывающую принципы создания, технические решения и алгоритмы управления теплопередачей наружной оболочки здания, включая случай использования энергии вторичных и возобновляемых источников;

- разработать методы экспериментального исследования показателей, определяющих тепловой баланс зданий, выполнить сравнительный анализ результатов расчета теплового баланса с экспериментальными результатами и разработать критерии создания нормативно–технической базы проектирования энергоэффективных зданий;

- внедрить основные результаты работы в практику создания нормативов и проектирования энергоэффективных жилых зданий.

Объект исследований теплоэнергетическая система жилого здания, включающая теплосберегающую оболочку, элементы жизнеобеспечения, взаимодействующие с окружающей средой.

Предметом исследований является определение внешних и внутренних факторов и степени их влияния на тепловой баланс жилых зданий и их оптимизация для строительных объектов с целью снижения потребления тепловой энергии при их эксплуатации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Научно обоснованные принципы создания энергоэффективного жилого дома, как изменяющейся системы с оптимальным для существующих технико-экономических условий уровнем энергопотребления, обеспечивающие, в отличие от известных, возможность снижения энергопотребления в течение жизненного цикла.

2. Физико-математическая модель теплообмена многоэтажного жилого здания, учитывающая влияние климатического фактора, проектные, конструктивные и архитектурные особенности, режимы энергопотребления отдельных квартир и методика определения фактического потребления тепловой энергии для отопления квартир в многоквартирном жилом здании, отличающаяся возможностью учета теплообменных процессов внутри здания.

3. Впервые предложенная методика определения коэффициента удельных тепловых потерь эксплуатируемого многоэтажного жилого здания, основанная на измерении мощности внутренних источников тепловой энергии и средней температуры воздуха в здании, результаты экспериментальных исследований составляющих теплового баланса жилых зданий массового строительства, позволившие определить мощность внутренних источников тепловой энергии внести соответствующие изменения в нормативные документы и выполнить классификацию жилых зданий по потреблению тепловой энергии для отопления и вентиляции.

4. Результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов теплообмена в системах теплоизоляции с воздушной прослойкой, послужившие научной базой управления теплопередачей наружной оболочки здания, отличающейся возможностью использования вторичных и возобновляемых источников энергии для снижения тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции.

5. Теоретически обоснованные и экспериментально подтвержденные конструктивные решения систем приточно-вытяжной вентиляции с механическим побуждением и рекуперацией тепловой энергии удаляемого воздуха многоэтажных жилых зданий, обеспечивающие контролируемое качество воздушной среды в квартирах независимо от этажности и сокращение потерь тепловой энергии через систему вентиляции более чем на 50%.

6. Математические модели, результаты численного моделирования и экспериментальных исследований функционирования рекуперативных теплообменников в условиях фазовых переходов в каналах, позволившие сформулировать критерий эффективности работы системы теплообмена, учитывающий дополнительные затраты энергии при низких температурах наружного воздуха и обосновать увеличение площади теплообменной поверхности, а также оптимальные режимы работы, повысившие эффективность теплообменников на 20 – 30%, по сравнению с известными, в низкотемпературных климатических условиях.

7. Результаты экспериментальных исследований энергетического потенциала сточных вод и разработанные на их основе теоретическое обоснование и методика расчета систем утилизации вторичных энергоресурсов в многоэтажном жилом здании, отличающиеся использованием тепловой энергии сточных вод и обеспечивающие снижение на 30 – 40% затрат энергии в системе горячего водоснабжения жилого здания.

8. Методика расчета характеристик грунтового теплообменника на основе разработанной численно–аналитической модели, отличающаяся от известных численных моделей возможностью определения его тепловой эффективности в течение годового цикла, а также новый метод расчета формы отражающей поверхности солнечного коллектора, обеспечивающей высокую эффективность его работы в течение светового дня.

9. Разработка и применение конструкции окон, отличающейся использованием разработанного композиционного материала на основе пенополиуретана и древесных опилок, обеспечивающая повышение более чем на 50% величины сопротивления их теплопередаче относительно традиционно применяемых.

Личный вклад соискателя. Выносимые на защиту положения диссертационной работы полностью основаны на личном вкладе соискателя. Постановка цели и задач исследований, разработка физико–математических и математических моделей, программ и методик экспериментов, проведение экспериментальных исследований и обработка их результатов выполнены непосредственно соискателем и отражены в монографии.

Вклад автора диссертации также выражается в создании концепции диссертационной работы, постановке проблемы в целом и задач исследований, разработке методологии исследований, создании физико–математической модели теплообмена многоэтажного жилого дома, формулировке основных положений и выводов, подготовке лично и в соавторстве публикаций, по теме диссертации, научных докладов и подготовке заявок на патентование разработок, в организации и участии в разработке проектно–технической и конструкторской

документации, в осуществлении внедрения и оценке эффективности разработок.

Основным соавтором соискателя по опубликованным работам является доктор технических наук, профессор, научный консультант по диссертационной работе Пилипенко В. М.

Диссертационная работа выполнялась автором в научно-исследовательском и проектно-технологическом Государственном предприятии «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» в 1999–2014 гг. при научной консультации доктора технических наук, профессора, академика Российской академии архитектуры и строительных наук, член-корреспондент Международной инженерной академии Пилипенко В. М.

В проведении экспериментальных исследований под руководством автора принимали участие аспиранты и сотрудники института.

Апробация результатов диссертации. Результаты исследований доложены более чем на 30 научных конференциях, форумах и симпозиумах (международных, региональных, республиканских и вузовских), в том числе: на Первой научно-практической конференции, 25–27 мая 2010 года; XI Международном совещании «Опыт и перспективы санации существующих жилых домов крупнопанельного строительства в странах Средней, Южной, Восточной Европы», июнь 1997 г., г. Минск; Международной научно-технической конференции «Опыт и перспективы комплексного решения проблем энергосбережения при строительстве и преобразовании жилого фонда», февраль 1997 г., г. Минск; научно-технической конференции «Нетрадиционные энергоэффективные системы освещения в жилых, общественных и производственных зданиях», 1997 г., г. Минск; Второй Международной научно-практической конференции «Жилище XXI. Опыт проектирования и экспериментального строительства жилых зданий нового поколения», май 2000 г., г. Минск; Международной научно-практической конференции «Новое поколение энергоэффективных инженерных систем жилых зданий», декабрь 2001 г., г. Минск; научной конференции «Опыт Белорусско-Германского сотрудничества в строительстве», 2000 г., г. Минск; научно-практической конференции «Экологические проблемы XXI века», 2002 г., г. Минск, пятой Международной выставке-конференции «Реконструкция Жилья», июнь 2003 г., г. Киев; Третьей Международной научно-практической конференции «Комплексное решение проблем энергосбережения при проектировании, строительстве и реконструкции жилого фонда», июнь 1999 г., г. Минск; Международной научно-технической конференции «От тепловой санации зданий – к пассивному дому проблемы и решения», ноябрь 1996 г., г. Минск; Международной научно-технической конференции «Langu modernizavimas baltijos salyse: Problemos ir galimybes», 2000 г., г. Каунас; Международном семинаре «Проблемы энергоресурсосбережения. Новые решения»,

март 1995 г., г. Минск; совещании–семинаре «Энергосбережение в строительном комплексе Республики Беларусь», 1996 г., г. Минск; Международной научно–практической конференции «Жилище XXI века», апрель 1999 г., г. Минск; научно–технической конференции «Технологии, оборудование, качество», 2007 г., г. Минск, научно–технической конференции «Технологии проектирования и строительства энергоэффективных зданий», 2010 г., г. Москва; 1, 2, 3, 4, 5, 6 Международной конференции «Энергоэффективное строительство в Республике Беларусь: современные технологии энергосбережения», 2009, 10, 11, 12, 13, 14г. г. Минск; семинаре «Повышение эффективности использования топливно–энергетических ресурсов, использование местных видов топлива и меры по подготовке энергохозяйства к работе в ОЗП 2007/2008», 2007 г., г. Минск; практической конференции «Белорусский оконный рынок – 2010», 2011 г., г. Минск; Международной конференции «Архитектурно – планировочные решения, конструктивно–технологические системы и энергосберегающее оборудование жилых и общественных зданий XXI века», 2010 г., Минск; 1, 2, 3, 4, 5 научно–практических конференциях «Интеллектуальные здания и сооружения. Тенденции и перспективы», 2009, 10, 11, 12, 13 г., г. Минск; Международной научной конференции «8. Europäische Passivhaus–Tagung und Messe», апрель 2004 г., г. Кремс, Международной научной конференции «11. Passivhaus–Tagung», апрель 2008 г., г. Брегенц; Международной научно–практической конференции «12. Internationale Passivhaustagung», апрель 2008, г. Нюрнберг; Международной научно–практической конференции «13. Internationale Passivhaustagung», апрель 2009 г., г. Франкфурт–на–Майне; научно–практической конференции «111 Международный форум градостроительства, архитектуры и дизайна», сентябрь 2010 г., г. Санкт–Петербург; семинаре «Системы приточно–вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла», сентябрь 2010 г., г. Минск; научной конференции «Тепломассобмен ММФ–200», 2006, г. Минск; 1,2,3 и 4 научно–практических конференциях «Энергосбережение в системе теплоснабжения. Повышение энергетической эффективности», май 2010, 11, 12 и 13 г., г. Санкт–Петербург; семинаре «Сахаровские чтения 2002: Экологические проблемы XXI Века», май 2002 г., г. Минск; Международной научно–практической конференции «2. Passivhaus–Tagung», февраль 2004 г., г. Франкфурт–на–Майне; Международной научно–практической конференции «Немецкий опыт и проблемы при модернизации и реконструкции зданий», декабрь 1999 г., г. Минск; второй научно–практической конференции «Энергоэффективные системы освещения в жилых, общественных и производственных зданиях», март 1999 г., г. Минск; XVII конференции и выставке «Москва – энергоэффективный город», апрель 2002, 2010– 2013 г., г. Москва; научно–практическом семинаре «Экономические и научно–технические аспекты реконструкции и капитального ремонта жилого фонда в условиях формирующихся-

ся рыночных отношений», июнь 1996 г., г. Минск; семинаре «Современные эффективные технологии, материалы, изделия и инженерное оборудование, применяемые при ремонте, реконструкции и тепловой модернизации жилищного фонда», январь 2004 г., г. Минск; Международной конференции «Энергоэффективные технологии и возобновляемые источники энергии», сентябрь 1999 г., г. Минск; IX семинаре «Offentliches Auftragswesen», октябрь 1997 г., г. Минск; Международной научно–практической конференции «Модернизация крупнопанельного домостроения – локомотив строительства жилья экономического класса», г Москва; ЦНИИ жилища, апрель 2011 г.; 1, 2, 3 и 4 конференциях «Технология проектирования и строительства энергоэффективных зданий Passive House», апрель 2010, 2011, 2012 и 2013 г., Институт пассивного дома, Москва; 3 Международной конференции «Энергоэффективное строительство в Республике Беларусь». Минск, март 2011г.

Опубликование результатов диссертации. По результатам выполненных исследований опубликовано 121 научных работ, в том числе 50 статей в рецензируемых журналах и 50 докладов в научных сборниках и тезисах докладов. Новизна технических решений подтверждена 21 патентом. Общий объем опубликованных по теме диссертации материалов составляет 500 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из общей характеристики работы, семи глав с краткими выводами по каждой из них, заключения и основных выводов, списка использованных литературных источников, списка публикаций автора и приложений. Полный объем работы содержит 304 страницы, основное содержание изложено на 212 страницах. Работа включает 146 иллюстраций, 13 таблиц, библиографию из 389 наименований на 32 страницах, включающую 268 наименований использованных источников на 20 страницах и списка публикаций автора из 121 наименований на 14 страницах, приложений на 147 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности рассматриваемой проблемы, связь работы с научными программами, цель и задачи исследования, выносимые на защиту положения, личный вклад соискателя. Отражены вопросы практической значимости, апробации и опубликованности результатов диссертационной работы. Представлена структура и объем диссертации.

Первая глава посвящена анализу литературных данных отечественного и зарубежного опыта по проблемам энергоснабжения и снижения потребления тепловой энергии для целей отопления и горячего водоснабжения зданий. На

основании анализа современных решений по снижению потребления энергии в зданиях показано, что строительная отрасль в нашей стране, как и в других странах Европы, переживает системный кризис, связанный с разной степенью развития строительных технологий, относящихся к ограждающим конструкциям здания и его инженерным системам. Недостаток существующих подходов к проектированию состоит в том, что каждый элемент здания рассматривается в отрыве от остальных, что не позволяет оптимизировать конструкцию здания в виде единой энергетической системы. Анализ Западноевропейского опыта показал, что системный подход является отправной точкой при решении задач экономии энергии в здании. Наиболее развитым в Западной Европе является направление строительства пассивных зданий с уровнем удельного потребления тепловой энергии на отопление 15 кВт·ч/(м²год). Недостатком этого подхода является игнорирование фактора климатических условий и экономических особенностей строительства. Значение удельного потребления тепловой энергии на отопление принимается независимо от этих условий, что не имеет технического или экономического обоснования.

В главе определено основное направление развития современного строительства, результатом которого является минимизация потребления энергии для нужд эксплуатации путем создания новых энергоэффективных технологий. Анализ мирового опыта позволил определить достоинства и недостатки различных подходов к решению этой проблемы и впервые сформулировать новое понятие энергоэффективного здания как системы с оптимальным для существующих технико–экономических условий уровнем потребления тепловой энергии и возможностью дальнейшего дополнения оборудованием, снижающим расход энергии при эксплуатации.

Такая формулировка обеспечивает возможность проектирования энергоэффективного здания с оптимальными энергетическими параметрами на момент строительства и с возможностью сохранения оптимальности с течением времени по мере развития энергоэффективных технологий.

Затраты энергии на эксплуатацию здания в течение срока службы можно записать в следующем виде:

$$E = S_{om} \left[\sum_{n=1}^N \tau_n \cdot (f_1 \cdot \Delta T_n - f_{2n}) - \sum_{m=3n=k_m}^M \sum_{n=1}^N \tau_n \cdot f_{mn} \right], \quad (1)$$

где E – затраты энергии на эксплуатацию здания в течение срока службы, кВт·ч;

S_{om} – отапливаемая площадь здания, м²; τ_n – длительность отопительного периода в n – м сезоне, с; f_1 – удельный коэффициент теплопотерь здания, Вт/(м²К); f_{2n} – мощность внутренних источников тепла в здании, Вт/м²;

f_{mn} – удельная мощность энергоэффективных технологий m -й технологии в n – м году, Вт/м²; ΔT_n – средняя разность температур воздуха внутри и снаружи здания в n – м году, К.

В главе обоснован выбор направлений и задач исследования.

Во **второй главе** исследован процесс формирования теплового баланса зданий и разработаны эффективные методы экспериментального исследования и расчета теплоэнергетических показателей эксплуатируемых зданий. Впервые тепловой баланс здания в процессе эксплуатации рассмотрен с учетом случайных воздействий жильцов на параметры микроклимата квартир и возможных отклонений теплотехнических параметров оболочки здания и уровня воздухообмена от нормативных значений. Эти воздействия сказываются как на величине теплопотерь здания, так и перераспределяют тепловую нагрузку между отдельными квартирами. При эксплуатации зданий наиболее энергоемкими являются квартиры многоэтажных зданий, расположенные по торцам, а также первом и верхнем этажах. Для устранения этого недостатка разработано и запатентовано техническое решение и методика теплотехнического расчета, обеспечивающие неоднородное утепление зданий, позволяющее выровнять тепловые потери в помещениях и уменьшить длительность отопительного периода.

Определено влияние архитектурных решений на энергоэффективность зданий и предложены рекомендации по их использованию. Установлено, что в здании различаются возвращаемые и безвозвратные тепловые потери. Возвращаемыми являются потери тепловой энергии с удаляемым воздухом и канализационными стоками из здания. Невозвратимыми являются потери тепловой энергии через ограждающие конструкции зданий. Это обстоятельство дает основание для вывода, что минимальный уровень потребления тепловой энергии на отопление устанавливаются трансмиссионные тепловые потери и остаточный свободный воздухообмен. Предложено значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций энергоэффективных зданий назначать исходя из равенства суммы трансмиссионных тепловых потерь и потерь с остаточным свободным воздухообменом суммарному значению энергии внутренних источников тепловой энергии в здании и солнечной энергии за отопительный период.

Важным фактором, влияющим на составляющие теплового баланса зданий, являются светотехнические и теплотехнические свойства окон. Разработаны требования к выбору сопротивления теплопередаче оконных конструкций для энергоэффективных зданий, ставящие их, с учетом теплопоступлений и теплопотерь, по теплотехническим свойствам в равные условия с непрозрачными ограждающими конструкциями и методика расчета площади остекленной поверхности, позволяющей сохранить уровень освещенности помещений при увеличении сопротивления теплопередаче оконной конструкции, что исключает

ет увеличение затрат электрической энергии на освещение зданий при снижении уровня тепловых потерь.

Существенным фактором, влияющим на результаты индивидуального учета тепловой энергии на отопление в квартирах с регулированием температуры воздуха, является теплообмен между квартирами. Разработана математическая модель процесса регулирования температуры в квартирах многоэтажного здания, исследованы процессы теплообмена между квартирами и их влияние на показания квартирных счетчиков тепловой энергии. Регулирование представлено в виде итерационного процесса, на каждом шаге которого решается система уравнений теплового баланса:

$$[A]T^l = Q^l, \quad l=1, \dots, L. \quad (2)$$

где $[A]$ – матрица $N \times N$ коэффициентов, Вт/К, а коэффициенты матрицы равны:

$$a_{ij} = -\frac{S_{ij}}{R_{ij}}, \quad a_{ii} = \sum_{m=1}^{M_i} \frac{S_{mi}}{R_{mi}} + \sum_j \frac{S_{ij}}{R_{ij}} + \frac{\rho \cdot c \cdot V_i}{3600}, \quad i, j = 1 \dots N; \quad (3)$$

где j – номера квартир, соседних с квартирой под номером i ; N – количество квартир; M_i – количество наружных ограждений в i – той квартире; S_{ij} , R_{ij} – площадь, m^2 , и сопротивление теплопередаче, $m^2 \cdot K/Вт$, межквартирной перегородки или перекрытия; S_{mi} , R_{mi} – площадь, m^2 , и сопротивление теплопередаче, $m^2 \cdot K/Вт$, m – го наружного ограждения в i – й квартире;

V_i – воздухообмен в i – той квартире, $m^3/ч$; ρ , c – плотность, $кг/м^3$, и теплоемкость воздуха, $Дж/(кг \cdot К)$, соответственно; Q^l – N – компонентный вектор значений мощности системы отопления в квартирах на k – м шаге регулирования, Вт; T^l – N – компонентный вектор значений температуры в квартирах на l – м шаге регулирования, К; L – количество шагов регулирования.

Расчетная мощность источника тепловой энергии для отопления квартиры при среднем значении температуры отопительного периода T_{out} была принята при регулировании за начальное значение.

В результате математического моделирования разработана и запатентована новая методика учета потребленной тепловой энергии в квартирах, оснащенных приборами индивидуального учета тепловой энергии. При индивидуальном учете дополнительно используют информацию о площади и величине сопротивления теплопередаче межквартирных перегородок и перекрытий, а также о температуре воздуха в квартирах. Значение тепловых потерь квартиры для расчета за тепловую энергию, $Q_{ipacч.}$, определяют по формуле:

$$Q_{ipacч.} = Q_i - \sum_m (S_{mi} - S_{mi0})(T_i - T_{out})/R_{mi} + Q_{общ.} \cdot S_i/S_{общ.} \quad (4)$$

Индекс «0» относится к i – й квартире середины фасада здания;

$Q_{общ.}$ – общие тепловые потери в здании, например, лестничных клеток;

S_i и $S_{общ.}$ – площадь i –й квартиры и отапливаемая площадь здания.

Расчет за потребленную тепловую энергию в соответствии с выражением (4) позволяет устранить ошибки расчета, вызванные теплообменными процессами между квартирами, а также зависимостью величины тепловых потерь от расположения квартиры в здании.

Один из факторов, влияющих на потребление теплоты для отопления энергоэффективных зданий – мощность внутренних источников. В диссертации разработаны методы и представлены результаты измерения мощности внутренних источников тепловой энергии в эксплуатируемых жилых зданиях. На основании измерений, статистической обработки данных о средней заселенности, потребляемых количествах электрической энергии и газа в многоэтажных зданиях, определено среднее значение мощности внутренних источников теплоты, равное $6,15 \text{ Вт/м}^2$ отапливаемой площади. На основании выполненных исследований внесены изменения в действующие нормативы, что повысило качество проектирования жилых зданий.

Обоснована возможность и запатентован новый метод экспериментального определения коэффициента удельных теплопотерь $f_1, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ и удельной мощности внутренних источников тепловой энергии в здании, $f_2, \text{ Вт/м}^2$, путем измерения количества тепловой энергии, потребленной на отопление здания за определенные периоды времени при различной температуре наружного воздуха, из уравнения:

$$[A] \cdot \vec{f} = \vec{P}, \quad (5)$$

где $[A]$ – матрица размерностью $N \times 2$;

коэффициенты матрицы: $a_{i1} = \Delta T_i$ – разность температур воздуха внутри и снаружи здания на i –м интервале времени, К, $a_{i2} = 1$; \vec{f} – вектор размерностью 2, с компонентами f_1 и f_2 ; \vec{P} – вектор размерностью N , с компонентами, равными удельной мощности системы отопления здания P_i , определенными по показаниям общедомового счетчика тепла, Вт/м^2 ; i – номер интервала измерений и строки в матрице; N – количество интервалов измерений.

Дополнительно, при известных значениях мощности внутренних источников тепла и температуры воздуха в здании, на одном из интервалов времени, метод позволяет из уравнения (5) определить среднюю температуру воздуха в здании для остальных интервалов. На рисунке 1 приведен график коэффициента удельных теплопотерь 1, рассчитанный по экспериментальным данным из уравнения (4), среднее значение этой величины 2 и расчетное теоретическое

значение 3. Совпадения среднего и теоретического значений коэффициента удельных теплопотерь по жилым зданиям г. Минска и г. Могилева подтверждают корректность предложенной методики. Предложенный метод положен в основу проекта СТБ «Метод определения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию эксплуатируемых жилых зданий».

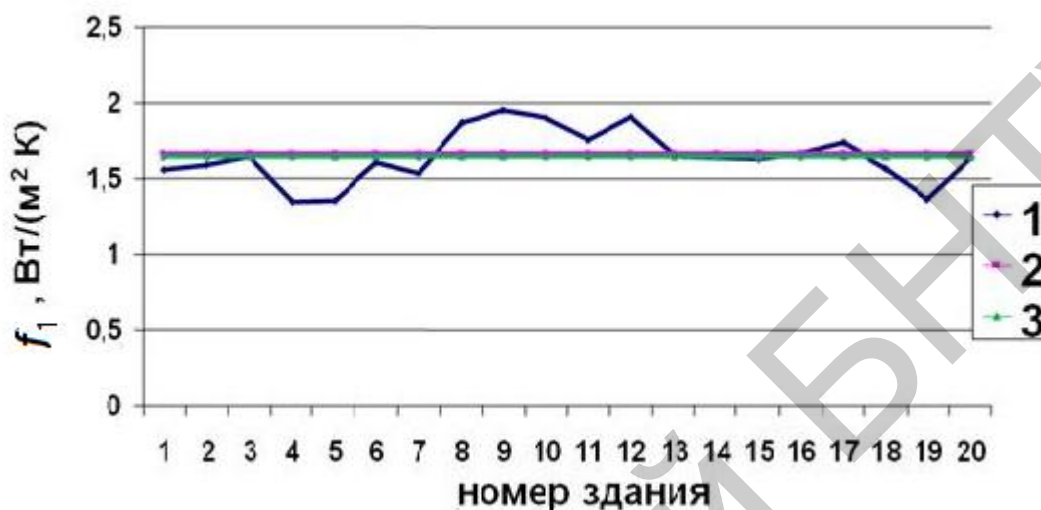


Рисунок 1 – Коэффициент удельных теплопотерь зданий старого жилого фонда (до 1993 г. строительства), Вт/(м²К)

В третьей главе на основе анализа уровня воздухообмена и негативных последствий состояния воздушной среды (высокая влажность воздуха, появление плесени в жилых помещениях в современных эксплуатируемых жилых зданиях) обоснована необходимость перехода к управляемой приточно–вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты вентиляционных выбросов. Определены требования к типу используемых теплообменников и рассмотрены системы вентиляции с механическим побуждением для жилых зданий с различной возможной степенью централизации. Разработана и запатентована конструкция здания с индивидуальными системами механической вентиляции с рекуперацией тепловой энергии удаляемого воздуха в каждой квартире. Системы имеют общие приточную и вытяжную шахты, расположенными снаружи здания. Забор приточного воздуха осуществляется с уровня 4 – 6 этажей, что обеспечивает высокое качество воздуха на всех этажах здания.

Представлены результаты экспериментальных исследований средней влажности вентиляционных выбросов в вытяжных вентиляционных шахтах многоэтажного жилого здания с вентиляционной системой с естественным побуждением. Полученные результаты позволили сделать вывод, что при температуре наружного воздуха ниже минус 2°С для достижения комфортной влажности в помещениях необходимы мероприятия по ее повышению.

На основании исследований разработана математическая модель и выполнено моделирование изменения влажности воздуха в помещениях при ис-

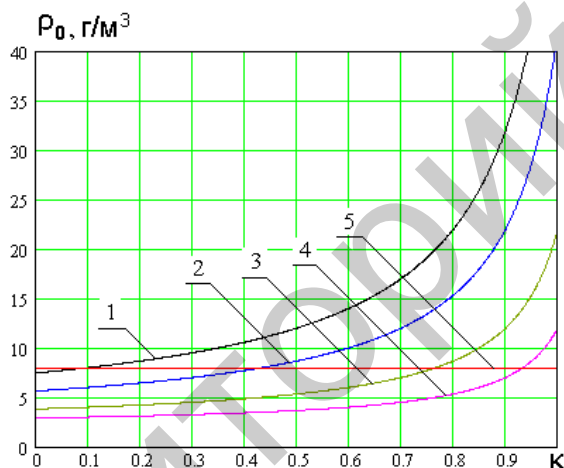
пользовании рекуператора с переносом влаги между каналами. Получена аналитическая зависимость изменения плотности водяного пара в помещении от времени и коэффициента возврата влаги для рассмотренного случая:

$$\rho_0 = \rho_{нар} + \frac{M_1}{(1-k)V_1 + k_1V_0} \left(1 - e^{-\frac{(1-k)V_1 + k_1V_0 \cdot t}{V_0}}\right), \quad (6)$$

где V_0 – объем помещения, м³; ρ_0 – плотность пара в помещении, кг/м³;

$\rho_{нар}$ – плотность пара в наружном воздухе, кг/м³; V_1 – объем воздуха, проходящий через вентиляционную систему, м³/ч; M_1 – масса влаги, выделяемой в единицу времени в помещении, кг/ч; k – коэффициент возврата влаги рекуператором; k_1 – кратность свободного воздухообмена, 1/ч.

На рисунке 2 приведены результаты расчета влажности в зависимости от мощности источника влаги и коэффициента возврата влаги в рекуператоре.



M_1/V_0 : 1 – 6 г/(м³ч); 2 – 4 г/(м³ч); 3 – 2 г/(м³ч); 4 – 1 г/(м³ч); 5 – $\rho_0=8$ г/м³

Рисунок 2 – Зависимость плотности пара в воздухе помещений от коэффициента возврата влаги

Для случая, когда источник выделяет 2 г/м³ влаги в час, коэффициент возврата влаги в рекуператоре должен находиться в диапазоне 0,5 – 0,75, а для значения $k_1 > 0,95$ влажность в помещении превысит значение насыщения и это приведет к конденсации пара. При выделении влаги более 4 г/м³ – оптимальное значение влажности сохраняется в помещении без дополнительных мероприятий. Полученные при расчетах данные позволяют установить требования к коэффициенту возврата влаги в рекуператоре для поддержания оптимальной влажности воздуха в помещениях при известных условиях эксплуатации.

В четвертой главе разработаны принципы создания рекуперативных теплообменников с высокой эффективностью для работы в системах вентиляции жилых зданий в широком диапазоне климатических условий.

Сформулирована и решена задача оптимизации габаритных размеров теплообменника, обеспечивающая заданное значение площади теплообменной

поверхности для различной формы теплообменной поверхности при фиксированном значении потерь давления на теплообменнике. Получена зависимость, позволяющая определить максимальную длину теплообменного пакета, сохраняющую заданную величину гидравлического сопротивления, с учетом формы поверхности пластин:

$$A \cdot l^3 + B \cdot l^2 - c_2 = 0, \quad (7)$$

где для теплообменника с плоскими пластинами,

$$A = 3,52 \cdot k^{0,25} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot p^2 / (c_1^2 \cdot \pi^2 \cdot D^{5,25}); \quad B = 32 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot p^2 / (c_1^2 \cdot \pi^2 \cdot D^4) \cdot \sum \xi_i \quad (8)$$

для теплообменника с системой каналов;

$$A = 0,88 \cdot k^{0,25} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot (S_T^2 \cdot D^{3,25}); \quad B = 6 \cdot \rho \cdot V^2 / (S_T^2 \cdot D^2) \cdot \sum \xi_i \quad (9)$$

k – абсолютная эквивалентная шероховатость стенок каналов, м;

D – эквивалентный диаметр сечения канала, м; l – длина, м; P – периметр каналов, м; ξ_i – i -е местное сопротивление; V – объем проходящего воздуха, м³/с; $c_2 = \Delta P$; ΔP – разность давлений, Па; $c_1 = S_T$; S_T – площадь теплообменной поверхности, м².

Сравнительный анализ решений, полученных для пакетов с различным видом профилей пластин показал, что минимальный объем при фиксированных условиях оптимизации обеспечивает теплообменник с чередующимися пилообразной и плоской пластинами, разработанный и запатентованный автором. Его объем составляет около 30% объема пакета с плоскими пластинами, и почти 50% аналогичного, с прямоугольным сечением пластин. Определены ограничения на минимальные размеры сечения каналов в пакетах из условия возможности удаления влаги, сконденсированной в каналах.

Определена физическая сущность и разработана математическая модель теплообмена с учетом фазовых переходов. Расчет изменения значений температур в каналах выполнялся методом последовательных итераций на основе численного решения системы дифференциальных уравнений, полученной в результате преобразований исходной системы уравнений теплового баланса:

$$dT = \frac{T - \theta}{\gamma_1(T) \cdot \gamma_2(\theta)} \cdot dx, \quad d\theta = \frac{T - \theta}{\gamma_2(\theta)} \cdot dx, \quad (10)$$

$$\text{где } \gamma_1(T) = \frac{C(T_1)}{C(\theta_1)} \cdot \frac{V_1}{V_2} \cdot \left[1 + \frac{E}{C(T_1)} \cdot \frac{dp_{нас}(T)}{dT} \right], \quad \gamma_2(\theta) = \frac{C(\theta_1) \cdot V_2 \cdot l}{S_{об}} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right),$$

$$C(T) = c_g \cdot \rho_{св}(T) + c_n \cdot \rho_n(T), \quad C(\theta) = c_g \cdot \rho_{св}(\theta) + c_n \cdot \rho_n(\theta) \quad (11)$$

E – скрытая теплота парообразования, Дж/кг; α_1 и α_2 – коэффициент теплоотдачи на поверхности разделяющей стенки со стороны удаляемого и приточного воздуха, соответственно, Вт/(м²·К); c_v и c_n – теплоемкость воздуха и пара, соответственно, Дж/(кг·К); ρ_{cv} , ρ_n – плотность, кг/м³, воздуха и пара, соответственно; V_1 и V_2 – потоки воздуха в приточном и вытяжном каналах, м³/час; T и θ – температура воздуха в вытяжном и приточном каналах, К.

Выполнено численное решение системы уравнений (10) для различных температурных и влажностных условий работы. Были выполнены расчеты температурных режимов в каналах теплообменника и определены условия его работы без опасности обмерзания пластин.

Исследован вопрос об эффективности и условиях замерзания влаги в теплообменнике с переносом пара. Разработана численная модель и выполнены расчеты изменения температуры и влажности воздуха в каналах теплообменника с учетом конденсации влаги в удаляемом воздухе. На основании расчетов сделан вывод о том, что данный тип теплообменников не исключает возможности замерзания влаги между пластинами, однако позволяет расширить диапазон безопасной эксплуатации в область отрицательных температур.

Выполнена экспериментальная проверка, подтвердившая корректность численной модели расчетов. С этой целью была разработана и изготовлена оригинальная конструкция теплообменника из чередующихся плоских пластин и пластин с пилообразным профилем. Плоская пластина выполнялась из паропроницаемого материала. При такой конструкции площадь теплообменной поверхности больше, чем площадь паропроницаемой, что обеспечивает, в отличие от известных решений, высокую энергетическую эффективность рекуперативного теплообменника при управляемом переносе пара. Эксперименты проводились в климатической камере с температурой воздуха до минус 25 °С.

При выборе рекуперативного теплообменника для использования в системе вентиляции величина энергетической эффективности, полученная в лабораторных условиях, не может быть определяющим параметром. В диссертации предложено ввести в качестве нового критерия величину ζ , «эффективность системы теплообмена», равную:

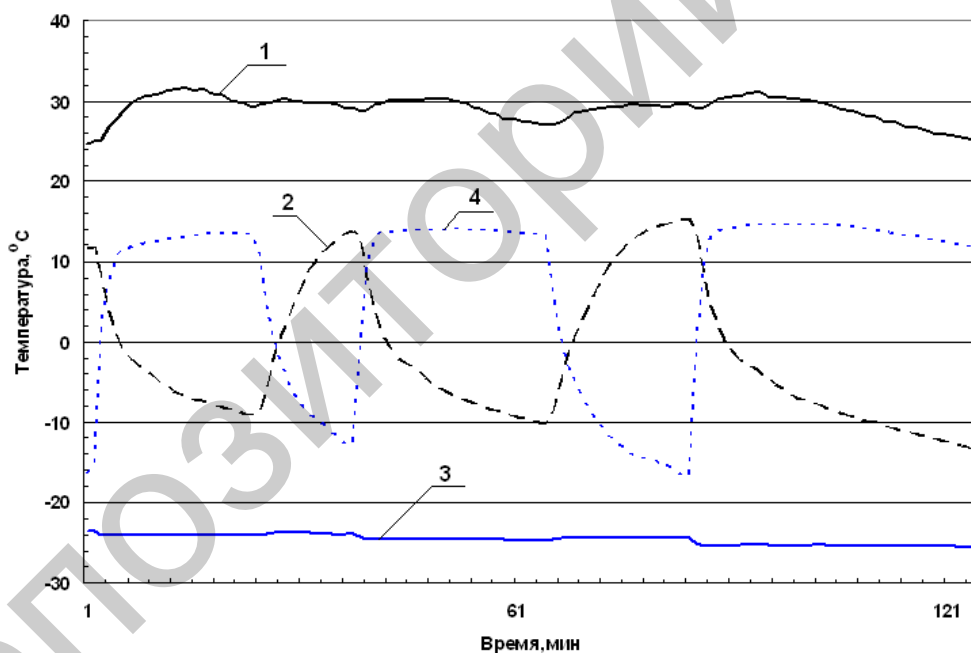
$$\zeta = \frac{Q_v}{Q_{max}}, \quad (12)$$

где Q_v – количество энергии возвращаемой теплообменником из удаляемого воздуха в течение отопительного периода, кВтч/м² в год;

Q_{max} – количество энергии, необходимое для нагрева наружного воздуха до оптимальной температуры в течение отопительного периода, кВтч/м² в год.

На основании исследований величины ζ для различных климатических условий доказано, что существующие системы, предохраняющие теплообмен-

ник от замерзания влаги при низких температурах, уменьшают значение ζ независимо от энергетической эффективности теплообменника в лабораторных условиях. Предложены и запатентованы устройство и способ теплообмена, сохраняющие эффективность для широкого диапазона климатических условий. Допускается частичное обмерзание пластин в теплообменнике, который работает по циклическому алгоритму: в первом цикле происходит воздухообмен с частичным контролируемым (путем измерения аэродинамического сопротивления или температуры воздуха в каналах) замерзанием теплообменника; во втором цикле происходит его размораживание с 100% рециркуляцией воздуха в приточный канал. Анализ результатов экспериментального исследования работы рекуперативного теплообменника по предложенному способу, приведенных на графиках рисунка 3 показывает, что процесс замерзания влаги идет практически без снижения температуры приточного воздуха на выходе канала теплообменника и по времени в 2 раза превышает процесс размораживания, приводящий к восстановлению расхода воздуха в вытяжном канале. Исследование состояния теплообменного пакета после многократных циклов замораживания–размораживания не выявило начинающегося разрушения.



1 – температура на входе и 2 – на выходе вытяжного канала; 3 – температура на входе и 4 – на выходе приточного канала

Рисунок 3 – Зависимость изменения температуры на входе и выходе рекуперативного теплообменника от времени

В пятой главе исследованы ограждающие конструкции для энергоэффективных зданий. Основные направления снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции связаны с новыми теплоизоляционными материа-

лами и разработкой систем теплоизоляции, в которых ограждающая конструкция играет активную роль в экономии тепловой энергии.

Известна конструкция наружного ограждения, содержащая воздушную прослойку между теплоизоляцией и несущей конструкцией стены здания. Для удаления водяного пара, мигрирующего из помещений, прослойка должна вентилироваться наружным воздухом. Часть энергии теплового потока проходящего из внутренних помещений нерационально затрачивается на нагревание движущегося в прослойке воздуха. С целью предотвращения конденсации влаги в прослойке в диссертации предложено устанавливать паропроницаемые вставки в слое теплоизоляции. Разработан метод расчета отношения суммарной площади паропроницаемых вставок к площади стены, равного величине:

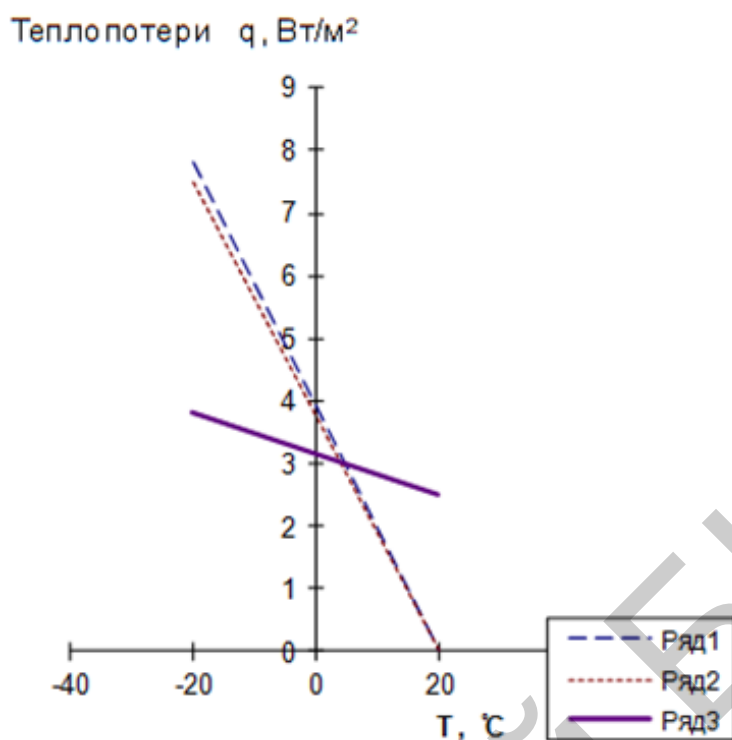
$$\varepsilon \geq k_{m1}(P_{in} - P_{нас}(T))/(k_{m2}(P_{нас}(T) - P_{out})), \quad (13)$$

где k_{m1}, k_{m2} – коэффициенты паропроницаемости стены и вставок, соответственно, мг / (м²·ч·Па); $P_{нас}(T), P_{in}, P_{out}$ – парциальное давление насыщенного пара в прослойке, пара в помещении и в наружном воздухе, Па.

На основании выполненных исследований разработана и запатентована конструкция системы теплоизоляции зданий с замкнутой воздушной прослойкой и паропроницаемыми вставками.

Предложена и запатентована конструкция теплоизоляционной системы с возможностью изменения ее теплотехнических свойств. Она выполнена в виде теплоизоляции с вентилируемой воздушной прослойкой внутри нее. В прослойку подается воздух с температурой более высокой, чем в соответствующей точке обычной теплоизоляционной системы. Это повышает теплозащитные свойства стен и позволяет управлять потерями теплоты из здания. Разработан метод расчета системы в зависимости от скорости и температуры воздуха в прослойке и соотношения толщин теплоизоляционных слоев и прослойки. Метод позволяет снизить тепловые потери через стену более чем в два раза (рисунок 4) по сравнению с обычной теплоизоляционной системой. На графике 3 рисунка видно, что тепловой поток из помещений сохраняется и при высокой температуре наружного воздуха, что позволит снизить температуру воздуха и улучшить микроклимат в помещениях в жаркое время года.

В качестве источника энергии для повышения температуры воздуха в прослойке предлагается использование почвенного теплообменника, энергию вентиляционных выбросов или солнечную энергию. Получено экспериментальное подтверждение реальности использования для зданий системы теплоизоляции с управляемыми теплотехническими характеристиками.



1 – обычная теплоизоляция, $d = 20$ см; 2 – теплоизоляция с воздушной прослойкой толщиной 4 см и неподвижным воздухом; 3 – скорость воздуха в прослойке 0,5 м/с

Рисунок 4 – Зависимости удельных тепловых потерь, Вт/м², от температуры наружного воздуха, °C

Разработана и запатентована конструкция окон с сопротивлением теплопередаче $1,2 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$, для профиля которых создана новая технология изготовления композиционного материала на основе пенополиуретана и деревянных опилок. Новый материал, по сравнению с использованием в оконном профиле чистого пенополиуретана, снижает стоимость оконного профиля на 30 – 40% при сохранении теплозащитных свойств. Производство оконных блоков освоено отечественными предприятиями (ОАО «Забудова», ОАО «Барановичдрев», ОАО «Стройдеталь»). Окна новой конструкции были использованы при строительстве энергоэффективных зданий в гг. Минск, Гомель, Гродно.

Глава 6 посвящена техническим решениям, обеспечивающим использование возобновляемых и альтернативных источников энергии в системах энергоснабжения энергоэффективных зданий.

Грунтовый теплообменник – это система труб, проложенных в грунте на глубине 2–5 м, через которые прокачивается наружный воздух приточной системы механической вентиляции. Большинство известных методов расчета эффективности работы грунтовых теплообменников основано на численном интегрировании уравнения теплопроводности в грунте. Они требуют для своей реализации больших затрат расчетного времени. В диссертации разработана

численно–аналитическая модель расчета характеристик грунтового теплообменника. Система уравнений включает уравнение теплопроводности:

$$\partial T / \partial t = \chi \cdot \Delta T, \quad (14)$$

где $\chi = \lambda / (c \cdot \rho)$ – коэффициент температуропроводности грунта, м²/с;

λ – коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м*К);

с граничным условием на поверхности грунта, приближенно учитывающим радиационный и конвективный механизмы теплообмена с атмосферой, а также теплотери на испарение влаги:

$$\partial T / \partial z \Big|_{z=0} = h(T - T^*(t)) \Big|_{z=0}, \quad (15)$$

где h – отношение обобщенного коэффициента теплообмена к коэффициенту теплопроводности грунта; $T^*(t)$ – эквивалентная температура воздуха, К.

На стенках труб задан тепловой поток в грунт:

$$-\chi \cdot (\vec{\nabla} T \cdot \vec{n}) \Big|_{wall} = q(t, y) (2\pi R)^{-1}, \quad (16)$$

где \vec{n} – внешняя нормаль к поверхности трубы, R – ее радиус, м;

$q(t, y)$ – тепловой поток с единичной длины трубы, Вт/м.

Расчет температуры выходящего из теплообменника воздуха проводится с помощью метода Фурье. При произвольной зависимости входной температуры воздуха от времени температуру воздуха и возмущенную температуру грунта условно разделили на высоко– и низкочастотные колебательные составляющие с характерными временными масштабами соответственно сутки и $\min(t, \text{год})$, где t – время работы системы ($t \gg$ суток). Такое разделение связано с разными способами оценки Фурье – компонент для различных частот. Для высокочастотных Фурье–компонент используется точное решение, а для области низких частот – приближенное, основанное на модели линейного источника.

Высокочастотная Фурье–компонента температуры грунта на расстоянии r от оси трубы имеет вид:

$$U_{\omega}(r, y) = -q_{\omega}(y) (2\pi\chi)^{-1} K_0(\sqrt{i}D) \left[(\sqrt{i}P) \cdot K'_0(\sqrt{i}P) \right]^{-1}, \quad (17)$$

где K_0 – модифицированная функция Бесселя второго рода;

R – радиус трубы, м,

$$D = r \cdot \sqrt{\omega/\chi}, \quad P = R \cdot \sqrt{\omega/\chi}, \quad (18)$$

$$q_{\omega}(y) = \alpha (1 + S_{\omega})^{-1} q_{\omega}(y), \quad (19)$$

где
$$S_{\omega} = -\alpha (2\pi\chi)^{-1} K_0(\sqrt{iP}) \left[(\sqrt{iP}) \cdot K'_0(\sqrt{iP}) \right]^{-1}, \quad (20)$$

Решение для Фурье–компоненты температуры воздуха, проделавшего в трубе путь длиной в y , имеет вид

$$\theta_{\omega}(y) = \theta_{\omega}(0) \exp[-(\gamma_{\omega} + i\varphi_{\omega})y], \quad (21)$$

где
$$\gamma_{\omega} = \operatorname{Re}[\beta(1 + S_{\omega})^{-1}], \quad \varphi_{\omega} = -\operatorname{Im}[\beta(1 + S_{\omega})^{-1}], \quad (22)$$

Температура определяется выражением

$$\theta(t, y) = (2\pi)^{-1} \int \theta_{\omega}(y) \exp(i\omega t) d\omega, \quad (23)$$

Выражение для низкочастотной составляющей температуры стенки трубы при $r = R$ имеет вид:

$$U(x, y, z, t) = \int_{-\infty}^t d\tau [4\pi\chi \cdot (t - \tau)]^{-3/2} \int_0^L dy' q(\tau, y') \cdot \exp[-(y - y')^2 [4\chi \cdot (t - \tau)]^{-1}] \times \\ \times \exp[-r^2 [4\chi \cdot (t - \tau)]^{-1}] \cdot \left\{ 1 + \exp[-(r^2 z + 4zz_0) [4\chi \cdot (t - \tau)]^{-1}] \cdot (1 - 2 \cdot S) \right\}, \quad (24)$$

где
$$r^2 = (x - x_0)^2 + (z - z_0)^2, \quad (25)$$

$$S = \int_0^{\infty} dp \cdot \exp \left\{ -p - [2(z + z_0)ph + p^2] [4\chi h^2 \cdot (t - \tau)]^{-1} \right\}. \quad (26)$$

Совместно с уравнением для температуры воздуха в трубе:

$$\partial\theta(t, y)/\partial y = -(\beta/\alpha)q(t, y), \quad (27)$$

уравнение (24) образует исходную систему для низкочастотной составляющей колебаний температуры воздуха и грунта.

Численное решение уравнений выполняется с большими шагами по времени, что позволяет рассчитывать эволюцию системы на протяжении большого интервала вплоть до нескольких лет. Основываясь на модели линейного источника и результатах, полученных для высоких частот, решена также задача теплового взаимодействия системы многих труб.

Результаты расчетов с помощью разработанной модели, позволили разработать конструкцию грунтового теплообменника для использования в системах энергообеспечения здания. В первую очередь, это система вентиляции с

рекуперацией теплоты вентиляционных выбросов, в которой грунтовый теплообменник решает задачу предотвращения обмерзания рекуперативного теплообменника зимой и кондиционирования воздуха летом. Эксперименты, выполненные с грунтовым теплообменником в системе вентиляции одноэтажного жилого здания, подтвердили целесообразность его использования.

В современных зданиях на горячее водоснабжение расходуется такое же количество тепловой энергии, что и на отопление. В диссертации представлены результаты экспериментальных исследований температуры канализационных стоков и расхода горячей воды в многоэтажных жилых зданиях, что позволило определить закономерности изменения потоков сточных вод и потенциал энергосбережения. Статистическая обработка экспериментальных данных показала высокую степень корреляции изменения температуры сточных вод для различных зданий, а также и между температурой сточных вод и объемом потребления горячей воды. На основании результатов корреляционного анализа сделан вывод о возможности обобщения полученных результатов на все многоэтажные здания и разработаны схема и конструкция системы утилизации сточных вод многоэтажных зданий, а также алгоритмы выбора объема бака-утилизатора в системе. Предложенная система утилизации, на которую получен патент РФ, реализована в проектах энергоэффективных зданий.

Солнечная энергия – наиболее перспективное направление развития современной энергетики. Разработаны и запатентованы способ расчета формы отражающей поверхности и конструкция солнечного коллектора, обеспечивающие концентрацию солнечных лучей независимо от положения солнца на трубке с теплоносителем. Конструкция солнечного коллектора позволяет обеспечить высокую эффективность нагрева теплоносителя полный световой день, используя как прямое, так и рассеянное солнечное излучение. Солнечный луч, касательный к приемному элементу, перпендикулярен плоскости, касательной к рефлектору в каждой точке. Уравнение линии, задающей форму рефлектора в коллекторе, имеет вид:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(x - x_c) \cdot \sqrt{(y_c - y)^2 + (x - x_c)^2 - r^2} - (y_c - y) \cdot r}{(y_c - y) \cdot \sqrt{(y_c - y)^2 + (x - x_c)^2 - r^2} - (x - x_c) \cdot r}, \quad (31)$$

где x_c , y_c и r – координаты центра и радиус приемного элемента, м.

Разработан и испытан фокусирующий солнечный коллектор с рефлектором, рассчитанным по предложенному способу. Конструкция коллектора запатентована, технологична и используется в системах горячего водоснабжения. Батарея солнечных коллекторов, изготовленная по разработанной конструкции,

используется для нагрева горячей воды в Государственном предприятии «Институте жилища – НИПТИС им. Атаева С. С.» в течение 5 лет.

В седьмой главе изложены результаты практического внедрения разработанных в предыдущих главах основ и технических решений строительства энергоэффективных зданий. Принципы создания энергоэффективных зданий были использованы при проектировании и строительстве первого на территории СНГ энергоэффективного панельного здания серии 111–90 МАПИД. Основной целью проекта ставилась отработка технических и проектных решений и технологии строительства энергоэффективных зданий для дальнейшего тиражирования. Конструкция здания запатентована автором.

С целью выравнивания тепловых потерь по оболочке здания было выполнено неоднородное утепление наружных ограждающих конструкций по методике и патенту, описанным в гл. 2. В здании использованы энергоэффективные окна (гл. 5). В здании предусмотрена децентрализованная система приточно–вытяжной вентиляции с механическим побуждением и рекуперацией теплоты вентиляционных выбросов (гл. 3, 4). В каждой квартире установлены блок вентиляции и система управления, обеспечивающая независимое регулирование работы приточного и вытяжного вентиляторов. Система управления, совмещает функцию регулирования температурного режима квартиры и управления режимами работы приточного и вытяжного вентиляторов.

В системе вентиляции каждой квартиры используют рекуперативный теплообменник с каналами треугольной формы, разработанный по патентам автора (см. гл.4), расположенный в лоджии, что позволяет экономить полезную площадь. Приточные вентиляционные каналы квартир подключены к общей приточной шахте с забором воздуха на уровне 4 – 6 этажей, что обеспечивает высокое качество воздуха на всех этажах здания. Вытяжные вентиляционные каналы подключены к общей вытяжной шахте с выходом на крыше. Эксплуатация здания в течение 7 отопительных периодов показала снижение в 2,5 – 5 раз удельного потребления тепловой энергии на отопление по сравнению со зданиями массовых серий, подтвердила основные принципы энергоэффективного проектирования, разработанные в диссертации, которые легли в основу комплексной программы СМ РБ по проектированию и строительству энергоэффективных зданий в Республике Беларусь. На рисунке 5 представлены затраты тепловой энергии на отопление отдельных квартир, подтвердившие расчетные тепловые характеристики здания с учетом особенностей эксплуатации. Там же представлен средний уровень удельного потребления тепловой энергии на отопление в квартирах. Рисунок служит также хорошей иллюстрацией к тезису о влиянии перетоков тепловой энергии между квартирами на показания счетчиков.

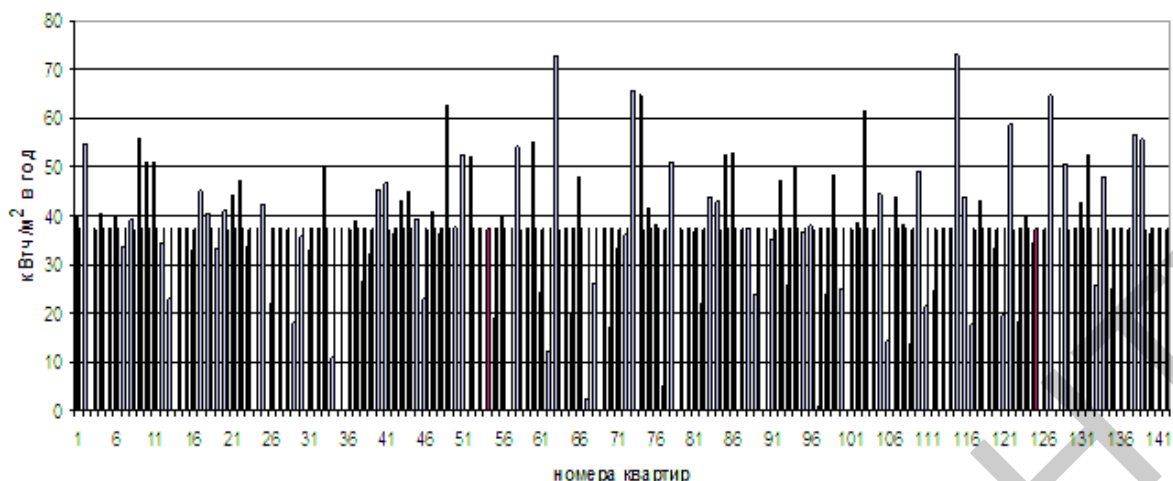


Рисунок 5 – Удельные расходы теплоты на отопление квартир энергоэффективного дома в отопительном сезоне 2009 – 2010 гг.

Разработанные в диссертации принципы и технические решения были использованы в проектах энергоэффективных зданий, построенных в гг. Витебске, Гомеле, Гродно, Белгороде (РФ), Караганде (РК). В зданиях г. Витебска и Гомеля используется система утилизации теплоты сточных вод, гл.6.

В стране реализуется разработанная с использованием созданных в диссертации методологии и технических решений «Комплексная программа по проектированию, строительству и реконструкции энергоэффективных жилых домов в Республике Беларусь на 2009 – 2010 годы и на перспективу до 2020 года», утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 01.06.2009 г. № 706. Экономия топлива – энергетических ресурсов, в процессе реализации программы составила за 2009 – 2013 годы 25 тысяч ТУТ. Импорт-замещение, достигнутое в процессе реализации программы, составило за 2009 – 2013 годы 40 миллионов долларов США.

Разработанные в диссертации принципы создания энергоэффективных зданий послужили базисом для корректировки нормативной базы РБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных соискателем, позволили сформулировать следующие выводы:

1. В диссертационной работе проанализирован и обобщен обширный отечественный и зарубежный опыт создания жилых зданий с низким уровнем тепловых потерь, исследованы факторы, определяющие затраты тепловой энергии при их эксплуатации, научно обоснованы базовые основы создания энерго-

эффективного **многоэтажного** жилого дома массового строительства как изменяющейся системы с оптимальным для существующих технико–экономических условий уровнем потребления тепловой энергии [1, 4, 8–11, 24, 50, 53, 60–63, 65–68, 73–76, 81, 99, 104, 105, 113] и отличающегося от известных возможностью снижения энергопотребления в течение жизненного цикла и на их основе предложены новые проектные и технические решения энергоэффективных жилых домов [19, 20, 23, 25, 30–32, 38, 39, 46, 48, 49, 78–80, 83–85, 90–93, 95, 96, 100, 104, 105, 113], реализованные в строительстве.

2. Разработана физико–математическая модель теплообмена многоэтажного жилого здания, учитывающая климатические, проектные конструктивные и архитектурные факторы, а также режимы энергопотребления отдельных квартир [1, 2, 23, 25, 34, 39, 40, 45, 65, 66] и запатентована методика определения фактического потребления и индивидуального учета тепловой энергии на отопление квартир в многоквартирном жилом здании, отличающаяся возможностью учета теплообменных процессов внутри здания [34, 40, 96].

3. Предложены новые эффективные методы экспериментального исследования, позволяющие определять, в отличие от известных, значение коэффициента удельных тепловых потерь, мощность внутренних источников тепловой энергии и среднюю температуру воздуха в здании без проведения прямых измерений, ставшие основой нового государственного стандарта измерений, и впервые получены достоверные значения составляющих теплового баланса жилых зданий массового строительства, подтвердившие корректность теоретических и экспериментальных исследований [12, 21, 22, 33, 47, 68, 77, 81, 86, 87, 97, 117], на основании которых внесены изменения в нормативные документы по величине мощности внутренних источников тепловой энергии и обоснована классификация зданий по потреблению тепловой энергии на отопление и вентиляцию, включенная в нормативный документ «Тепловая защита зданий».

4. Обоснованы и запатентованы требования к теплотехническим показателям внешнего контура здания [1, 25, 39, 45, 65, 69, 70–72, 82, 89, 98] и энергетическим характеристикам инженерного оборудования с учетом влияния климатического фактора [7, 54, 64, 66, 88, 94], которые использованы при проектировании энергоэффективных зданий и корректировке нормативов. Разработана новая система тепловой защиты наружных стен зданий [14, 42] с замкнутой воздушной прослойкой, отличающейся паропроницаемыми теплоизоляционными вставками [1, 115] и с вентилируемой воздушной прослойкой в слое теплоизоляции, позволяющая управлять теплопередачей наружной оболочки здания и использовать вторичные и возобновляемые источники энергии [1, 3, 43, 55, 57, 107, 118] для снижения тепловых потерь через оболочку здания.

5. Предложены и запатентованы теоретически обоснованные и экспериментально подтвержденные конструкции систем приточно–вытяжной венти-

ляции для многоэтажных жилых домов с механическим побуждением и рекуперацией тепловой энергии удаляемого из помещений воздуха [106, 107], обеспечивающие контролируемое качество воздушной среды в квартирах независимо от этажности зданий и сокращение потерь тепловой энергии через систему вентиляции более чем на 50% [5, 7, 17, 26, 27, 54, 55, 82, 88, 89, 94], которые были положены в основу конструкции систем вентиляции построенных в РБ и за рубежом энергоэффективных зданий.

6. Разработаны физико–математические модели, выполнено численное моделирование и проведены экспериментальные исследования функционирования рекуперативных теплообменников в условиях фазовых переходов в каналах, позволившие сформулировать новый критерий оценки эффективности работы системы теплообмена, учитывающий дополнительные затраты энергии при низких температурах наружного воздуха, и обосновать запатентованные конструктивные решения, отличающиеся увеличением площади теплообменной поверхности [13, 36, 98, 109, 110], а также оптимальные режимы работы, повысившие эффективность теплообменников на 20 – 30% [5, 36, 41, 46, 32, 50, 53, 61, 65, 114, 115], по сравнению с известными, в низкотемпературных климатических условиях. Освоен выпуск теплообменников разработанной конструкции для использования в системах вентиляции энергоэффективных зданий.

7. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования, определившие энергетический потенциал сточных вод в многоэтажных жилых зданиях [16, 44], на их основе обоснована методика расчета и разработана запатентованная конструкция системы утилизации вторичных энергоресурсов в жилом здании, отличающейся использованием тепловой энергии сточных вод [1, 116] и обеспечивающей снижение на 30 – 40% затрат энергии в системе горячего водоснабжения.

8. Разработана методика расчета грунтового теплообменника на основе численно–аналитической модели, отличающаяся от известных, возможностью прогнозирования его тепловой эффективности в течение годового цикла [1, 6, 38], а также запатентован новый метод расчета формы отражающей поверхности солнечного коллектора фокусирующего типа, обеспечивающей высокую эффективность его работы в течение светового дня, выполнено математическое моделирование и проведены экспериментальные исследования энергетических характеристик систем энергообеспечения зданий, использующих возобновляемые источники энергии – энергию грунта и солнечную энергию [91, 97, 119].

9. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования и разработана и запатентована конструкция оконного профиля и энергосберегающих окон для энергоэффективных жилых домов с сопротивлением теплопередаче, вдвое превышающим сопротивление теплопередаче стандартных окон и отличающаяся использованием впервые разработанного и запатентованного компо-

зиционного материала на основе пенополиуретана и древесных опилок [15, 37, 52, 56, 58, 59, 78, 79, 101–103, 111, 112, 120, 121], что послужило технической базой для выпуска энергоэффективных окон на отечественных деревообрабатывающих предприятиях и обеспечило введение нового стандарта на сопротивление теплопередаче окон и снижение на 70% потерь тепловой энергии через оконные конструкции.

Рекомендации по практическому использованию результатов диссертации.

Экспериментальные исследования эксплуатационных теплотехнических показателей экспериментальных энергоэффективных зданий [19, 20, 30–32, 38, 46, 48, 49, 60, 62, 79, 80, 83–85, 90–93, 95, 96, 100] подтвердили теоретические положения диссертации и снижение в 2,5 – 5 раз затрат тепловой энергии на отопление по сравнению со зданиями массовых серий, что послужило основанием для и разработки следующих нормативных документов, утвержденных Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь:

- Изменение №1 ТКП 45–2.04–43–2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования»;
- ТКП 45–2.04–196–2010 «Тепловая защита зданий. Теплотехнические характеристики». Введены 01.09.2010г. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь;
- СТБ 2070–2010 «Окна и балконные двери из комбинированного материала с двухкамерным стеклопакетом». Введен 01.01.2011г.;
- Технический регламент ТР 2009/013/ВУ «Здания и сооружения. Строительные материалы и изделия. Безопасность», ст.5, п.4;
- Изменение в СНБ 4.02.01–2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»;
- «Методические указания о порядке определения необходимости проведения тепловой модернизации эксплуатируемых жилых домов.» – Утверждено приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, Министерства жилищно–коммунального хозяйства Республики Беларусь от 14 марта 2011 г. №67/33;
- СТБ «Метод определения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию эксплуатируемых жилых зданий» (проект).

По результатам исследований получено 21 патент.

Эффективность исследований подтверждается освоением выпуска энергоэффективных окон по патентам [101–103, 111, 112, 120, 121], рекуперативных теплообменников по патентам [109, 110], строительством энергоэффективных зданий по патентам [104, 105, 113], разработанной и реализуемой Комплексной программой по проектированию, строительству и реконструкции энергоэффек-

тивных жилых домов в Республике Беларусь на 2009–2010 годы и на перспективу до 2020 года (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 01.06.2009 г. № 706), в соответствии с которой за 2009–2013 годы построено около 2 800 тыс. м² жилых зданий. Экономия топлива – энергетических ресурсов в процессе реализации программы составила только за 2009 – 2013 годы 25 тысяч ТУТ. Импортзамещение в процессе реализации программы, составило за 2009 – 2013 годы 40 миллионов долларов США. Эффект от выполнения Программы в 2014 – 2020 гг. составит экономию более 130000 тонн условного топлива на отопление зданий.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах, включенных в перечень ВАК.

Монографии

1. Данилевский, Л.Н. Принципы проектирования и инженерное оборудование энергоэффективных жилых зданий /Л.Н. Данилевский. – Минск: Бизнесофсет, 2011.– 375 с.

Статьи в научных журналах, включенных в перечень ВАК.

2. Данилевский, Л.Н. Система автоматического управления режимом теплоснабжения зданий / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Архитектура и строительство. – 1997. – №1. – С. 38 – 39.

3. Данилевский, Л.Н. Теплоизоляционная система с управляемыми свойствами для пассивного дома / Л.Н. Данилевский // Архитектура и строительство. – 1998. – №3. – С. 30 – 31.

4. Данилевский, Л.Н. Пассив в актив. Цель – нулевое энергопотребление / Л.Н. Данилевский, Д.Д. Жуков //Архитектура и строительство. – 2000. – С. 37–39.

5. Данилевский, Л.Н. Эффективное использование систем вентиляции в современных зданиях/ Л.Н. Данилевский // Энергоэффективность. – 2002. – №5. – С. 19–20.

6. Danilevskii L.N. Analitical and numerical investigation of the characteristics of a soil heat exchanger for ventilation systems / L.N. Danilevskii, V.P. Kabashnikov, V.P. Nekrasov, I.P. Vityaz // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2002. –№45. –S. 2407–2418.

7. Данилевский, Л.Н. Утилизация тепла вентиляционных выбросов – путь к современному энергоэффективному строительству / Л.Н. Данилевский // Энергетика и ТЭК. – 2003. – №4. – С. 32 – 34.

8. Данилевский, Л.Н. Повышение энергоэффективности зданий / Л.Н. Данилевский // Архитектура и строительство. – 2005. – №4. – С. 106–108.

9. Данилевский, Л.Н. Пассивный дом – Итоги и перспективы / Л.Н. Данилевский // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2006. – №10. – С. 72–73.

10. Данилевский, Л.Н. Основные требования к конструкции и инженерным системам энергоэффективных зданий. / Л.Н. Данилевский // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2006. – №7 (90). – С. 66–67.

11. Данилевский, Л.Н. Пассивный дом – основное направление энергоэффективного строительства / Л.Н. Данилевский // Архитектура и строительство. – 2006. – №5. – С. 106–109.
12. Данилевский, Л.Н. Измерение фактических энергетических характеристик жилых зданий / Л.Н. Данилевский // Архитектура и строительство. – 2006. – №1. – С. 118 – 123.
13. Данилевский, Л.Н. Исследование эффективности канальных теплообменников–рекуператоров воздух–воздух / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Строительная наука и техника. – 2006. – №4(7). – С. 36–41.
14. Данилевский, Л.Н. Вакуумная теплоизоляция и перспективы использования в строительстве. / Л.Н. Данилевский // Архитектура и строительство. – 2006. – №5. – С. 114 –117.
15. Данилевский, Л.Н. Теплофизические характеристики окон из комбинированного материала дерево–полиуретан–дерево / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Строительная наука и техника. – 2006. – №5. – С. 8 – 15.
16. Данилевский, Л.Н. Роль современных окон в тепловом балансе / Л.Н. Данилевский // Строительная наука и техника. – 2006. – №2 – С. 22 – 26.
17. Данилевский, Л.Н. Управление влажностью воздуха в помещениях с принудительной системой вентиляции и рекуперацией тепла уходящего воздуха / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Строительная наука и техника. – 2007. – №3. – С. 60 – 65.
18. Данилевский, Л.Н. Оптимизация конструкции рекуперативных теплообменников и схем их использования / Л.Н. Данилевский // Строительная наука и техника. – 2007. – № 6. – С. 55–60.
19. Данилевский, Л.Н. Энергоэффективный панельный дом серии 111–90 МАПИД / В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский, В.А. Потерщук // Архитектура и строительство. – 2007. – №2. – С. 98–101.
20. Данилевский, Л.Н. Крупнопанельный дом с минимальным потреблением тепла при отоплении (г. Минск) / В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский, В.А. Потерщук // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2007. – №6. – С. 44–46.
21. Данилевский, Л.Н. Экспериментальное определение составляющих теплового баланса жилых зданий / Л.Н. Данилевский // Архитектура и строительство. – 2008. – №8. – С. 90 – 95.
22. Данилевский, Л.Н. Фактические энергетические характеристики жилых зданий / Л.Н. Данилевский, А.Н. Жило, Б.Ф. Москалик // Строительная наука и техника. – 2008. – № 5. – С. 22 – 29.
23. Данилевский, Л.Н. Особенности проектирования ограждающих конструкций и длительность отопительного периода энергоэффективных зда-

ний /Л.Н. Данилевский //Строительная наука и техника. – 2008. – № 1 – С. 35–42.

24. Данилевский, Л.Н. Методика расчета экономической целесообразности энергоэффективных мероприятий / Л.Н. Данилевский // Строительная наука и техника. – 2009. – № 5. – С. 12–17.

25. Данилевский, Л.Н. Архитектура и энергоэффективность зданий / Л.Н. Данилевский // Архитектура и строительство. – 2009. – №10. – С. 20–26.

26. Данилевский, Л.Н. Управление влажностью воздуха в помещениях с принудительной системой вентиляции и рекуперацией тепла уходящего воздуха / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Politechnika Czenstochowska. – Czenstochowa, 2009. – S. 74 – 87.

27. Danilevski, L.N. Active noise cancellation for ventilation system in commercial buildings / L.N. Danilevski, I.F. Lisimenko // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Politechnika Czenstochowska. – Czenstochowa, 2009. – P. 53 – 59

28. Данилевский, Л.Н. Оптимизация конструкции рекуперативных теплообменников воздух/воздух и схем их использования / Л.Н. Данилевский // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. – Czenstochowa, 2009. – S.43–52.

29. Данилевский, Л.Н. О возможности утилизации тепла сточных вод в многоэтажных жилых домах / Л.Н. Данилевский // Строительная наука и техника. – 2009. – №2. – С. 64–69.

30. Данилевский, Л.Н. Опыт эксплуатации энергоэффективного панельного жилого дома / В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский, В.А. Потерщук, И.Б. Янчарский // Архитектура и строительство. – 2009. – №3. – С. 42–46.

31. Данилевский, Л.Н. Опыт строительства энергоэффективных зданий в Республике Беларусь и экспериментальное исследование эксплуатационных характеристик энергоэффективного панельного жилого дома в г. Минске / В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Politechnika Czenstochowska. – Czenstochowa, 2009. – С. 60–73.

32. Данилевский, Л.Н. Системы автоматизации энергоэффективного панельного жилого дома в Минске / В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский, С.В. Терехов // Архитектура и строительство. – 2009. – №7. – С. 16 – 19.

33. Данилевский, Л.Н. Методика определения теплоэнергетических характеристик эксплуатируемых зданий. / Л.Н. Данилевский // Строительная наука и техника. – 2010. – №6. – С. 83–90.

34. Данилевский, Л.Н. Температурный режим и учет затрат на тепло-снабжение квартир в многоквартирном здании с индивидуальными регулято-

рами / Л.Н. Данилевский // Строительная наука и техника. – 2010. – №1–2. – С. 85–92.

35. Данилевский, Л.Н. Исследование эффективности работы рекуперативного теплообменника с переносом пара между каналами в условиях низких температур / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Строительная наука и техника. – 2010. – №3. – С. 5 – 12

36. Данилевский, Л.Н. Теплообмен в рекуператоре с учетом конденсации пара / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Строительная наука и техника. – 2010. – №1. – С. 25 – 33.

37. Данилевский, Л.Н. Технология получения и свойства пенополиуретанового композита с древесными опилками / Л.Н. Данилевский, М.А. Ксенофонов, Л.Е. Островская, В.С. Василева, О.О. Гавриленко // Строительная наука и техника. – 2010. – №4. – С. 3–6.

38. Данилевский, Л.Н. Солнечный коллектор фокусирующего типа / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Строительная наука и техника. – 2010. – №5. – С. 31–35.

39. Данилевский, Л.Н. Статистические характеристики энергетических параметров зданий и проектирование тепловой защиты / Л.Н. Данилевский // Энергоэффективность. – 2011. – №7. – С. 9 – 13.

40. Данилевский, Л.Н. Температурный режим и теплоснабжение квартир в многоквартирном здании с индивидуальными регуляторами / Л.Н. Данилевский // Инженерно–физический журнал. – 2011. – Том 84. – №2. – С. 334–341.

41. Данилевский, Л.Н. Повышение эффективности работы теплообменников в системах вентиляции зданий при низкой температуре наружного воздуха / Л.Н. Данилевский // Строительная наука и техника. – 2011. – №5. – С. 2–8.

42. Данилевский, Л.Н. Порошковая вакуумная теплоизоляция. / Л.Н. Данилевский, В.М. Пилипенко, А.М. Черкашин // Архитектура и строительство. – 2011. – №1. – С. 26 – 29.

43. Данилевский, Л.Н. Системы теплоизоляции зданий с воздушной прослойкой. / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Строительная наука и техника. – 2011. – №1. – С. 108–116.

44. Данилевский, Л.Н. Система утилизации тепла сточных вод в жилых зданиях. / Л.Н. Данилевский, А.М. Черкашин // Архитектура и строительство. – 2011. – №1. – С. 16–20.

45. Данилевский, Л.Н. Энергетические характеристики зданий как результат случайных воздействий на параметры микроклимата в квартирах и погрешностей строительного процесса / Л.Н. Данилевский // Архитектура и строительство. – 2012. – № 1. – С. 23–25.

46. Данилевский, Л.Н. Опыт строительства энергоэффективных зданий в Республике Беларусь / Л.Н. Данилевский, В. М. Пилипенко // Энергоэффективность.–2012. – №9. – С. 16–19.

47. Данилевский, Л.Н. Метод определения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию эксплуатируемых многоквартирных жилых зданий и условия его применения / Л.Н. Данилевский, С. В. Терехов, И. А. Терехова, И. А. Коризна// Архитектура и строительство. – 2014. – № 1. – С. 52–58.

48. Данилевский, Л.Н. Об оптимальном значении сопротивления теплопередаче для наружных ограждающих конструкций зданий / Л.Н. Данилевский // Архитектура и строительство. – 2014. – № 1. – С. 30–35.

49. Данилевский, Л.Н. О развитии отечественной нормативно-технической базы в области энергосбережения в зданиях / Л.Н. Данилевский, И. А. Терехова // Архитектура и строительство. – 2014. – № 1. – С. 36–39.

50. Данилевский, Л.Н. Опыт эксплуатации энергоэффективных многоквартирных жилых зданий в Беларуси / В. М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский, С. В. Терехов // Архитектура и строительство. – 2014. – № 1. – С. 12–17.

Статьи в сборниках и журналах, не включенные в перечень ВАК.

51. Данилевский, Л.Н. Теплоизоляция с управляемыми свойствами для зданий с низким уровнем теплопотерь / Л.Н. Данилевский // Сборник трудов ГП НИПТИС. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 1998. – С. 13 – 27.

52. Данилевский, Л.Н. Перспективы энергосберегающего освещения / Л.Н. Данилевский, А.И. Кириленко// Белорусский Строительный рынок. – 1999. – №6. – С. 20 – 22.

53. Данилевский, Л.Н. Тенденции развития современного энергосберегающего строительства / Л.Н. Данилевский // Белорусский Строительный рынок. – 2000. – №13. – С. 8 – 9.

54. Данилевский, Л.Н. Утилизация тепла вентиляционных выбросов – путь к современному энергоэффективному строительству / Л.Н. Данилевский // Строй–профиль. – 2002. – №7. – С. 60 – 61.

55. Данилевский, Л.Н. Перспективы использования воздушного отопления в жилых зданиях / Л.Н. Данилевский // Белорусский Строительный рынок. – 2002. – №12. – С. 24 – 26.

56. Данилевский, Л.Н. Окно с высокими теплофизическими характеристика / Л. Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Белорусский Строительный рынок. – 2002. – №23–24. – С. 13 – 14.

57. Данилевский, Л.Н. Вакуумная теплоизоляция в строительстве / Л.Н. Данилевский //Кровельные и изоляционные материалы. – 2006. – №5. – С. 48 – 50.

58. Данилевский, Л.Н. Окно с высокими теплофизическими характеристиками / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Мастерская. – 2006. – №3. – С. 34–35.

59. Данилевский, Л.Н. Новое поколение оконных конструкций / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Строительный рынок. – 2006. – №1–2. – С. 24 – 25.

60. Данилевский, Л.Н. Энергоэффективный панельный дом / В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский, В.А. Потерщук, И.Б. Янчарский // Мастерская. – 2006. – №9. – С. 68–69.

61. Данилевский, Л.Н. Пассивный или Энергоэффективный? / Л.Н. Данилевский // Теплоэнергоэффективные технологии. – 2010. – № 1–2. – С. 20–23.

62. Данилевский, Л.Н. Опыт строительства энергоэффективных зданий в Республике Беларусь и экспериментальное исследование эксплуатационных характеристик энергоэффективного панельного жилого дома в г. Минске / В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский // Ежегодный сборник Бетон и Железобетон. – 2010. – С. 152 – 156.

63. Данилевский, Л.Н. Опыт строительства и эксплуатации первого энергоэффективного здания в Республике Беларусь и перспективы развития / Л.Н. Данилевский, В.М. Пилипенко // Сборник РААСН. – 2011. – С. 37–45.

64. Данилевский, Л.Н. Энергетические характеристики зданий как результат случайных воздействий на параметры микроклимата в квартирах и погрешностей строительного процесса / Л.Н. Данилевский // Белорусский строительный рынок. – 2011. – № 10. – С. 12–15.

65. Данилевский, Л.Н. Методы экономии энергии при отоплении зданий / Л.Н. Данилевский // Сантехника Отопление Кондиционирование. – 2013. – №10. – С. 80–88.

66. Данилевский, Л.Н. Минимизация потребления тепловой энергии в жилых зданиях / Л.Н. Данилевский // Сантехника Отопление Кондиционирование. – 2014. – №2. – С. 82–87.

Статьи в материалах научных конференций

67. Данилевский, Л.Н. Пассивный дом как адаптивная система жизнеобеспечения / Л.Н. Данилевский // От тепловой санации зданий – к пассивному дому. Проблемы и решения: тезисы докладов международной научно-технической конференции, Минск / Институт жилища и охраны окружающей среды (ФРГ). – Минск, 1996. – С. 32 – 34.

68. Данилевский, Л.Н. Экономический аспект внедрения систем автоматизации теплоснабжения / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Энерго-

сбережение в строительном комплексе Республики Беларусь: материалы научно–технической конференции. – Минск, 1996. – С. 61–63.

69. Данилевский, Л.Н. Перераспределение световых потоков для оптимизации освещения помещения. Перспективы использования осветительных систем на основе не изображающие оптики / Л.Н. Данилевский // Нетрадиционные энергоэффективные системы освещения в жилых, общественных и производственных зданиях: материалы научно–технической конференции, Минск, 29–30 апреля 1997 г. / Научно–исследовательское и проектно–технологическое республиканское унитарное предприятие «Институт НИПТИС». – Минск, 1997. – С. 3–19.

70. Данилевский, Л.Н. Окно в XXI век / Л.Н. Данилевский // «Жилище XXI века» : сб. докл. научно–технической конференции, Минск, 28–29 апреля 1999г. / Научно–исследовательское и проектно–технологическое республиканское унитарное предприятие «Институт НИПТИС». – Минск, 1999. – С. 56–62.

71. Данилевский, Л.Н. Естественное освещение и окна. Компромисс между светотехническими и теплотехническими характеристиками / Л.Н. Данилевский // Энергоэффективные системы освещения в жилых, общественных и производственных зданиях: сб. материалов 2–й научно–практической конференции, Минск, 25 марта 1999./ Научно–исследовательское и проектно–технологическое республиканское унитарное предприятие «Институт НИПТИС». – Минск, 1999. – С. 38 – 41.

72. Данилевский, Л.Н. Перспективы энергосберегающего освещения / Л.Н. Данилевский, А.И. Кириленко // Энергоэффективные системы освещения в жилых, общественных и производственных зданиях: материалы научно–технической конференции. – Минск, 1999. – С. 4–11.

73. Данилевский, Л.Н. К вопросу о снижении уровня теплопотерь здания / Л.Н. Данилевский // Опыт Белорусско–Германского сотрудничества в строительстве: материалы научно–технической конференции. – Минск: НПООО Стринко, 2000. – С. 76–77.

74. Данилевский, Л.Н. Тенденция развития современного энергосберегающего строительства / Л.Н. Данилевский // Опыт Белорусско–Германского сотрудничества в строительстве: материалы научно–технической конференции. – Минск: НПООО Стринко. – 2000. – С. 83–85.

75. Данилевский, Л.Н. Системный подход к энергосбережению в жилых зданиях/ Л.Н. Данилевский // Опыт Белорусско–Германского сотрудничества в строительстве: материалы научно–технической конференции. – Минск: НПООО Стринко, 2000. – С. 108–112.

76. Данилевский, Л.Н. Строительство и реконструкция жилых зданий в стандарте энергоэффективности / Л.Н. Данилевский // Реконструкция Жилья: материалы научно–технической конференции. – Киев, 2000. – С. 66–69.

77. Данилевский Л.Н. Использование регуляторов ДИТ 541 для управления тепловым режимом зданий и ЦТП / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Реконструкция Жилья: материалы научно–технической конференции. – Киев, 2000. – С. 129–134.

78. Danilevski L. Langu rinkos patirimas ir naujoves Baltarusijoje / L. Danilevski, V. Voicekovich // Langu modernizavimas baltijos salyse: Problemos ir galimybes: материалы научно–технической конференции. – Каунас, 2000. – Р. 75–81.

79. Данилевский, Л.Н. Оптимизация покрытий теплозащитных стекол / Л.Н. Данилевский, Г.И. Тимофеева // Опыт Белорусско–Германского сотрудничества в строительстве: материалы научно–технической конференции. – Минск: НПООО Стринко, 2000. – С. 129–135.

80. Данилевский, Л.Н. Метод быстрой оценки параметров грунтового теплообменника для систем вентиляции / Л.Н. Данилевский, И.П. Витязь, В.П. Кабашников, В.П. Некрасов // Теплообмен ММФ–2000, Минск, 23–24 мая 2000 г. / конференц–зал Института физики твердого тела и полупроводников НАНБ – Минск, 2000. С. 35 – 41

81. Danilevski, L. Perspectives of the passive house standard in Belarus / L. Danilevski // 8 Europäische Passivhaustagung, Krems, Österreich, 16–17 april 2004. / Zentrum für Bauen und Umwelt, Donau – Universität Krems. – Krems, 2004. – Р. 631–634.

82. L. Danilevski Ventilazionssystem für die Wohnung eines energieeffizienten Hauses / L. Danilevski // 10. Internationale Passivhaustagung, Hannover, 19 – 20 Mai 2006. / Passivhaus Institut, Darmstadt – Hannover, 2006. – S. 575 – 576.

83. Danilevski, L. Praktische Erfahrungen beim Bau von energieeffizienten, mehrgeschossigen, industriell errichteten Wohngebäuden in der Republik Belarus (Weißrussland) / L. Danilevski, V. Pilipenko, V. Poterschuk // 11. Passivhaus–Tagung, Bregenz, 13–14 April 2007. – Bregenz, 2007. – S. 479–480.

84. Данилевский, Л.Н. Жилые здания с минимальным потреблением тепловой энергии. / Л.Н. Данилевский // Технологии, оборудование, качество: десятый международный симпозиум, Минск, 15–18 мая 2007 / Футбольный манеж. – Минск, 2007. – С. 163–166.

85. Danilevski, L. Praktische Erfahrungen beim Bau von Energieeffizienten, mehrgeschossigen industriellen Wohngebäuden in der Republik Belarus / L. Danilevski, V. Pilipenko, V. Poterschuk // 12. Internationale Passivhaustagung, Nurnberg, 11–12 April 2008. – Nurnberg, 2008. – S. 287–292.

86. Данилевский, Л.Н. Особенности учета теплоснабжения квартир в многоквартирном здании с индивидуальными регуляторами / Л.Н. Данилевский // Энергосбережение в системе теплоснабжения. Повышение энергетической

эффективности: материалы 1-й научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25–27 мая 2010 г. – СПб, 2010. – С. 183–185.

87. Данилевский, Л.Н. Первые энергоэффективные здания в Республике Беларусь / Л.Н. Данилевский, В. М. Пилипенко // Энергосбережение в системе теплоснабжения. Повышение энергетической эффективности: I Международная научно-практическая конференция Санкт-Петербург. – СПб, 25–27 мая, 2010. – С. 137–148.

88. Данилевский, Л.Н. Особенности использования теплообменников в системах вентиляции жилых зданий / Л.Н. Данилевский // Системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла: тезисы семинара, Минск 22 сентября 2010 г. / конференц-зал Минского Международного образовательного центра имени Йоханнеса Рау. – Минск, 2010. – С. 1–3.

89. Данилевский, Л.Н. Строительство зданий с низким потреблением энергии в Республике Беларусь: современное состояние и перспективы / Л.Н. Данилевский // Энергосбережение в системе теплоснабжения. Повышение энергетической эффективности: I Международная научно-практическая конференция, Санкт-Петербург, 27–28 мая 2010 г. – СПб, 2010. – С. 51–55.

90. Данилевский, Л.Н. Системы автоматизации энергоэффективного панельного жилого дома в Минске / В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский, С.В. Терехов // Интеллектуальные здания и сооружения, тенденции и перспективы: научно-практическая конференция, Минск, 10 июня 2010 г. / Бизнес-центр Виктория. – Минск, 2010. – С. 7–12.

91. Данилевский, Л.Н. Первые энергоэффективные здания в Республике Беларусь / В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский // Энергосбережение в системе теплоснабжения. Повышение энергетической эффективности: материалы 1-й научно-практической конференции, Минск, 25–27 мая 2010 г. – Минск, 2010. – С. 137–148.

92. Данилевский, Л.Н. Энергоэффективность зданий и архитектура: опыт Республики Беларусь в энергоэффективном строительстве / Л.Н. Данилевский // Современная архитектура городов России XXI века: рациональность и искусство, модернизация и сохранение культурного наследия: тезисы докладов III международного форум градостроительства, архитектуры и дизайна, Санкт-Петербург, 15–17 сентября 2010 г. – СПб, 2010. – С. 52–53.

93. Данилевский, Л.Н. Программа энергоэффективного строительства в Республике Беларусь; первые результаты / Л.Н. Данилевский // Технологии проектирования и строительства энергоэффективных зданий Passive House: материалы 5-й конференции, Москва, 6–7 апреля 2011 г./ Институт пассивного дома. – Москва, 2011. – С. 136–142.

94. Данилевский, Л.Н. Опыт строительства энергоэффективных зданий в Республике Беларусь / Л.Н. Данилевский // Энергосбережение в системе тепло-

снабжения. Повышение энергетической эффективности: 3 Международная научно–практическая конференция, Санкт–Петербург , 29–31 мая 2012 г. – СПб., 2012. – С. 92–99.

95. Данилевский, Л.Н. Опыт строительства энергоэффективных зданий в Республике Беларусь/ Л.Н. Данилевский // Технологии проектирования и строительства энергоэффективных зданий Passive House: материалы 7–й конференции, Москва, 11–12 апреля 2012 г./ Институт пассивного дома. – Москва, 2012. – С. 151–154.

96. Данилевский, Л.Н. Определение теплоэнергетических характеристик эксплуатируемых зданий / Л.Н. Данилевский // Энергосбережение в системе теплоснабжения. Повышение энергетической эффективности: 3 Международная научно–практическая конференция, Санкт–Петербург, 29–31 мая 2012 г. – СПб, 2012. – С. 25–48.

97. Данилевский, Л.Н. Инженерное оборудование для энергоэффективных зданий / Л.Н. Данилевский // Технология проектирования и строительства энергоэффективных зданий Passive House: Материалы 9 конференции по пассивным домам и зданиям с низким энергопотреблением, Москва 3–4 апреля 2013 г.– Москва, 2013. – С. 170 – 178.

98. Данилевский, Л.Н. Эффективность работы теплообменных аппаратов в системах вентиляции зданий при низкой температуре окружающего воздуха/ Л.Н. Данилевский // Энергосбережение в системе теплоснабжения. Повышение энергетической эффективности: 4 Международная научно–практическая конференция, Санкт–Петербург, 25–26 мая 2013 г. – СПб, 2013. – С. 86–91.

99. Данилевский, Л.Н. Принципы и опыт проектирования энергоэффективных жилых зданий массового строительства / Л.Н. Данилевский // Технологии проектирования и строительства энергоэффективных зданий Passive House: материалы 11–й конференции, Москва, 2–3 апреля 2014 г./ Институт пассивного дома. – Москва, 2014. – С. 169–173.

100. Данилевский, Л.Н. Реализация комплексной программы строительства энергоэффективных зданий в Республике Беларусь / Л.Н. Данилевский // Passive House. Технологии проектирования и строительства энергоэффективных зданий: материалы конференции, Москва, 8 апреля 2014 г./ Экспоцентр. – Москва, 2014. – С. 22.

Патенты

101. Конструкционный материал комбинированный клееный: патент №1018 Республика Беларусь МПК7 E04C2/00 / В.М Пилипенко, Л.Н.Данилевский, Б.И. Таурогинский, М.А. Ксенофонов, А.С. Хатенко; заявитель Государственное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева

С.С.», Научно–исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белгосуниверситета. – заявка №u20020284; заявлено 11.10.2002.; опубликовано 30.09.2003.//Афіцыйны бюл. №3 /Нац. центр інтэлектуальнай уласнасці –2003. – с. 263.

102. Оконный блок: патент 34603 Российская Федерация, МПК7 E06B 3/00 / В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский, М.А. Ксенофонов, А.С. Хатенко; заявители Государственное предприятие «Институт НИПТИС», Научно–исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белгосуниверситета – заявка №2003120173/20, заявлено 03.07.2003.; опубл. 10.12.2003 //Официальный бюллетень «Изобретения, полезные модели» №34/Роспатент – 2003., ч.3 – с. 723 – 724.

103. Оконный блок: патент №1323 Республика Беларусь, МПК7 E06B 3/00 / В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский, М.А. Ксенофонов, А.С. Хатенко; заявитель Научно–исследовательское проектно–технологическое республиканское унитарное предприятие «Институт НИПТИС им. Атаева С.С.», Научно–исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белгосуниверситета. – заявка №20030273, заявлено 16.06.2003.; опубл. 30.03.2004. //Афіцыйны бюл. №1 /Нац. центр інтэлектуальнай уласнасці – 2004. – с. 251.

104. Здание с утепляющей оболочкой: патент №10716 Республика Беларусь, МПК (2006) E04B1/76, E04H1/00 / Л.Н. Данилевский, В.М.Пилипенко, В.А. Потерщук; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.». – заявка №20060092, заявлено 03.02.2006; опубликовано 30.06.2008. //Афіцыйны бюл. –№2 /Нац. Центр інтэлектуальнай уласнасці –2007– с. 4.

105. Здание с утепляющей оболочкой: №008576 Евраз. Патентное ведомство, МПК (2006) E04B 1/76, E04H1/00 / Данилевский, Л.Н., Пилипенко, В.М., Потерщук, В.А.; заявитель Научно–исследовательское и проектно–технологическое республиканское унитарное предприятие «Институт НИПТИС» – заявка № 200600508; заявлено 29.03.2006.; опубл. 29.06.2007 // Бюллетень Евразийского патентного ведомства №3–2007.– с. 230.

106. Энергоэффективное здание: патент №3285 Республика Беларусь, МПК E 04B 1/00, F 24F 3/00 / Л.Н. Данилевский, В.М. Пилипенко, В.А. Потерщук; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» – заявка №20060423; заявлено 26.06.2006.; опубликовано 28.02.2007. //Афіцыйны бюл. –№2. /Нац. центр інтэлектуальнай уласнасці –2007. – с. 14.

107. Наружное вентилируемое ограждение здания: евразийский патент №010822 МПК E 04B 1/70, E 04B 2/28 / Л.Н. Данилевский; заявитель Респуб-

ликанское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.». – заявка №20060978; заявлено 05.10.2006.; опубл. 30.12.2008 // Бюллетень Евразийского патентного ведомства –30.12.2008, №12, с. 849.

108. Наружное вентилируемое ограждение здания: патент №11343 Республика Беларусь, МПК E 04B 1/70, E 04B 2/28 / Л.Н. Данилевский; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.». – заявка № 20060978, заявлено 05.10.2006.; опубликовано 30.12.2008. //Афіцыйны бюл. –№2/Нац. цэнтр інтэлектуальнай уласнасці –2008. – с. 124.

109. Пакет пластинчатого теплообменника: патент №13796 Республика Беларусь МПК (2009) F 28D 9/00/ Л.Н. Данилевский, В.М. Пилипенко; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.».– заявка №a20051010, заявлено 20.10.2005.; опубликовано 30.12.2010// Афіцыйны бюл. №6/ Нац. цэнтр інтэлектуальнай уласнасці – 30.12.2010, с. 109.

110. Пакет пластинчатого теплообменника. Патент РБ F 28D 9/00/ Данилевский, Л.Н., Пилипенко, В.М.; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» – заявка № a20070667, заявлено 01.06.2007.; опубликовано 30.12.2010// Афіцыйны бюл. №6/ Нац. цэнтр інтэлектуальнай уласнасці – 30.12.2010, с. 109.

111. Изделие из композиционного полимерного теплоизоляционного материала: патент № 6960 Республика Беларусь МПК7 E06B 3/00/ В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский, М.А. Ксенофонтов, Л.Е. Островская, О.О. Гавриленко, С.В. Выдумчик, В.С. Васильева; заявитель Научно–исследовательское проектно–технологическое республиканское унитарное предприятие « НИПТИС им. Атаева С.С.», Научно–исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белгосуниверситета. – заявка № u20100175, заявлено 24.02.2010.; опубл. 28.02.2011. //Афіцыйны бюл. №1 /Нац. цэнтр інтэлектуальнай уласнасці – 28.02.2011., с. 182.

112. Изделие из композиционного полимерного конструкционного материала: патент № 6973 Республика Беларусь МПК7 E06B 3/00/ В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский, М.А. Ксенофонтов, Л.Е. Островская, О.О. Гавриленко, С.В. Выдумчик, В.С. Васильева; заявитель Научно–исследовательское проектно–технологическое республиканское унитарное предприятие «ИНСТИТУТ НИПТИС им. Атаева С.С.», Научно–исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белгосуниверситета. – заявка № u20100176, заявлено 24.02.2010.; опубл. 28.02.2011. //Афіцыйны бюл. №1 /Нац. цэнтр інтэлектуальнай уласнасці – 28.02.2011, с. 183.

113. Способ определения количества тепловой энергии, затраченной на отопление квартиры в многоквартирном здании: патент №15790 Республика

Беларусь, МПК G 01K 178/00 / Л.Н. Данилевский, заявитель Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» – заявка № а20100214, заявлено 12.02.2010; опубликован 30.04.2012// Афіцыйны бюл. №2/ Нац. цэнтр інтэлектуальнай уласнасці – 30.04.2012, с. 141.

114. Устройство и способ предотвращения замерзания сконденсированной влаги в рекуперационном теплообменнике: патент № 016248 Евраз. Пат. Ведомства, МПК F 28F 17/00 / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский; заявитель Государственное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» – Евразийская заявка №200901448; заявлено 25.11.09.; опубл. 30.03.2012 // Бюллетень Евразийского патентного ведомства 30.03.2012, №3, с. 337.

115. Устройство и способ для размораживания и удаления сконденсированной влаги в рекуперационном теплообменнике: патент №15736 Республика Беларусь, МПК F 28F 17/00 / Данилевский, Л.Н., Таурогинский, Б.И.; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» – заявка № а20090456, заявлено 27.03.2009.; опубликовано 30.4.2012. //Афіцыйны бюл №2. /Нац. цэнтр інтэлектуальнай уласнасці – 30.04.2012, с. 138.

116. Система утилизации тепла сточных вод: патент №16574 Республика Беларусь, МПК F 24D 17/00, F 24H 1/12 / Л.Н. Данилевский; заявитель Научно–исследовательское проектно–технологическое республиканское унитарное предприятие «Институт НИПТИС им. Атаева С.С.» – заявка № а20100736, заявлено 14.05.2010.; опубликовано 30.12.2012. //Афіцыйны бюл. №6 /Нац. цэнтр інтэлектуальнай уласнасці –30.12.2012, с. 136.

117. Способ определения теплоэнергетических характеристик здания: решение от 14.07.2014г. на выдачу патента Республики Беларусь на изобретение МПК G 01N 25/00 (2006.01)/ Л.Н. Данилевский; заявитель Государственное предприятие «Институт – жилища НИПТИС им. Атаева С.С.» – заявка № а20101504; заявлено 20.10.2010.; опубликована заявка 30.06.2012 /Афіцыйны бюл. №3 /Нац. цэнтр інтэлектуальнай уласнасці – 30.06.2012., с. 25.

118. Система теплоизоляции здания: патент № 17849 Республика Беларусь, МПК E 04C 2/28 / Данилевский Л.Н., Таурогинский Б.И.; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» – заявка № а20101614, заявлено 19.01.2011.; опубликовано 30.12.2013. //Афіцыйны бюл. №6/Нац. цэнтр інтэлектуальнай уласнасці –30.12.2013, с. 121.

119. Способ изготовления солнечного коллектора периодической структуры: патент №16779 Республика Беларусь, МПК F 24J 2/16 / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский, А.К. Лячок; заявитель Государственное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» – заявка № а20091723, заявлено 04.12.2009.; опубликовано 28.02.2013. //Афіцыйны бюл. №1 /Нац. цэнтр інтэлектуальнай уласнасці – 28.02.2013, с. 106.

120. Способ получения теплоизоляционного полимерного композита: евразийский патент № 019400 МПК7 E04C2/00 / В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский, М.А. Ксенофонтов, Л.Е. Островская, О.О. Гавриленко, С.В. Выдумчик, В.С. Васильева; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.», Научно–исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белгосуниверситета. – Евразийская заявка № 201000593, заявлено 24.02.2010.; опубл. 31.03.2014 // Бюллетень Евразийского патентного ведомства №3 – 2014, с. 57.

121. Способ получения конструкционного полимерного композита: евразийский патент № 019401 МПК7 E04C2/00/ В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский, М.А. Ксенофонтов, Л.Е. Островская, О.О. Гавриленко, С.В. Выдумчик, В.С. Васильева; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.», Научно–исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белгосуниверситета. – заявка № 201000594, заявлено 24.02.2010.; опубл. 31.03.2014 //Бюллетень Евразийского патентного ведомства №3 – 31.03.2014., с. 215.

РЕЗЮМЕ

Данилевский Леонид Николаевич

Энергоэффективное жилищное строительство

Ключевые слова: жилой дом, энергоэффективность, тепломассообмен, рекуперативный теплообменник, теплоизоляция, вентиляция, тепловой баланс, коэффициент удельных теплопотерь, теплопоступления.

Цель работы: разработка научных основ, методологии и технических решений энергоэффективных жилых домов.

Методы исследований: применение физических законов, системный подход, математическое моделирование и аналитические исследования, экспериментальные исследования, инженерные расчеты, приборы и оборудование для изучения процессов тепло и массопереноса.

Полученные результаты и их новизна: разработаны комплексный подход и научно обоснованы методология, базовые принципы и система энергоэффективного проектирования жилых домов массового строительства; методы экспериментального исследования эксплуатируемых зданий; физико-математическая модель теплообмена жилого здания; конструктивные и проектные решения энергоэффективных жилых домов; метод индивидуального учета тепловой энергии на отопление квартир; системы утепления наружных стен здания; принципы создания систем приточно-вытяжной вентиляции; рекуперативных теплообменников и новый критерий оценки их эффективности; методика расчета и конструкция системы утилизации энергии сточных вод; методики расчета и конструкции грунтового теплообменника и солнечного коллектора; конструкция окон; выполнены экспериментальные исследования эксплуатационных теплотехнических показателей экспериментальных энергоэффективных зданий.

Степень использования: Результаты выполненных исследований используются при организации выпуска продукции, строительстве энергоэффективных зданий, разработке нормативных документов, Комплексной программы Совета Министров по проектированию, строительству и реконструкции энергоэффективных жилых домов в Республике Беларусь на 2009–2010 годы и на перспективу до 2020 года.

Область использования: Строительство и реконструкция, снижение расхода тепловой энергии при эксплуатации жилых зданий в отопительном периоде.

РЭЗІЮМЭ

Данілеўскі Леанід Мікалаевіч

Энергаэфектыўнае жыллевае будаўніцтва

Ключавыя словы: жылы дом, энергаэфектыўнасць, цепламасаабмен, рэкуперацыйны цеплаабменнік, цеплаізаляцыя, вентыляцыя, цеплавы баланс, каэфіцыент удзельных цепластрат, цеплапаступленні.

Мэта працы: распрацоўка навуковых асноў, метадалогіі і тэхнічных рашэнняў энергаэфектыўных жылых дамоў.

Метады даследаванняў: прымяненне фізічных законаў, сістэмны падыход, матэматычнае мадэляванне і аналітычныя даследаванні, эксперыментальныя даследаванні, інжынерныя разлікі, прыборы і абсталяванне для вывучэння працэсаў цепла і масапераносу.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацаваны і навукова абгрунтаваны метадалогія і базавыя прынцыпы і сістэма энергаэфектыўнага праектавання жылых дамоў масавага будаўніцтва; метады эксперыментальнага даследавання эксплуатаемых будынкаў; фізіка–матэматычная мадэль цеплавога рэжыму жылога будынка; канструкцыя энергаэфектыўных жылых дамоў; метады індывідуальнага ўліку цеплавой энергіі на ацяпленне кватэр; сістэмы ўцяплення вонкавых сценаў будынка; прынцыпы стварэння сістэм прытокава–выцяжнай вентыляцыі; рэкуперацыйных цеплаабменнікаў і новы крытэрыі ацэнкі іх эфектыўнасці; метады разліку і канструкцыя сістэм утылізацыі энергіі сцёкавых вод; метады разліку і канструкцыі грунтовага цеплаабменніка і сонечнага калектара; канструкцыя вокнаў; выкананы эксперыментальныя даследаванні эксплуатацыйных цеплатэхнічных паказчыкаў эксперыментальных энергаэфектыўных будынкаў.

Ступень выкарыстання: вынікі выкананых даследаванняў выкарыстоўваюцца пры арганізацыі выпуску прадукцыі, будаўніцтве энергаэфектыўных будынкаў, распрацоўцы нарматыўных дакументаў, Комплекснай праграмы Савета Міністраў па праектаванні, будаўніцтве і рэканструкцыі энергаэфектыўных жылых дамоў у Рэспубліцы Беларусь на 2009–2010 гады і на перспектыву да 2020 года.

Вобласць выкарыстання: будаўніцтва і рэканструкцыя, зніжэнне расходу цеплавой энергіі пры эксплуатацыі жылых будынкаў у ацяпляльным перыядзе.

SUMMARY

Danilevski Leonid Nikolaevich

Energy Efficient Housing

Keywords: house, energy efficiency, heat mass exchange, recuperative heat exchanger, thermal insulation, ventilation, thermal balance, specific characteristic of heat losses, heat receipts circulation.

Work purpose: development of scientific bases, methodology and technical solutions for energy efficient of power effective houses.

Methods of researches: application of physical laws, system approach, mathematical modeling and analytical reviews searches, pilot studies, engineering calculations, devices and equipment for studying of processes warm heat – and mass– circulation transfer.

The obtained received results and their novelty: the methodology and the basic principles of development of energy efficient creation of power effective houses of mass construction are developed and scientifically proved; methods of a pilot study of operated existing buildings; physical and mathematical model of the thermal mode regime of a residential buildings; design of power effective energy efficient houses; method of the individual accounting measurement of thermal energy used for on heating of the apartments; insulation systems for external walls of the building; principles of creation development of systems of a supply and exhaust ventilation systems; development of recuperative heat exchangers and a new criterion of an assessment of their efficiency; calculation procedure methods and design of the system of utilizing the action of energy from of sewage; calculation procedures methods and designs of the soil ground heat exchanger and solar collector; design of windows; pilot case studies of operational heat technical heat related indicators of experimental power effective energy efficient buildings are executed.

Extent of use: Results of the executed research analyses are used in the production of at the output organization, construction of power energy efficient effective buildings, development of normative documents, the Comprehensive All–inclusive program of the Council of ministers for design, construction and reconstruction of power effective energy efficient houses residential buildings in the Republic of Belarus for 2009–2010 and on prospect till to 2020.

Area of use: Construction and reconstruction, decrease in an expense of thermal energy savings at operation of in residential buildings in the heating during the winter period.

Научное издание

**Данилевский
Леонид Николаевич**

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО