

*На правах рукописи*



**СМИРНОВ Николай Николаевич**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ПО СОЗДАНИЮ  
ДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ  
С ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫМИ СВЕТОПРОЗРАЧНЫМИ  
КОНСТРУКЦИЯМИ**

Специальность: 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Иваново – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

**Научный руководитель:**

кандидат технических наук, доцент **Захаров Вадим Михайлович**

**Официальные оппоненты:**

**Гаряев Андрей Борисович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», заведующий кафедрой «Тепломассообменные процессы и установки»;

**Федосеев Вадим Николаевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», профессор кафедры «Организация производства и городское хозяйство».

**Ведущая организация:**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань

Защита состоится « 23 » сентября 2022 года в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.064.01 при ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» по адресу: 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, корпус «Б», аудитория 237.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Ивановского государственного энергетического университета.

Текст диссертации размещен:

[http://ispu.ru/files/Dissertaciya\\_Smirnov\\_NN\\_0.pdf](http://ispu.ru/files/Dissertaciya_Smirnov_NN_0.pdf)

Автореферат диссертации размещен на сайте ИГЭУ [www.ispu.ru](http://www.ispu.ru)

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 212.064.01



Ледуховский  
Григорий Васильевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования:** Среди основных факторов, влияющих на снижение себестоимости продукции промышленного предприятия, можно особо выделить повышение производительности труда и уменьшение материальных затрат, в том числе на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР). В Российской Федерации энергоёмкость внутреннего валового продукта является одной из самых высоких в мире. Для повышения конкурентоспособности отечественной продукции в России в последние десятилетия особое внимание уделяется проблемам энергосбережения и энергоэффективности. Нормативные акты устанавливают снижение потребления тепловой энергии к 2028 году для вновь строящихся зданий на 50 %, а для реконструируемых или проходящих капитальный ремонт – на 20% по сравнению с базовым уровнем. Рекомендуется активно внедрять в инженерные системы зданий возобновляемые и альтернативные источники энергии и устройства, утилизирующие теплоту вторичных энергоресурсов.

В структуре общих издержек предприятий средней и северной полосы России значительный удельный вес занимают расходы на отопление, вентиляцию и кондиционирование производственных помещений, при этом их доля составляет от 10 до 50 % в себестоимости продукции. В структуре ТЭР, направленных на поддержание необходимых параметров микроклимата значительная доля приходится на компенсацию потерь через ограждающие конструкции здания вследствие теплопередачи в окружающую среду (трансмиссионные потери). Потери теплоты через светопрозрачные ограждающие конструкции (окна, световые фонари и т.д.) являются значительными в структуре трансмиссионных потерь, из-за низкого приведенного сопротивления теплопередаче данных элементов здания. В производственных зданиях площадь остекления, как правило, выше, чем в жилых в связи с высокими требованиями к естественному освещению и промышленной безопасности (легко-сбрасываемые конструкции), поэтому доля тепловых потерь через светопрозрачные конструкции в структуре трансмиссионных потерь возрастает и составляет величину 20-60 % от суммарных трансмиссионных тепловых потерь.

В промышленном производстве с монотонным и напряженным характером работы стабильные параметры микроклимата повышают утомляемость персонала и отрицательно сказываются на производительности труда. Система динамического микроклимата (ДМ) подает в помещение воздух с непрерывно изменяющимися во времени параметрами воздуха (температура, скорость), что приводит к повышению работоспособности сотрудников за счет возбуждения центральной нервной системы.

Следовательно, решение задачи энергосбережения в зданиях за счет внедрения инновационных энергоэффективных светопрозрачных конструкций с высокой степенью теплозащиты и генерацией электроэнергии при создании динамического микроклимата является актуальной задачей.

---

Автор выражает глубокую благодарность за научные консультации при выполнении работы к.т.н., профессору кафедры промышленной теплоэнергетики Пыжову В.К.

**Степень разработанности темы исследования.** Проблемам повышения тепловой защиты светопрозрачных конструкций посвящены труды исследовательских групп под руководством В.М. Захарова (ИГЭУ), М.И. Низовцева, В.И. Терехова (Институт теплофизики СО РАН), И.Л. Шубина, В.К. Савина (НИИСФ РААСН), Ю.А. Табунщикова (МАрХИ), В.С. Глазова (НИУ МЭИ), В.В. Логвиненко (АлтГТУ им. И.И.Ползунова), Е.В. Петрова (ТГАСУ) и др. Значимые результаты в области разработки энергосберегающих мероприятий при создании (и моделировании) микроклимата в помещениях получены научными коллективами под руководством В.Н. Богословского (МИСИ), П.О. Фангера, Ю.А. Табунщикова (МАрХИ), В.В. Бухмирова (ИГЭУ), А.Б. Гаряева, А.Я. Шелгинского (НИУ МЭИ), В.Н. Федосеева (ИвГПУ), Е.Г. Малявиной, В.Г. Гагарина (МГСУ), В.И. Панферова (ЮУрГУ), Л.Б. Директора (ОИВТ РАН) и др.. Вопросами создания систем динамического микроклимата в помещениях и его влияния на самочувствие человека занимались Ю.Н. Хомутецкий, В.В. Ловцов (ВНИИОТ), А.Г. Сотников (НП «АВОК – Северо-Запад»), П.О. Фангер (Дания), В.К. Пыжов, А.В. Гаранин (ИГЭУ). Однако ряд важных аспектов, рассмотренных в данной работе, таких как, влияние на уменьшение затрат ТЭР за счет понижения температуры внутреннего воздуха в нерабочее время, рассчитанной с учетом изменения трансмиссионных потерь и влажности, а также внедрения энергоэффективных светопрозрачных ограждающих конструкций с перемещаемыми теплоотражающими экранами и солнечными батареями при организации классического и динамического микроклимата, остается недостаточно изученным.

**Целью диссертационной работы** является повышение энергоэффективности работы систем по созданию динамического микроклимата в помещениях путем внедрения разработанных светопрозрачных конструкций с теплоотражающими экранами и солнечными фотоэлектрическими батареями, а также совершенствования методики определения минимальной температуры внутреннего воздуха в нерабочее время.

В работе решаются следующие **задачи**:

1) выполнить анализ существующих требований и предлагаемых решений в области энергосбережения при организации микроклимата в помещении, способов повышения тепловой защиты светопрозрачных конструкций, методов математического описания тепломассообменных процессов при формировании динамического микроклимата;

2) разработать энергосберегающие светопрозрачные ограждающие конструкции с перемещаемыми теплоотражающими экранами и солнечными фотоэлектрическими батареями;

3) провести экспериментальные исследования с целью определения влияния теплоотражающих экранов на сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций;

4) разработать и выполнить проверку адекватности математической модели теплопередачи через светопрозрачную конструкцию с теплоотражающими экранами с учётом изменения во времени температуры и подвижности внутреннего и наружного воздуха;

5) разработать инженерный метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции в текущий момент времени и за отопительный период года с учетом временного графика использования экранов и температурного режима эксплуатации на основе аппроксимации результатов математического моделирования;

6) разработать методику определения минимальной температуры внутреннего воздуха при выполнении условия недопущения выпадения конденсата на внутренних поверхностях разработанных светопрозрачных конструкций при наличии и отсутствии предварительной осушки воздуха;

7) разработать математическую модель динамического микроклимата для зданий с новыми энергоэффективными светопрозрачными конструкциями.

8) определить энергетические показатели работы системы по созданию классического и динамического микроклимата помещений предприятий при использовании в светопрозрачных конструкциях теплоотражающих экранов и солнечных батарей, а также дополнительного понижения температуры внутреннего воздуха в нерабочее время.

**Обоснование соответствия диссертации паспорту научной специальности 05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика».**

Работа соответствует паспорту специальности: *в части формулы специальности*: «поиск структур и принципов действия теплотехнического оборудования, которые обеспечивают сбережение энергетических ресурсов, уменьшение энергетических затрат на единицу продукции ...»; *в части области исследования специальности*: пункту 1 «Разработка научных основ сбережения энергетических ресурсов в использующих тепло системах и установках»; пункту 3 «Теоретические и экспериментальные исследования процессов тепло- и массопереноса в тепловых системах и установках, использующих тепло»; пункту 5 «Оптимизация параметров тепловых технологических процессов ... с целью экономии энергетических ресурсов и улучшения качества продукции в технологических процессах».

**Научная новизна** работы обусловлена следующим:

1. Разработаны новые энергосберегающие светопрозрачные конструкции с регулируемым сопротивлением теплопередаче на основе применения перемещаемых теплоотражающих экранов и генерацией электрической энергии при помощи солнечных фотоэлектрических батарей.

2. На основании данных физического эксперимента и численного моделирования впервые установлена количественная зависимость приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций с теплоотражающими экранами от геометрических размеров и физических свойств стекол, экранов и образованных ими воздушных прослоек, а также от температурного режима эксплуатации данных конструкций.

3. Разработана методика определения минимальной температуры воздуха в нерабочее время для помещений с регулируемым сопротивлением теплопередаче светопрозрачных конструкций, отличающаяся учетом термовлажностных режимов эксплуатации здания и эффекта от предварительной осушки воздуха.

4. Впервые при моделировании динамического микроклимата в помещении реализован учет нелинейной зависимости сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций с теплоотражающими экранами от температурного режима эксплуатации, а также генерации электрической энергии при помощи солнечных батарей.

**Теоретическая значимость работы** обусловлена следующим. *Доказана* целесообразность использования теплоотражающих экранов с солнечными фотоэлектрическими батареями в светопрозрачных конструкциях в целях повышения их тепловой защиты и генерации электроэнергии. *Изложены:* результаты обобщения экспериментальных данных о влиянии применения теплоотражающих экранов и температурных режимов эксплуатации на приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций; основные положения разработанных моделей теплопередачи через стеклопакет с экранами, а также динамического микроклимата для помещений с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями. *Разработана* методика определения минимальной температуры воздуха в нерабочее время для помещений с регулируемым сопротивлением теплопередаче светопрозрачных конструкций. *Раскрыты* схемные и режимные аспекты технических решений по применению экранов с солнечными батареями в светопрозрачных конструкциях. *Изучено* влияние применения экранов с солнечными батареями в светопрозрачных конструкциях и дежурного режима отопления на снижение энергетических затрат при организации микроклимата в помещении.

**Практическая значимость результатов работы** заключается в следующем:

1. Применение разработанных в диссертации энергоэффективных светопрозрачных ограждающих конструкций с теплоотражающими экранами и солнечными батареями, методик определения дополнительного понижения температуры воздуха в нерабочее время, а также организация динамического микроклимата в рабочее время позволяет существенно понизить потребление ТЭР (от 15 до 70 %) и повысить производительность труда.

2. Разработана компьютерная программа для расчета процесса теплопередачи для стеклопакета с теплоотражающими экранами (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016615250 от 19 мая 2016 г.), которая позволяет с учетом переменного температурного и скоростного режимов эксплуатации определять термическое и приведенное сопротивление теплопередаче конструкции, тепловой поток, а также значения температур на границах раздела сред с целью использования полученных данных при разработке математических моделей микроклимата, составления теплового баланса и определения эффективности использования экранов.

3. Применение разработанного инженерного метода расчета приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции в текущий момент времени и за отопительный период года с учетом временного графика использования экранов и температурного режима эксплуатации на основе аппроксимации результатов математического моделирования позволяет оценить эффективность применения экранов.

4. Предложены аналитические зависимости и номограммы для определения приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих

дающих конструкций с теплоотражающими экранами, учитывающие количество экранов, температуру и скорость внутреннего и наружного воздуха.

**Методология и методы исследования.** В диссертационной работе использованы фундаментальные методы математического моделирования и экспериментальных исследований процессов тепломассообмена, методы корреляционно-регрессионного анализа, математической статистики, определения приведенного сопротивления теплопередаче строительных конструкций, оценки эффективности энергосберегающих мероприятий.

**Внедрение результатов исследований.** Результаты диссертационной работы рекомендованы для внедрения специалистами в области энергосбережения и энергосервиса, сертификационных испытаний окон, в сфере эксплуатации инженерных систем, формирующих микроклимат зданий, а также переданы НКО Фонд "Энергоэффективность" (г. Ярославль), АНО "Иваново-стройиспытания" (г. Иваново), АО «ПСК» (г. Иваново), ИГЭУ. Результаты внедрены в учебный процесс при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника», в том числе в виде учебника "Системы кондиционирования, вентиляции и отопления".

**Степень достоверности и обоснованность результатов** подтверждается использованием фундаментальных физических законов, апробированных теоретических и экспериментальных методов исследования, обоснованностью выбора математической модели и проверкой её адекватности, полнотой обзора литературных данных, согласованностью результатов диссертационной работы с данными других авторов и нормативной документацией.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Энергосберегающие светопрозрачные конструкции с регулируемым сопротивлением теплопередаче и генерацией электрической энергии на основе применения теплоотражающих экранов и солнечных батарей.
2. Результаты экспериментальных исследований о влиянии установки теплоотражающих экранов и температурных условий эксплуатации на приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций.
3. Результаты численного моделирования теплопередачи через светопрозрачную конструкцию с теплоотражающими экранами с учётом влияния параметров внутреннего и наружного воздуха и их верификация с данными эксперимента.
4. Инженерный метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции в текущий момент времени и за отопительный период года с учетом временного графика использования экранов и температурного режима эксплуатации на основе аппроксимации результатов математического моделирования.
5. Методика определения минимальной температуры воздуха в нерабочее время для помещений с регулируемым сопротивлением теплопередаче светопрозрачных конструкций, отличающаяся учетом термовлажностных режимов эксплуатации здания и эффекта от предварительной осушки воздуха.
6. Модель динамического микроклимата для зданий с регулируемым сопротивлением теплопередаче светопрозрачных конструкций с теплоотра-

жающими экранами и фотоэлектрическими батареями и результаты ее применения при создании микроклимата в помещениях различного назначения.

**Личный вклад автора.** Личный вклад автора заключается в разработке новых энергоэффективных светопрозрачных ограждающих конструкций зданий; в сборе, анализе и обработке экспериментальных данных; разработке и верификации моделей теплопередачи через энергоэффективные светопрозрачные конструкции и динамического микроклимата; в разработке патентов и свидетельства на программу для ЭВМ; в разработке метода расчета приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции; в разработке методики определения минимальной температуры внутреннего воздуха в помещении; в расчете показателей эффективности; в подготовке публикаций по тематике работы.

**Апробация результатов работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы и обсуждались на 26 международных и всероссийских конференциях: XIII-XVII, XX, XXI, XXII Международных научно-технических конференциях студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (Москва, 2007-2011, 2014-2016 гг.); V, VI, VIII-XI Международных молодежных научных конференциях «Гинчуринские чтения» (г. Казань, 2010, 2011, 2013-2016 гг.); XIV, XV, XVI, XVIII, XXI Международных научно-технических конференциях «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (Бенардосовские чтения) (г. Иваново, 2007, 2009, 2011, 2015, 2021 гг.); на VIII-XI Международных научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых учёных «Энергия» (г. Иваново, 2013-2016 гг.); на VIII и IX Международных школах-семинарах молодых учёных и специалистов «Энергосбережение – теория и практика» (Москва, 2016, 2018 гг.); на Международной научно-технической конференции «Совершенствование энергетических систем и комплексов» (г. Саратов, 2018).

**Публикации.** Материалы диссертации опубликованы в 25 печатных работах, в том числе в 8 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, в 5 статьях – в сборниках, индексируемых в международной базе данных SCOPUS; издан 1 учебник. Получены 1 патент на изобретение, 6 патентов на полезную модель, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы, трех приложений и содержит 318 страниц основного текста, включая иллюстративный материал. Список литературы содержит 212 источников.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформированы цели и задачи исследования, отмечена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первом разделе** проведен анализ опубликованных данных по теме исследования. Рассмотрена структура расходования энергии конечными потребителями, включая затраты на поддержание требуемых параметров микро-



климата в зданиях. Проанализированы современные требования к энергоэффективным зданиям в России и в странах Европейского союза. Выполнен обзор существующих энергосберегающих мероприятий при организации микроклимата в зданиях предприятий. Рассмотрены требования и предлагаемые технические решения по повышению энергоэффективности светопрозрачных конструкций. Показаны проблемы математического моделирования процесса теплопередачи через светопрозрачные конструкции, а также динамического микроклимата в производственных помещениях. Сформулированы цель и задачи исследования.

**Второй раздел** посвящен разработке энергоэффективных светопрозрачных ограждающих конструкций с использованием теплоотражающих экранов, которые существенно повышают термическое сопротивление теплопередаче. Непрозрачные экраны предложено использовать в светопрозрачных конструкциях в темное время суток или во время отсутствия людей в помещении (в том числе в нерабочее время). Для обоснования эффективности данного предложения выполнен анализ климатических условий ряда городов Российской Федерации в течение нескольких месяцев: приведены продолжительность темного и светлого времени суток, дневная амплитуда и средняя температура наружного воздуха, количество солнечной энергии, поступающей на поверхность ограждающей конструкции.

Для повышения тепловой защиты зданий разработаны оконные блоки (см. рисунок 1), содержащие в межрамном пространстве, а также со стороны помещения и окружающей среды металлические теплоотражающие экраны, сплошного и жалюзийного типа (Патенты на ПМ №84042 от 27.06.2009, № 95725 от 10.07.2010 г.). Также предложен оконный блок с внутренним ставнем, выполненным из ламелей,

каждая из которых включает в себя три теплоотражающих экрана (Патент на ПМ №153159 от 10.07.2015 г.). Разработан автоматический наружный ставень, состоящий из рамы с четырьмя сплошными теплоотражающими экранами, установленными через равные зазоры, который одновременно позволяет уменьшить тепловые потери через светопрозрачную конструкцию и увеличить температуру поверхности внутреннего остекления (Патент на ПМ №146566 от 10.10.2014 г.).

На рисунке 2 представлен энергоэффективный многофункциональный ставень, предусматривающий дополнительную генерацию электрической энергии путем установки на наружной стороне солнечной батареи (Патент на ПМ №154163 от 15.09.2014 г.).

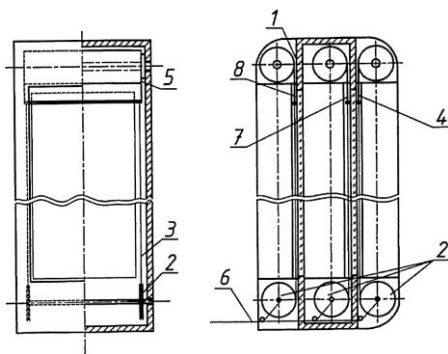


Рисунок 1 – Конструкция оконного блока:  
1 – оконная рама; 2 – шкив; 3 – направляющая;  
4 – наружный экран; 5 – пружина; 6 – управляющий тросик; 7 – межрамный экран; 8 – внутренний экран

Использование теплоотражающих экранов в светопрозрачных конструкциях, ориентированных на восток, юг и запад, позволит в светлое время суток теплое время года

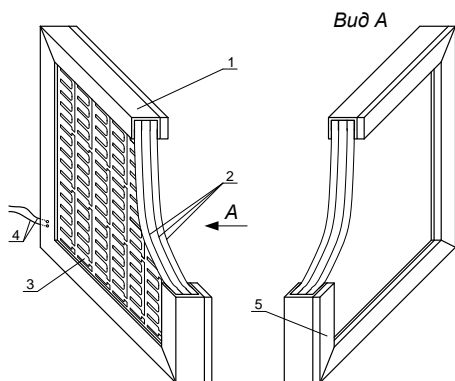


Рисунок 2 – Конструкция многофункционального энергоэффективного ставня: 1 – рама; 2 – теплоотражающие экраны; 3 – солнечная батарея; 4 – соединительные провода; 5 – уплотняющий шнур

пытания проводились в сертифицированной климатической камере АНО "Ивановостройиспытания" с помощью автоматизированной Системы измерений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (СИСТОК-IV) в соответствии с требованиями ГОСТ 26602.1-99 "Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче". В качестве первичных измерительных приборов для измерения температуры поверхностей и воздуха использовались хромель-копелевые термопары, для плотности теплового потока – тепломеры на основе термобатареи PE-128-10-08-S-GL. Величина погрешности измерения системы СИСТОК-IV не превышала 4%.

Представлены результаты исследований теплозащитной эффективности применения различных материалов в качестве теплоотражающих элементов в окнах (таблица 1). Рассмотрены три базовых варианта конструкции оконных блоков. Вариант 1 – оконный блок с однокамерным стеклопакетом СПО 4М1-10-4М1 и стеклом 4М1 в раздельных деревянных переплетах. Вариант 2 – стеклопакет двухкамерный СПД 4М1-10-4М1-10-4М1 в переплете из поливинилхлорида (ПВХ). Вариант 3 – стеклопакет двухкамерный с мягким селективным покрытием СПД 4М1-10-4М1-10-И4 в переплете из ПВХ.

В теплом отделении (ТО) камеры поддерживалась температура +20,5 °С, в холодном отделении (ХО) камеры температура была равна -15°С. Теплоотражающие элементы крепились к оконному блоку со стороны теплого и холодного отделений. Сплошные металлические экраны были изготовлены из алюминиевой фольги толщиной 100 мкм.

Необходимо отметить, что значения приведенного сопротивления теплопередаче  $R_0^{cm}$  для всего остекления и для его центральной (локальной) зоны практически совпадали (расхождение не превысило 8 %).

юг и запад, позволит в светлое время суток теплое время года снизить поступление солнечной энергии в помещение и сократить затраты энергии на кондиционирование воздуха.

В заключении второго раздела приведены системы автоматизации работы оконного блока (Патент на ПМ №135696 от 20.12.2013, Патент на изобретение №2574997 от 10.02.2016).

**В третьем разделе** диссертации приведены результаты экспериментального исследования теплозащитных свойств окон с теплоотражающими экранами.

Таблица 1 – Приведенное и относительное сопротивления теплопередаче светопрозрачной части в зависимости от конструкции оконного блока

Описание размещения элементов относительно оконного блока	Приведенное $R_0^{cm}$ / относительное $\widetilde{R}_0^{cm}$ сопротивление теплопередаче светопрозрачной части		
	Вариант 1 (СПО 4М1-10-4М1 и стекло 4М1)	Вариант 2 (СПД 4М1-10-4М1-10-4М1)	Вариант 3 (СПД 4М1-10-4М1-10-И4)
Базовый вариант	<b>0,57</b> / 1,00	<b>0,47</b> / 1,00	<b>0,61</b> / 1,00
Прозрачная пленка из ПВХ со стороны ХО	<b>0,69</b> / 1,21	<b>0,57</b> / 1,22	<b>0,75</b> / 1,23
Деревянная ставня со стороны ХО	<b>0,79</b> / 1,38	<b>0,68</b> / 1,44	<b>0,87</b> / 1,43
Эмалированные металлические жалюзи со стороны ТО	<b>0,66</b> / 1,16	<b>0,55</b> / 1,17	<b>0,71</b> / 1,17
Очищенные металлические жалюзи со стороны ТО	<b>0,81</b> / 1,42	<b>0,67</b> / 1,43	<b>0,86</b> / 1,41
1 мет. экран со стороны ТО	<b>0,86</b> / 1,51	<b>0,78</b> / 1,66	<b>1,03</b> / 1,69
1 мет. экран со стороны ХО	<b>0,85</b> / 1,49	<b>0,78</b> / 1,66	<b>1,10</b> / 1,80
2 мет. экран со стороны ХО	<b>1,28</b> / 2,25	<b>1,21</b> / 2,57	<b>1,76</b> / 2,88
3 мет. экран со стороны ХО	<b>1,77</b> / 3,11	<b>1,67</b> / 3,55	<b>2,31</b> / 3,79

Для всех конструкций оконных блоков применение пленки из ПВХ, деревянной ставни и эмалированных металлических жалюзи увеличивает термическое сопротивление теплопередаче незначительно: в 1,21 ÷ 1,23 раза для пленки из ПВХ, в 1,38 ÷ 1,44 раза для деревянной ставни и 1,16 ÷ 1,17 раза для эмалированных металлических жалюзи.

Установка одного алюминиевого экрана приводит к росту приведенного сопротивления теплопередаче для всех вариантов оконных блоков в 1,51÷1,8 раза, двух алюминиевых экранов – в 2,25÷2,88 раза, а трех экранов – в 3,11÷3,79 раза. Анализ данных таблицы 1 показывает, что наибольшая эффективность была получена при установке трех металлических экранов со стороны холодного отделения на двухкамерном стеклопакете с мягким селективным покрытием СПД 4М1-10-4М1-10-И4 в переплете из ПВХ (сопротивление теплопередаче возросло от 0,61 до 2,31 (м<sup>2</sup>·°С)/Вт или в 3,79 раза).

Применение жалюзи из металла без покрытия увеличивает приведенное термическое сопротивление теплопередаче. Например, для стеклопакета (вариант 2)  $R_0^{cm}$  возрастает на 43%, а для стеклопакета (вариант 3) – на 41%.

В эксперименте фиксировалось время перехода на стационарный режим теплообмена при установке дополнительного термического сопротивления теплопередаче на светопрозрачных конструкциях. При закрытии жалюзи стационарный режим теплообмена наступал через 14 минут, при опускании одного экрана – через 18 минут, а трех экранов – через 23 минуты, что объясняется малой теплоемкостью дополнительных экранирующих ограждений.

При закрывании металлических жалюзи внутри оконного блока (вариант 1) приведенное сопротивление теплопередачи  $R_0^{cm}$  увеличивается от 0,59 (м<sup>2</sup>·°С)/Вт до 0,81 (м<sup>2</sup>·°С)/Вт.

В диссертации экспериментально установлен нелинейный характер зависимости приведенного сопротивления теплопередаче оконного блока с экранами от перепада температур между теплым и холодным отделениями климатической камеры. В таблице 1 приведены результаты эксперимента при температуре  $+20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  в теплом отделении климатической камеры и при температуре минус  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  – в холодном отделении (перепад температур составляет  $35,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Повышая температуру в холодном отделении с шагом  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (до минус  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и до  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) получаем перепады температур в  $25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , соответственно. Результаты эксперимента для двухкамерного стеклопакета СПД 4М1-10-4М1-10-4М1 (вариант 2) приведены на рисунке 3. Анализ данных рисунка 3 показывает, что приведенное сопротивление теплопередаче стеклопакета без экранов практически не изменяется (линия К2), а установка экранов приводит к снижению сопротивления  $R_0^{cm}$  (линии 1, 2 и 3) при увеличении разности температур. Так, при применении трех металлических экранов снаружи при изменении разности температур от  $15,5$  до  $35,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  сопротивление окна  $R_0^{cm}$  уменьшается с  $1,92$  до  $1,67$  ( $\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ) (или на  $0,25$  ( $\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ )). Данное обстоятельство можно объяснить значительным преобладанием в воздушной прослойке, образованной экранами, конвективного теплового потока над лучистым потоком.

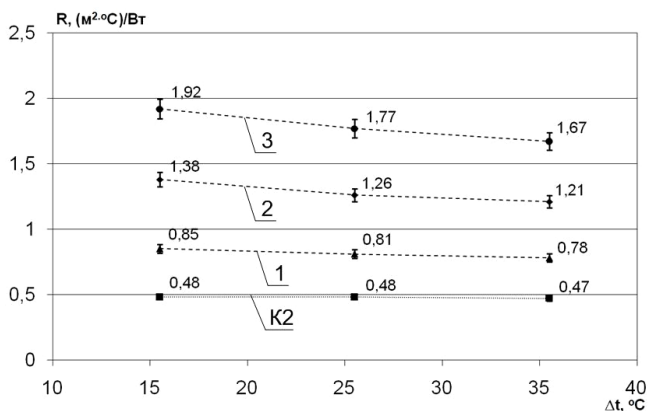


Рисунок 3 – Зависимость приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной части окна от разности температур в теплом и холодном отделениях камеры: К2 – вариант 2 (СПД 4М1-10-4М1-10-4М1); 1, 2, 3 – СПД с установкой 1-го, 2-х и 3-х алюминиевых экранов

**В четвертом разделе** приведена математическая модель тепломассопереноса при формировании динамического микроклимата в помещениях с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями.

Для моделирования тепломассопереноса в помещении дополнительно разработана математическая модель теплопередачи через стеклопакет с теплоотражающими экранами. Светопрозрачную конструкцию рассматривали в виде многослойной безинерционной системы, состоящей из слоев остекления, металлических экранов и замкнутых воздушных прослоек. На границах

раздела сред (слоёв) принято равенство температур и тепловых потоков. В каждой воздушной прослойке, а также на внутренней и наружной поверхностях конструкции рассчитывали коэффициенты лучистой и конвективной теплоотдачи. Около внутренней поверхности остекления конвективный теплообмен рассчитывался в зависимости от вида вентиляции в помещении (естественная или принудительная). При математическом моделировании было принято допущение об адиабатности в зоне контакта стеклопакета с дистанционной рамкой и о малости инсоляционной составляющей лучистого теплообмена.

Модель теплопередачи через стеклопакет была реализована в программно-вычислительном комплексе (ПВК) Matlab, в том числе для частного случая светопрозрачной конструкции была разработана компьютерная "Программа для расчёта процесса теплопередачи для двухкамерного стеклопакета с металлическими теплоотражающими экранами" (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2016615250 от 19 мая 2016 г.).

В диссертации также выполнено численное трехмерное моделирование теплопередачи через светопрозрачную часть стеклопакета с использованием металлических экранов методом конечных элементов в среде ПВК Phoenix. Результаты моделирования для однокамерного стеклопакета с формулой 4M1-10-4M1 и с установленным на расстоянии 10 мм от стеклопакета металлическим теплоотражающим экраном со степенью черноты  $\epsilon = 0,05$ , представлены на рисунке 4.

Верификация разработанных моделей была выполнена путем сравнения результатов расчета в ПВК температур на вертикальных поверхностях системы, удельных тепловых потоков и приведенного сопротивления теплопередаче с результатами экспериментального определения указанных величин. Средняя относительная погрешность расчёта сопротивления теплопередаче для стеклопакетов с экранами по сравнению с данными математического моделирования в ПВК Matlab и Phoenix составила 5,4 %, в сравнении с экспериментальными данными – 4,7 % (для ПВК Mathlab) и 7,3 % (для ПВК Phoenix). Отличие приведенного сопротивления теплопередаче, рассчитанного в ПВК Matlab, от справочных данных составило не более 6,1 %.

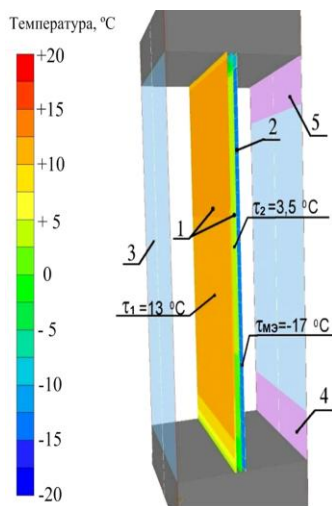


Рисунок 4 – Температурные поля на поверхностях модели стеклопакета с экраном (ПВК Phoenix): 1 – стёкла; 2 – экран; 3 – моделируемая стена помещения; 4 – место подачи холодного наружного воздуха; 5 – место отвода холодного наружного воздуха

Для оперативного определения тепловых потерь через светопрозрачные конструкции разной конфигурации при изменении температурного поля в процессе теплопередачи и гидродинамического режима движения внутренне-го и наружного воздуха разработан инженерный метод расчета на основе аналитических выражений, полученных путем аппроксимации результатов численного моделирования. Для расчета приведенного сопротивления теплопередаче предложена формула (1) для естественной конвекции внутри помещения и формула (2) – при принудительном движении воздуха в помещении:

$$R_o(\Delta t, v_n) = c_1 + \frac{a_1}{\Delta t + b_1} + \frac{1}{\frac{a_2}{\Delta t + b_1} + c_2 + 7,34 \cdot v_n^{0,656} + 3,78 \cdot e^{-1,91 \cdot v_n}}, \quad (1)$$

$$R_o(\Delta t, v_e, v_n) = c_1 + \frac{a_1}{\Delta t + b_1} + \frac{1}{\alpha_e^n + 5,6 + 3,8 \cdot v_e} - \overline{R_{e,e}} + \frac{1}{\frac{a_2}{\Delta t + b_1} + c_2 + 7,34 \cdot v_n^{0,656} + 3,78 \cdot e^{-1,91 \cdot v_n}} \quad (2)$$

где  $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$  – коэффициенты аппроксимации;  $\overline{R_{e,e}}$  – усредненное сопротивление теплопередаче на внутренней поверхности конструкции (при естественной конвекции), (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;  $\alpha_e^n$  – усредненный коэффициент теплоотдачи излучением на внутренней поверхности, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\Delta t$  – разность температур внутреннего и наружного воздуха, °C;  $v_e$  – скорость воздуха в помещении, м/с;  $v_n$  – скорость наружного воздуха, м/с.

Перед выполнением процедуры аппроксимации необходимо получить массив значений  $R_o(\Delta t, v_n)$  и  $R_o(\Delta t, v_e, v_n)$  путем проведения вычислительного эксперимента на разработанной математической модели в ПК Matlab. В качестве исходной информации для расчета задают геометрические и физические параметры светопрозрачной конструкции, включая количество и расположение экранов, а также диапазоны варьирования скорости движения внутреннего и наружного воздуха и перепада температур между внутренней и наружной воздушными средами. Коэффициенты аппроксимации были получены при помощи стандартной процедуры "linfit" в ПК Mathcad. В диссертации получены расчетные формулы вида (1) и (2) для некоторых типовых светопрозрачных конструкций с разным набором экранов. Например, для двухкамерного стеклопакета формулой 4M1-10-4M1-10-4M1 с тремя теплоотражающими экранами формула (2) примет вид

$$R_o(\Delta t, v_{en}, v_n) = 1,06 + \frac{22,3}{\Delta t + 17,9} + \frac{1}{9,6 + 3,8 \cdot v_e} + \frac{1}{7,34 \cdot v_n^{0,656} + 3,78 \cdot e^{-1,91 \cdot v_n}} \quad (3)$$

Результаты расчета также представлены графически в виде номограмм, например на рисунке 5.

Была разработана математическая модель динамического микроклимата для помещений, учитывающая нелинейную зависимость сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций с теплоотражающими экранами от температурного режима эксплуатации (формулы 1 и 2), а также генерацию электрической энергии при помощи солнечных батарей. Математическое описание включает уравнение неизотермического турбулентного движения

несжимаемого вязкого газа (уравнение Навье-Стокса), уравнения неразрывности, переноса энергии.

При записи уравнений приняты следующие допущения: диффузионный перенос воздуха через твердые элементы ограждающих конструкций отсутствует; приток воздуха в помещение осуществляется через воздухо-распределительные устройства, удаление – через вытяжные решетки; светопрозрачные конструкции с теплоотражающими экранами рассматриваются как безинерционные элементы; скорость приточного воздуха в рабочее время не изменяется.

Динамический микроклимат (ДМ) в рабочее время задавался

путем изменения температуры внутреннего воздуха  $t_b(\tau)$  с помощью гармонической функции

$$t_b(\tau) = \bar{t}_a + A_a \cdot \sin(\omega \cdot \tau), \quad (4)$$

где  $\bar{t}_a$  – средняя температура колебаний воздуха при ДМ, °С;  $A_a$  – амплитуда колебаний температуры внутреннего воздуха, °С;  $\omega$  – частота колебания температур, 1/ч.

Для описания турбулентных свойств текучей среды была выбрана k-ε модель турбулентности.

Количество электрической энергии, генерируемой в солнечных фотоэлектрических батареях (рисунок 2), определяется путем умножения теплового потока от инсоляции, воспринятой энергоэффективным ставнем, во время его использования в светлое время суток, на соответствующий коэффициент преобразования.

**В пятом разделе** была разработана методика определения значения минимальной температуры воздуха в нерабочее время для помещений с регулируемым сопротивлением теплопередаче светопрозрачных конструкций, отличающаяся учетом термовлажностных режимов эксплуатации здания и эффекта от предварительной осушки воздуха.

Для сбережения энергетических ресурсов в нерабочее время применяют режим «дежурного» отопления, при котором температуру воздуха понижают до температуры не ниже 5°С, выполняя условие не выпадения конденсата на твердых поверхностях, что особенно актуально для ряда производств с высокой влажностью воздуха. Для выполнения этих условий предложена формула для определения минимально допустимой температуры воздуха внутри помещения промышленного предприятия:

$$t_o^a = \frac{\tau_p \cdot \alpha_b \cdot R_o \cdot t_u}{\alpha_b \cdot R_o - 1} + \Delta t_{\text{зан}}, \quad (5)$$

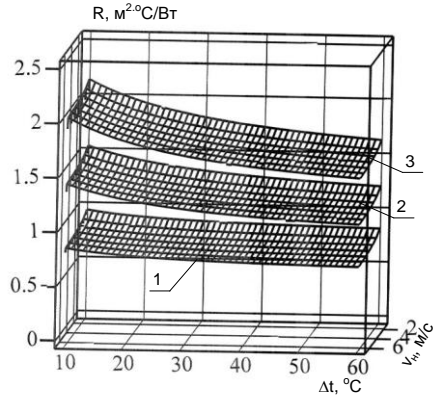


Рисунок 5 – Приведенное сопротивление теплопередаче центральной зоны окна для СП формулой 4M1-1-4M1-10-4M1 и установленных снаружи 1 – одного металлического экрана; 2 – двух экранов; 3 – трёх металлических экранов

где  $\tau_p$  – температура точки росы, определенная при параметрах воздуха в рабочее время по формуле Магнуса-Теттенса,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta t_{\text{зап}}$  – температурный запас по недопущению конденсации,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_n$  – температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $R_o$  – приведенное сопротивление теплопередаче, равное минимальному значению из двух сопротивлений светопрозрачной и непрозрачной зон,  $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$ ;  $\alpha_b$  – расчётный коэффициент теплоотдачи от воздуха к внутренней поверхности светопрозрачной конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ .

При предварительной осушке воздуха в рабочей зоне можно дополнительно понизить значение температуры воздуха при "дежурном" режиме отопления до температуры  $t_o^e$  (т.  $B_{\text{деж.2}}^x$  на рисунке б). В холодный период года для уменьшения влагосодержания внутреннего воздуха было предложено его смешивать с «сухим» наружным воздухом (т.  $H^x$ ) (рисунок 6, а), получая параметры смеси (т.  $C_{\text{деж.2}}^x$ ).

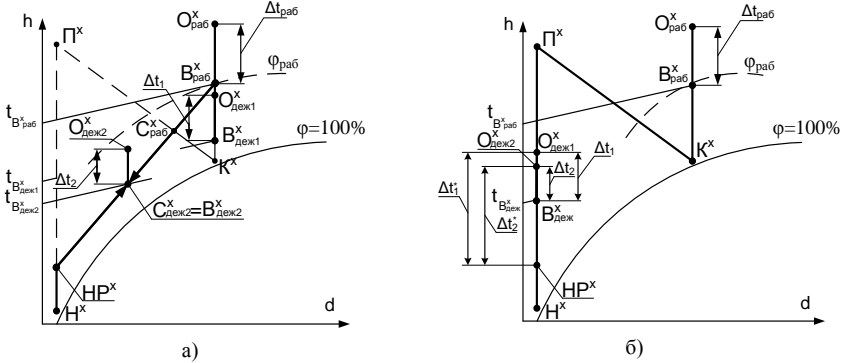


Рисунок 6 – Процесс снижения влагосодержания  $d$  и температуры воздуха  $t_{\text{в.деж}}$  при «дежурном» режиме отопления с помощью системы кондиционирования в холодный период года для помещений, в которых рециркуляция разрешена (а) или запрещена (б), при недостатке теплоты ( $h$  – энтальпия воздуха,  $\phi$  – влажность)

Был разработан инженерный метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции за отопительный период года  $\overline{R_{o,E}^{om}}$  с учетом временного графика использования экранов и температурного режима эксплуатации на основе аппроксимации результатов математического моделирования. Величину  $\overline{R_{o,E}^{om}}$  можно определить как:

$$\overline{R_{o,E}^{om}} = \frac{(t_e - t_n^{cp,om}) \cdot \tau_{om}}{\sum_{j=1}^k \left( \frac{(t_{e,j} - t_{n,j})}{R_{o,j}} \cdot \tau_{R,j} \right)}, \quad (6)$$

где  $\tau_{om}$  – продолжительность холодного периода, в часах;  $\tau_{R,j}$  – временные промежутки, соответствующие различному сопротивлению теплопередаче светопрозрачной конструкции, в часах;  $R_{o,j}$  – сопротивление теплопередаче светопрозрачной конструкции, зависящее от ее базовой конструкции, от ис-



пользования/неиспользования теплоотражающих экранов и от температур внутреннего  $t_{вж}$  и наружного  $t_{нж}$  воздуха, ( $m^2 \cdot ^\circ C$ ) /Вт;  $t_n^{cp.om}$  – средняя за отопительный период температура наружного воздуха,  $^\circ C$ .

Были определены значения  $\overline{R_{o,E}^{om}}$  для условий ряда городов России и основных графиков использования экранов в светопрозрачных конструкциях.

Для снижения затрат ТЭР при организации микроклимата в производственном помещении ремонтно-механического цеха АО "ПСК" (г. Иваново) было предложено в холодный период года в нерабочее и темное время суток использовать экраны в окнах и понижение температуры внутреннего воздуха до  $5^\circ C$ , а в теплый период года – теплоотражающие жалюзи. Было определено, что снижение поступления инсоляции в теплое время года составит 218 ГДж (или 65 %). Совместное использование теплоотражающих экранов в окнах и снижение температуры воздуха внутри помещения в нерабочее время холодного периода года приводит к дополнительному уменьшению тепловых потерь на 107,6 ГДж (или 53,6%).

Математическая модель динамического микроклимата для помещения тренажера блочного щита управления атомной электрической станцией (БЩУ АЭС), расположенного в ИГЭУ, была реализована в ПВК COMSOL Multiphysics. В рабочее время изменение температуры приточного воздуха, подаваемого из воздухораспределителей, было задано по закону гармонических колебаний. В нерабочее время подача воздуха прекращалась и контролировался тепловой режим при остывании помещения и расположенного в нем оборудования. На основании выполненного моделирования были определены годовые затраты теплоты и холода системой кондиционирования воздуха (СКВ) для организации указанного микроклимата (таблица 2) с учетом применения рециркуляции. Было установлено, что с точки зрения энергосбережения самым эффективным вариантом из всех рассмотренных выше является применение энергоэффективного ставня в окнах и понижение температуры воздуха в нерабочее время  $t_{деж}$  до минимальной с предварительной осушкой воздуха. В этом случае потребление теплоты СКВ снизилось на 70,2 %, а выработка электрической энергии в солнечных батареях составила 1627 кВт·ч за год.

Таблица 2 – Сравнение основных показателей эффективности вариантов моделирования динамического микроклимата

№ и краткая характеристика варианта	Годовые затраты теплоты СКВ, ГДж/год (% к базовому варианту)	Годовые затраты холода СКВ, ГДж/год (% к базовому варианту)	Дисконт. срок окупаемости, лет
1. Контрольный вариант	95,6 (100)	36,5 (100)	-
2. Применение ставня в окнах	81,4 (85,1)	35,1 (96,2)	9,4
3. Применение ставня в окнах и понижение температуры в нерабочее время $t_{деж}$ до минимальной	35,6 (37,2)	35,1 (96,2)	5,1
4. Применение ставня в окнах и понижение температуры воздуха в нерабочее время $t_{деж}$ до минимальной с предварительной осушкой воздуха	28,5 (29,8)	35,1 (96,2)	4,6

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен обзор научно-технической литературы по теме исследования, в результате которого выявлены достоинства и недостатки используемых энергосберегающих мероприятий при организации микроклимата, в том числе по теплозащите зданий; методов расчета и математического моделирования микроклимата в помещениях. Доказана необходимость разработки новых энергосберегающих светопрозрачных конструкций, а также их совместного использования в системах динамического микроклимата.

2. Предложены новые энергосберегающие научные и инженерные решения в светопрозрачных конструкциях, в том числе с использованием теплоотражающих экранов и солнечных фотоэлектрических батарей, которые позволяют не только снижать тепловые потери и инсоляцию, но и генерировать электроэнергию.

3. Получены новые экспериментальные данные о влиянии применения теплоотражающих экранов различной конфигурации и свойств на теплотехнические характеристики оконных блоков. Установлено, что применение металлических экранов позволяет в 1,51–3,79 раза увеличить приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачной ограждающей конструкции.

4. Разработана модель процесса теплопередачи через стеклопакет с применением теплоотражающих экранов, реализованная в ПК Matlab и Phoenix. Адекватность математической модели доказана путем сравнения результатов расчета с экспериментальными и литературными данными. Относительная погрешность моделирования составила не более 7,3%. Приведены номограммы и аналитические зависимости для определения сопротивления теплопередаче новых конструкций.

5. На основании данных физического эксперимента и математического моделирования установлена количественная зависимость приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций с теплоотражающими экранами от геометрических размеров и физических свойств стекол, экранов и образованных ими воздушных прослоек, а также от температурного режима эксплуатации данных конструкций.

6. Разработан инженерный метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции в текущий момент времени и за отопительный период года с учетом временного графика использования экранов и температурного режима эксплуатации на основе аппроксимации результатов математического моделирования.

7. Разработана методика определения значения минимальной температуры внутреннего воздуха в нерабочее время при условии недопущения выпадения конденсата на внутренних поверхностях разработанных светопрозрачных конструкций при наличии или отсутствии предварительной осушки воздуха. Данная методика позволяет значительно снизить затраты энергии на поддержание заданных параметров микроклимата.

8. На основе численного моделирования классического и динамического микроклимата для различных помещений и зданий с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями определен эффект от предложенных

энергосберегающих решений. Максимальная экономия годовых затрат теплоты составила 70,2 % при сроке окупаемости, равном 4,6 года.

9. Результаты диссертационной работы переданы НКО Фонд "Энергоэффективность" (г. Ярославль), АНО "Ивановостройиспытания" (г. Иваново), АО «ПСК» (г. Иваново), ИГЭУ и внедрены в учебный процесс.

**Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы исследования.** При математическом моделировании оконный блок с экранами рассматривается, как безинерционная система, приняты допущения по краевым зонам стеклопакета, допущения по расчету инсоляции. В дальнейшем планируется выполнить совершенствование математического описания, рассмотренных в диссертации объектов. Новые светопрозрачные конструкции с теплоотражающими экранами и фотоэлектрическими панелями рекомендуется реализовать в виде опытных образцов и внедрить в системы энергообеспечения зданий.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Научные статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК

1. **Смирнов, Н.Н.** Снижение нагрузок на системы энергоснабжения зданий при использовании энергосберегающих ограждающих конструкций с теплоотражающими экранами / **Н.Н. Смирнов** // Вестник ИГЭУ. – 2008. – №2. – С. 59-63.
2. Захаров, В.М. Снижение энергозатрат путём применения теплоотражающих экранов в окнах / В.М. Захаров, **Н.Н. Смирнов**, Д.А. Лапатеев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2013. – №1. – С. 54-60.
3. Бомон, С. Разработка и испытание автоматизированных окон с теплоотражающими экранами, отвечающих Российским и Европейским требованиям в области энергосбережения / С. Бомон, Э. Хольтсвейлер, **Н.Н. Смирнов**, В.М. Захаров, А.А. Яблоков, Д.А. Лапатеев // Вестник ИГЭУ. – 2013. – №5. – С. 13-24.
4. Захаров, В.М. Двойной энергетический эффект в системах теплоснабжения зданий от использования автоматизированных энергосберегающих окон для различных регионов России / В.М. Захаров, **Н.Н. Смирнов**, А.А. Яблоков, Ю.С. Колосова, Д.А. Лапатеев // Вестник ИГЭУ. – 2014. – №3. – С. 15-21.
5. Захаров, В.М. Энергосберегающий потенциал от использования теплоотражающих экранов с солнечными батареями в окнах для систем энергоснабжения зданий / В.М. Захаров, В.В. Тютиков, **Н.Н. Смирнов**, Д.А. Лапатеев, Б. Фламан, М. Барба // Вестник ИГЭУ. – 2015. – №2. – С. 5-14.
6. Захаров, В.М. Эффективность совместного применения теплоотражающих экранов в окнах и технологии предварительной осушки воздуха для систем прерывистого отопления зданий в различных регионах России и Франции / В.М. Захаров, В.К. Пыжов, **Н.Н. Смирнов**, Д.А. Лапатеев, Б. Фламан // Вестник ИГЭУ. – 2015. – №5. – С.16-25.
7. Захаров, В.М. Разработка, программная реализация и проверка адекватности математической модели процесса теплопередачи через окно с теплоотражающими экранами / В.М. Захаров, Е.Г. Авдониин, **Н.Н. Смирнов**, А.А. Яблоков, Д.А. Лапатеев // Вестник ИГЭУ. – 2016. – №3. – С.13-26.
8. **Смирнов, Н.Н.** Использование окон с регулируемым сопротивлением теплопередаче для повышения энергетической эффективности систем динамического микроклимата помещений / **Н.Н. Смирнов**, В.К. Пыжов, В.М. Захаров, Е.Г. Авдониин, Д.А. Лапатеев // Вестник ИГЭУ. – 2016. – №6. – С.26-42.

### Научные статьи, опубликованные в изданиях, индексируемых в базе данных SCOPUS

9. Zakharov, V.M. Energy efficiency by use of automated energy-saving windows with heat-reflective screens and solar battery for power supply systems of European and Russian buildings / V.M. Zakharov, **N.N. Smirnov**, V.V. Tyutikov, B. Flament // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Bristol: IOP Publishing. – 2015. – №93. – pp.1-6.
10. Tyutikov, V.V. Analysis of energy efficiency from the use of heat-reflective window screens in different regions of Russia and France / V.V. Tyutikov, **N.N. Smirnov**, D.A. Lapateev // Procedia Engineering. – 2016. – №150. – pp. 1657-1662.
11. **Smirnov, N.** Mathematical and physical modeling of heat transfer through window with heat-reflecting screens to determine the potential of reducing thermal costs for microclimate parameters maintaining / **N. Smirnov**, V. Tyutikov, V. Zakharov // MATEC Web of Conferences. HMTTSC-2017 – Les Ulis, France: EDP Sciences. – 2017. – № 110 (01096). – pp. 1-6.

12. Parfenov, G.I. Improving the energy efficiency of dynamic air condition systems in buildings with controlled resistance to window heat transfer / G.I. Parfenov, **N.N. Smirnov**, V.K. Pyzhov, V.V. Tyutikov // Journal of Physics: Conference Series – 2018.– № 1111.– iss. 1. – pp. 1-6.

13. Тютиков, В.В. Энергоэффективность применения прерывистого режима отопления и окон с теплоотражающими экранами в зданиях текстильных предприятий для условий России и Франции / В.В. Тютиков, В.М. Захаров, **Н.Н. Смирнов**, Д.А. Лапатеев, Б. Фламан // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016. – №5 (365). – С.188-195.

#### **Тезисы и полные тексты докладов конференций**

14. **Смирнов, Н.Н.** Тройной энергетический эффект от применения автоматизированных энерго-сберегающих окон с теплоотражающими экранами / **Н.Н. Смирнов**, Д.А. Лапатеев, В.М. Захаров // Двадцать первая междунаро. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»: Тезисы докладов. – М.: Издательский дом МЭИ. – 2015. – Т.3. – С. 188.

15. Lapateev, D.A. Efficient use of energy-saving windows in conditions of Russia and France / D.A.Lapateev, **N.N. Smirnov**, B. Flament, M. Barbat // X Международная молодёжная научная конференция «Тинчуиринские чтения»: Материалы конференции. – Казань: РИО Казань. – 2015. – Т.2. – С. 68-69.

16. **Смирнов, Н.Н.** Оценка эффективности применения разработанных энергосберегающих мероприятий при создании динамического микроклимата в помещениях различного функционального назначения / Н.Н. Смирнов, Г.И. Парфенов, В.М. Захаров, В.К. Пыжов // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXI Бенардосские чтения): Материалы международной научно-технической конференции. – Иваново: ИГЭУ. – 2021. – С.386-389.

#### **Результаты интеллектуальной деятельности**

1. Пат. 84042 Российская Федерация, МПК Е 06 В 7/08. Оконный блок / В.М. Захаров, **Н.Н. Смирнов**. – №2008150026/22; заявл. 17.12.2008; опубл. 27.06.2009, бюл. №18.

2. Пат. 95725 Российская Федерация, МПК Е 06 В 7/08. Оконный блок / В.М. Захаров, **Н.Н. Смирнов**. – № 2010106473/22; заявл. 24.02.2010; опубл. 10.07.2010, бюл. № 19.

3. Пат. 135696 Российская Федерация, МПК Е 06 В 7/08. Автоматизированный оконный блок / В.М. Захаров, **Н.Н. Смирнов**, А.А. Яблоков, Д.А. Лапатеев. – № 2013130095/12; заявл. 01.07.2013; опубл. 20.12.2013, бюл. №35.

4. Пат. 146566 Российская Федерация, МПК Е 06 В 9/17. Автоматический наружный ставень / В.М. Захаров, **Н.Н. Смирнов**, Д.А. Лапатеев, Д.С. Трухин, Е.С. Румянцев. – № 2014127023/12; заявл. 02.07.2014; опубл. 10.10.2014, бюл. №28.

5. Пат. 153159 Российская Федерация, МПК Е 06 В 9/17. Оконный блок с внутренним ставнем / В.М. Захаров, **Н.Н. Смирнов**, Д.А. Лапатеев, Д.С. Трухин. – № 2014142401/12; заявл. 21.10.2014; опубл. 10.07.2015, бюл. №19.

6. Пат. №154163 Российская Федерация, МПК Е 06 В 9/17. Многофункциональный энерго-эффективный ставень / В.М. Захаров, **Н.Н. Смирнов**, Д.А. Лапатеев, Д.С. Трухин, А.А. Яблоков, Ю.С. Колосова. – №2014137231/12, заявл. 15.09.2014; опубл. 20.08.2015, бюл. №23.

7. Пат. № 2574997 Российская Федерация, МПК Е 06 В 7/08. Система управления теплоотражающими экранами оконного блока / В.М. Захаров, **Н.Н. Смирнов**, А.А. Яблоков, Д.А. Лапатеев. – №2014109183/12; заявл. 11.03.2014; опубл. 10.02.2016, бюл. №4.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016615250 Российская Федерация. Программа для расчёта процесса теплопередачи для двухкамерного стеклопакета с металлическими теплоотражающими экранами / А.А. Яблоков, В.В. Тютиков, **Н.Н. Смирнов**, В.М. Захаров, Д.А. Лапатеев. – №2016612420; заявл. 21.03.2016; зарег. 19.05.2016.

#### **Раздел в учебнике**

1. Пыжов, В.К. Баланс помещений по вредностям / В.К. Пыжов, **Н.Н. Смирнов** // Системы кондиционирования, вентиляции и отопления: учебник / В.К. Пыжов, **Н.Н. Смирнов**. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – Разд. 3. – С. 73-144. ISBN 978-5-9729-0345-0.

СМИРНОВ Николай Николаевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ПО СОЗДАНИЮ ДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА  
ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ С ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫМИ СВЕТОПРОЗРАЧНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 27.06.2022 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Печать плоская. Усл. печ. л. 1,16. Тираж 100 экз. Заказ № 121.

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,

153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ