

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента доктора технических наук, профессора**

**Федосеева Вадима Николаевича на диссертацию**

**Смирнова Николая Николаевича**

**на тему «Совершенствование систем по созданию динамического микроклимата для помещений с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика»**

Диссертационная работа Смирнова Н.Н. посвящена повышению эффективности работы систем по созданию динамического микроклимата в помещениях, в которых используются светопрозрачные ограждающие конструкции с теплоотражающими экранами и фотоэлектрическими солнечными панелями, с целью уменьшения расхода топливно-энергетических ресурсов и увеличения производительности труда сотрудников. В качестве энергосберегающих решений, кроме указанных энергоэффективных светопрозрачных конструкций, предлагается понижение минимальной температуры внутреннего воздуха помещения, на основе разработанной автором методики.

Современные нормативные документы предписывают особое внимание уделять энергосбережению при ведении технологических процессов в условиях организации микроклимата в помещениях различного назначения. Органы государственной власти Российской Федерации рекомендуют 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.

Значительные затраты для поддержания нормируемых параметров микроклимата в помещениях приходится на компенсацию трансмиссионных тепловых потерь через светопрозрачные конструкции. Необходимо отметить, что существующие светопрозрачные ограждающие конструкции обладают наименьшим приведенным сопротивлением теплопередаче по сравнению с другими элементами зданий. Поддержание динамического микроклимата в помещениях способствует повышению внимательности и сосредоточенности обслуживающего персонала, повышению качества и производительности труда. Следовательно, мероприятия по снижению потребления топливно-энергетических ресурсов при организации динамического микроклимата, рассматриваемые в диссертации, позволяют уменьшить себестоимость и повысить качество производимой продукции, что является **актуальной** задачей.

Несмотря на то, что в существующих публикациях рассматриваются различные пути по снижению потребления тепловой энергии при организации микроклимата в помещениях, в том числе и благодаря применению теплоотражающих экранов в светопрозрачных конструкциях (Захаров В.М., Низовцев М.И., Табунщиков Ю.А.), а также в некоторых литературных источниках отражены результаты исследований по созданию динамического микроклимата (Гаранин А.В., Пыжов В.К., Сотников А.Г.), ряд важных положений, рассмотренных в диссертации Смирнова Н.Н., таких как, влияние на уменьшение затрат ТЭР за счет понижения температуры внутреннего воздуха в нерабочее время, рассчитанной с учетом изменения трансмиссионных потерь, а также внедрения энергоэффективных светопрозрачных ограждающих конструкций с перемещаемыми теплоотражающими экранами и солнечными батареями при организации классического и динамического микроклимата, остается недостаточно изученным.

**Научная новизна** работы обусловлена следующими позициями:

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

2. на основании данных физического эксперимента и численно-аналитического 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 при 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 эксплуатируемого здания и эффекта от предварительной осушки воздуха;

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

**Теоретическая значимость** результатов работы отражается в изучении целесообразности использования теплоотражающих экранов с солнечными фотоэлектрическими батареями в светопрозрачных конструкциях в целях повышения их тепловой защиты и генерации электроэнергии, в том числе при организации состояния микроклимата в помещении; в обобщении экспериментальных данных о влиянии применения теплоотражающих экранов и температурных режимов при эксплуатации на

приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций; в разработке методики определения минимальной температуры воздуха в нерабочее время для рабочих помещений. Рассмотрены схемные и режимные технические решения по применению экранов с солнечными батареями в светопрозрачных конструкциях.

**Практическая ценность** работы заключается: в значительном энергетическом эффекте от применения разработанных энергосберегающих решений; в разработке программы по расчету процесса теплопередачи через стеклопакеты с экранами, позволяющей определить теплотехнические показатели светопрозрачных конструкций (СПК); в разработке метода расчета приведенного сопротивления теплопередаче СПК с экранами в текущий момент времени и за отопительный период, позволяющего оценить эффективность применения экранов; в создании аналитических зависимостей и номограмм для определения приведенного сопротивления теплопередаче СПК с экранами.

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

**Апробация результатов работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы и обсуждались на 26 международных и всероссийских конференциях. Количество и уровень конференций являются достаточными для подтверждения апробации результатов работы.

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. Количество публикаций значительно превышает минимальное значение, устанавливаемое пунктом 13 "Положения о присуждении ученых степеней".

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, что также подтверждает широту и глубину литературного обзора по рассматриваемой тематике.

**Во введении** автором дано обоснование темы диссертации и общая характеристика работы.

**В первом разделе** автором произведен литературный обзор, посвященный исследованию вопросов, связанных с современным состоянием технологий по уменьшению

потребления энергоресурсов при организации микроклимата в помещениях, в том числе и по повышению тепловой защиты ограждающих конструкций зданий; рассмотрены работы, в которых представлены последние результаты исследований по созданию и моделированию классического и динамического микроклимата. Для подтверждения актуальности исследуемой темы автором рассмотрены современные требования в области энергосбережения и энергоэффективности для зданий в Российской Федерации и в некоторых странах Европейского союза, а также приведены структура конечного потребления энергии и доля затрат на компенсацию тепловых потерь через светопрозрачные конструкции. Сделан вывод о недостаточности проработки в опубликованных работах вопросов по применению теплоотражающих экранов в СПК при организации микроклимата.

В конце раздела сформулированы основные задачи дальнейшего исследования.

**Во втором разделе** представлены разработанные энергоэффективные светопрозрачные ограждающие конструкции 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. Отдельное внимание уделено многофункциональному энергоэффективному ставню, позволяющему не только снизить тепловые трансмиссионные потери через СПК, но и генерировать электрическую энергию путем размещения с наружной стороны фотоэлектрической солнечной батареи. Для обоснования практического применения предложенных энергосберегающих конструкций СПК с экранами представлены предложения по автоматизации их работы.

**В третьем разделе** приведены результаты экспериментальных исследований теплозащитных свойств окон с теплоотражающими экранами, проведенных в сертифицированной климатической камере. Представлены описание экспериментальной установки, а также разработанная автором методика испытаний окон с экранами. Установлено, что применение экранов, особенно металлических, в окнах позволяет в 1,5÷3,8 раза увеличить приведенное сопротивление теплопередаче СПК. В ходе проведения экспериментальных исследований в климатической камере выявлено, что сопротивления теплопередаче окон с экранами существенно зависит от температурных условий их эксплуатации. В разделе представлены результаты исследований инерционных свойств окон с экранами, причем установлено, что время перехода на стационарный режим теплообмена не превышал 23 минут.

**В четвертом разделе** приведена математическая модель тепломассопереноса при формировании динамического микроклимата в помещениях с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями. Разработанная модель процесса теплопередачи через стеклопакет с применением теплоотражающих экранов была реализованная в ППК Matlab и Phoenics. Адекватность математической модели доказана путем сравнения результатов расчета с экспериментальными и опубликованными данными. Относительная погрешность моделирования составила не более 7,3%.

Для оперативного определения тепловых потерь через светопрозрачные конструкции разной конфигурации при изменении температурного поля в процессе теплопередачи и гидродинамического режима движения внутреннего и наружного воздуха разработан инженерный метод расчета на основе аналитических выражений, полученных путем аппроксимации результатов численного моделирования.

Разработанная математическая модель динамического микроклимата для помещений учитывает нелинейную зависимость сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций с теплоотражающими экранами от температурного режима эксплуатации, 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.

**В пятом разделе** были разработаны 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, а также инженерный метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче СПК за отопительный период года с учетом временного графика использования экранов и температурного режима эксплуатации.

На основе численного моделирования классического и динамического микроклимата для различных помещений и зданий с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями (АО «ПСК», ИГЭУ) определен эффект от предложенных энергосберегающих решений. Максимальная экономия годовых затрат теплоты составила 70,2 % при сроке окупаемости, равном 4,6 года.

**В заключении** автором выполнено обобщение полученных в ходе исследования данных и сформулированы основные результаты диссертационной работы.

**В приложениях** описаны результаты экспериментальных исследований оконного блока в климатической камере АНО «Ивановостройиспытания», листинг разработанной автором программы для расчёта процесса теплопередачи для двухкамерного стеклопакета с металлическими теплоотражающими экранами. Также в приложениях представлены акты передачи и внедрения результатов диссертационной работы.

**Соответствие паспорту специальности.** Работа соответствует паспорту специальности 05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика»

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».

Результаты работы **внедрены** в учебный процесс, а также **рекомендованы** к реализации специалистами в области энергосбережения и энергосервиса, в сфере эксплуатации инженерных систем зданий. Получены соответствующие акты внедрения.

По диссертации можно сделать следующие **замечания и комментарии**:

1. Могут ли разработанные энергосберегающие решения, в том числе светопрозрачные конструкции с теплоотражающими экранами быть использованы для повышения энергоэффективности работы систем отопления, в том числе жилых и общественных зданий? Почему упор сделан именно на их применении при организации динамического микроклимата?

2. В работе при описании разработанных конструкций энергоэффективных окон автор не приводит толщину теплоотражающих металлических экранов, необходимых для снижения тепловых трансмиссионных потерь. В работе автор не указывает, каким образом он планирует защищать свою конструкцию от погодных аномалий (в том числе града), которые могут значительно снизить срок службы теплоотражающих экранов в окнах.

3. Помимо приведенных параметров при анализе окружающей среды желательно было бы указать и энтальпию (в каких пределах она дополняет эффективное энергосбережение), влажность и давление воздуха, которые играют важную роль при построении процессов обработки воздуха в кондиционерах.

4. Из содержания диссертации не ясно, как автор определял инфильтрационную составляющую тепловых потерь в светопрозрачных конструкциях, что может влиять на составление теплового баланса для помещения с предлагаемыми конструкциями окон.

5. В холодный период года происходит искривление поверхности стекол в стеклопакетах, что влияет на геометрию конструкции и процессы, происходящие в ней. К сожалению, данное обстоятельство не учтено в диссертации при численном моделировании процессов.

Указанные замечания носят уточняющий и рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку работы. Характеризуя её в целом можно сказать, что настоящая диссертация является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную научную тему.

Результаты, выносимые на защиту, полностью отражены и обоснованы в диссертации.

Автореферат диссертации полностью соответствует её содержанию.

Диссертационная работа на тему «Совершенствование систем по созданию динамического микроклимата для помещений с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями», с учетом ее актуальности, новизны и значимости полученных результатов для науки и практики, полностью соответствует требованиям, изложенным в пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г. в актуальной редакции, а её автор, Смирнов Николай Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика».

**Официальный оппонент:**

Профессор кафедры «Организация производства и городское хозяйство» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет», доктор технических наук по специальности 05.19.03 «Технология текстильных материалов», профессор,

Федосеев Вадим Николаевич

«05» сентября 2022 года

почтовый адрес: 153000, г. Иваново, Шереметевский проспект, д. 21.

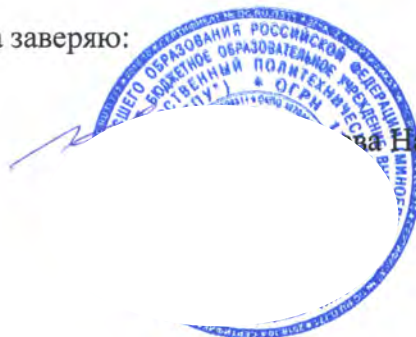
Телефон: +7 (4932) 32-85-45

e-mail: 4932421318@mail.ru

Подпись Федосеева Вадима Николаевича заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета

д.т.н., доцент



Наталия Александровна