

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук

Гаряева Андрея Борисовича

на диссертацию Смирнова Николая Николаевича

«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

Актуальность диссертационной работы обусловлена необходимостью решения комплексной проблемы повышения энергетической эффективности зданий производственного назначения при одновременном увеличении комфортных условий деятельности персонала за счет внедрения динамического микроклимата, который характеризуется периодическим изменением параметров по наперед заданному закону. Основной акцент научного исследования соискателя направлен на совершенствование светопрозрачных конструкций зданий, как элементов с наибольшими трансмиссионными тепловыми потерями. Сбережение тепловой энергии путем снижения температуры в помещениях в нерабочее время требует разработки обоснованного метода расчета минимально допустимого уровня данной температуры. Решение этой проблемы также является **актуальной** задачей в настоящее время.

В диссертационной работе Н.Н. Смирнова получены следующие результаты, обладающие **научной новизной**:

- получены **новые** конструктивные решения светопрозрачных проемов зданий, которые отличаются от существующих наличием регулируемых экранов разной формы и установкой генератора электрической энергии в виде солнечных панелей;
- предложен **новый** инженерный метод расчета термического сопротивления оригинальных светопрозрачных конструкций, который разработан на основе лабораторного эксперимента в сертифицированной климатической камере и использует результаты вычислительного эксперимента на компьютерной математической модели тепломассообмена в среде современного программно-вычислительного комплекса;
- разработана **новая** методика определения минимальной температуры в производственном помещении при снижении тепловой нагрузки помещения в нерабочий период с целью энергосбережения, которая учитывает изменение

влажности воздуха в помещении, оборудованного светопрозрачными конструкциями с регулируемым термическим сопротивлением;

– усовершенствована расчетная модель динамического микроклимата в производственном помещении, учитывающая установку оригинальных светопрозрачных конструкций с солнечными батареями.

Результаты теоретического и экспериментального исследования, полученные в диссертационной работе Н.Н. Смирнова, обладают **практической ценностью**, поскольку внедрение новых технических решений по установке светопрозрачных конструкций с регулируемым термическим сопротивлением теплопередаче и повышение точности расчета параметров микроклимата в производственном помещении, включая определение минимально допустимой (до выпадения влаги) температуры, позволит получить значительный экономический эффект.

Материалы, изложенные в диссертационной работе, прошли **достаточную апробацию** на конференциях различного уровня. Они опубликованы в открытой печати, в том числе в 8 изданиях, рекомендованных ВАК, и 5 изданиях, индексируемых в базе данных SCOPUS. **Достоверность основных выводов и результатов работы** обеспечивается применением современного измерительного и вычислительного оборудования для исследования процессов теплообмена через светопрозрачные конструкции в лаборатории и в производственном помещении, хорошим согласованием численных расчетов с результатами физического эксперимента.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы и трех приложений. Общий объем работы составляет 318 страниц. Диссертация является завершенным научным трудом, сделанные в ней выводы научно обоснованы.

Во введении определены актуальность темы диссертации, охарактеризованы степень ее разработанности, сформулированы цели и задачи исследования, его новизна, основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе диссертации дан подробный анализ состояния проблемы энергосбережения в зданиях непроизводственного и производственного назначения, как в России, так и за рубежом. Сделан подробный анализ структуры тепловых потерь элементами оболочки здания и показано, что максимальный потенциал энергосбережения заключен в модернизации конструкции световых проемов зданий. Поэтому при обзоре современных энергосберегающих мероприятий особое внимание уделено вопросам энергосбережения при установке светопрозрачных конструкций. Также дана авторская оценка современного состояния математического описания процессов теплообмена через оконные конструкции разной модификации и вида защиты от внешнего

воздействия окружающей среды. Рассмотрены вопросы применения динамического микроклимата на промышленных предприятиях.

Во втором разделе диссертации предложены оригинальные конструкции стеклопакетов, которые оборудованы регулируемыми экранами различной геометрии, выполненных из разных материалов. На окнах возможна установка фотоэлектрических солнечных панелей. Рассмотрена система автоматизации для эффективного функционирования энергоэффективного ставня. Проведен подробный анализ климатических условий ряда городов РФ и сделан вывод о целесообразности применения непрозрачных экранов в темное время суток и в нерабочее время, а также о возможности использования солнечной энергии.

В третьем разделе диссертационной работы приведены результаты многочисленных экспериментов по определению величины приведенного термического сопротивления светопрозрачных конструкций при установке в оконных блоках экранов разной модификации. Получены экспериментальные данные о теплоинерционных свойствах предложенных стеклопакетов, оборудованных экранами, а также зависимость приведенного термического сопротивления от температуры внутренней и внешней сред и перепада температур между ними. Предложены изменения в методику проведения и обработки результатов экспериментальных исследований теплообмена через оконные блоки, учитывающие уровень температур с обеих сторон окна. Результаты опытов были использованы при разработке математических моделей тепломассопереноса через светопрозрачные конструкции с защитными экранами.

Четвертый раздел диссертации посвящен математическому моделированию микроклимата в зданиях, оборудованных светопрозрачными энергоэффективными ставнями, которые разработаны соискателем. При помощи математических моделей выполнен анализ уровня эффективности предложенных диссертантом конструктивных изменений стеклопакетов. В диссертации реализованы четыре математические модели:

- одномерная математическая модель теплопередачи через энергоэффективный стеклопакет, реализованная в пакете Matlab;
- трехмерная математическая модель теплопередачи через энергоэффективный стеклопакет, реализованная в программно-вычислительном комплексе Phoenix;
- простая алгебраическая модель для расчета приведенного термического сопротивления стеклопакета с экранами, полученная путем аппроксимации данных математического моделирования при помощи одномерной модели;
- математическая модель динамического микроклимата.

Одномерная и трехмерная математические модели построены на известных инженерных формулах теплоотдачи и теплопередачи, которые содержат эмпирические коэффициенты. По результатам моделирования получено, что

одномерная модель более точно совпадает с экспериментальными данными по сравнению с трехмерной моделью.

Инженерные формулы расчета приведенного термического сопротивления в зависимости от конструкции стеклопакета являются удобным инструментом для оценки этой величины. Математическое описание динамического микроклимата в диссертации содержит дифференциальные уравнения теплопроводности, Навье-Стокса и Фурье-Кирхгофа, описание полуэмпирической модели турбулентности и интегральное балансовое уравнение сохранения теплоты. В заключение четвертого раздела работы приведены известные формулы для расчета электрической энергии, которая может быть получена, если окна оснастить солнечными панелями.

В пятом разделе диссертации предложена инженерная методика расчета минимально допустимой температуры в помещении, оборудованном эффективными светопрозрачными конструкциями при снижении тепловой нагрузки. Разработана методика определения приведенного термического сопротивления за отопительный период с учетом графика применения теплозащитных экранов. Приведен расчет экономического эффекта от внедрения разработанных диссертантом энергоэффективных ставней с экранами и солнечными панелями и внедрения дежурного отопления в здании производственного назначения. Также рассмотрен пример применения динамического микроклимата в одной из учебных лабораторий университета.

Диссертация соответствует паспорту специальности 05,14.04 «Промышленная теплоэнергетика». Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

По представленным материалам диссертации и автореферата имеются следующие **замечания:**

1. Объем диссертации избыточен. Без ущерба для понимания можно сократить текст диссертации за счет исключения перечисления известных фактов и пересказа общепринятых классических методов расчета тепломассопереноса путем ссылок на литературу.
2. При конструировании новых энергоэффективных светопрозрачных конструкций необходимо пояснить чем руководствовался соискатель при выборе количества, места установки, формы и материала экранов.
3. Экономическая целесообразность установки солнечных панелей в оконных проемах для зданий центральных и северных регионов РФ, оснащенных автоматическим регулированием, в диссертации не доказана.
4. В диссертации выполнены многочисленные эксперименты по определению температурных полей и изменения тепловых потоков для ряда светопрозрачных конструкций с экранами, которые имеют научную новизну для данных

конкретных окон. Для обобщения данных эксперимента необходимо функциональные зависимости, например, приведенного термического сопротивления от перепада температур между текучими средами, представить в безразмерном виде.

5. На с.145 диссертации соискатель утверждает, что «выявлен нелинейный характер приведенного термического сопротивления при установке металлических экранов от температурных режимов испытаний» и делает вывод на с.217 о том, что «сопротивление теплопередаче с отражающими экранами зависит от температурного режима эксплуатации». Это очевидный факт, изложенный в монографиях и учебниках по теплопередаче.

6. В математической модели динамического микроклимата использован математический аппарат дифференциальных уравнений турбулентного конвективного теплообмена и радиационного теплопереноса для трехмерного пространства, однако график изменения теплового состояния помещения задается только для одной интегральной (балансовой, термодинамической) температуры.

7. При описании сопряжения температурных полей внешнего и внутреннего теплообмена использованы граничные условия третьего рода (формула (4.61)), которые применяют при интегральном описании внешнего теплообмена без расчета температурного поля воздушной среды. Возникает вопрос: с какой целью в диссертации приведены дифференциальные уравнения, описывающие турбулентный конвективный перенос в помещении?

8. Следует пояснить, почему коэффициент теплоотдачи при вынужденной конвекции от внутреннего воздуха к поверхности стеклопакета и поверхности экрана отличается более чем 30% при одинаковой скорости омывания поверхности (формулы (5.4) и (5.5) соответственно).

Замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы и не ставят под сомнение основные результаты и выводы, полученные автором.

Заключение.


Диссертация Н.Н. Смирнова является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена важная научно-практическая задача по созданию новых энергоэффективных светопрозрачных конструкций и разработки методов их расчета, включая математические модели микроклимата в помещениях, оборудованных такими окнами.

Считаю, что диссертационная работа Смирнова Николая Николаевича «Совершенствование систем по созданию динамического микроклимата для помещений с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями»

полностью соответствует требованиям пунктов 9-10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Тепломассообменные процессы и установки»
ФГБУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», доктор
технических наук, 05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика», профессор

 _____ Горяев Андрей Борисович

« 5 » сентября 2022 г.

Подпись _____
удостоверяю
начальник управления по
работе с персоналом

Н.Г. Савин

Почтовый адрес: 111250, Москва, Каширская, 10
д. 14, ауд. В-104
GariayevAB@mpei.ru
тел.: 8(495)362-71-49

Подпись А.Б. Горяева удостоверяю: