

ОТЗЫВ

официального оппонента

БОДРОВА Михаила Валерьевича,

доктора технических наук, профессора кафедры отопления и вентиляции

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный

архитектурно-строительный университет»

на диссертационную работу Ермолаева Антона Николаевича

на тему: «Повышение эффективности работы систем газового инфракрасного

обогрева производственных зданий», представленную на соискание ученой

степени кандидата технических наук по специальности

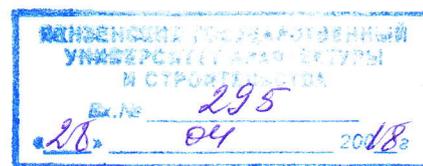
05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха,
газоснабжение и освещение (отрасль науки – технические)

Актуальность темы диссертационного исследования

Важнейшим направлением стратегии технологического развития Российской Федерации является энергосбережение и повышение энергетической эффективности действующих и вновь проектируемых предприятий. Приоритетность этой задачи подтверждена федеральными и региональными нормативно-правовыми актами, а также специализированными государственными и отраслевыми программами. В России значительная часть энергетических ресурсов тратится на отопление производственных зданий, поэтому внедрение энергосберегающих технологий в этой сфере приобретает всё большую значимость. Одним из таких актуальных вопросов посвящена диссертационная работа А.Н. Ермолаева, направленная на повышение эффективности работы газовых инфракрасных излучателей и разработку методики их проектирования для энергоэффективного обогрева производственных зданий.

В технической литературе практически отсутствуют как методики расчета систем газового инфракрасного отопления (ГИО) в условиях сложного тепло-массообмена, так и количественные характеристики, связывающие параметры внешней среды с состоянием микроклимата производственных зданий, оборудованных газовыми горелками инфракрасного излучения (ГГИИ). Существующие методы преимущественно базируются на результатах приближенного моделирования, что приводит к завышению тепловой мощности системы газового лучистого отопления, некорректному размещению излучателей в объеме помещения и, как результат, повышению капитальных и эксплуатационных затрат на обеспечение требуемого теплового режима производственных зданий. Также, требуется отметить высокие потери тепловой энергии самих ГГИИ.

В связи с этим выбранная автором тема диссертационной работы и выполненные исследования являются актуальными и своевременными.



Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы доказывается глубоким изучением и систематизацией трудов российских и зарубежных ученых в области лучистого отопления промышленных зданий и сооружений. На основе анализа современного состояния систем ГИО автором сделан обоснованный вывод, что существующие конструкции излучателей типовой модели и методики их проектирования являются недостаточно эффективными.

Автором разработаны технические решения высокотемпературных ГГИИ с теплоизоляцией наружной поверхности конструкции и с водяным охлаждением рефлектора, которые позволили решить проблему перегрева верхней зоны отапливаемого помещения за счет снижения теплоотдачи от корпуса излучателя и вторичного использования энергии и, как результат, повысить эффективность работы системы газового лучистого отопления в целом. Новизна предлагаемых технических решений подтверждена патентом РФ, приведенным в диссертационной работе.

На основе проведенных численных исследований тепломассообмена и горения при работе высокотемпературных ГГИИ в объеме производственных зданий подтверждена эффективность предлагаемых технических решений и получены: зависимость, описывающая распределение температуры по высоте перфорированного керамического насадка высокотемпературного излучателя; оптимальные шаг расстановки и высоты подвеса излучателей в объеме обогреваемого помещения; математические уравнения, описывающие формируемый в производственном помещении воздушно-тепловой режим при работе высокотемпературных систем ГИО.

Для подтверждения обоснованности научных положений проведен ряд экспериментальных исследований, в том числе стендовые испытания разработанных автором технических решений и типовых моделей высокотемпературных излучателей всех выпускаемых производством тепловых мощностей – 5, 10, 15, 20, 30, 40 кВт, исследование фактического состояния параметров микроклимата, измерение температуры поверхностей ограждающих конструкций, тепловизионное обследование состояния ограждающих конструкций и анализ работы систем автоматизации на базе производственных зданий, отапливаемых системами газового лучистого отопления.

Соискателем А.Н. Ермолаевым предложена и апробирована оригинальная методика проектирования высокотемпературных ГГИИ, позволяющая повысить эффективность работы системы ГИО производственных зданий за счет опреде-

ления её эффективной тепловой мощности и подбора рациональных решений по размещению излучателей в помещении.

Научные положения, выводы и результаты исследований опубликованы в 13 научных работах, в том числе – 5 статей в рецензируемых научных изданиях по списку ВАК и 2 статьи в журналах, индексируемых Scopus. Доклады по теме диссертационной работы обсуждались на региональных, всероссийских и международных научных конференциях, форумах, семинарах и конкурсах.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Основная научная идея диссертации заключается в повышении эффективности работы систем газового лучистого отопления производственных зданий за счет совершенствования конструкции ГГИИ и разработки методики их проектирования на базе имитационного математического моделирования.

В качестве новых научных результатов отмечаются следующие положения.

1. Разработаны и апробированы интерактивные многопараметрические модели, описывающие закономерности их работы и позволяющие оценить работоспособность и эффективность технических решений на стадии проектирования высокотемпературных ГГИИ.

2. Разработана и апробирована интерактивная многопараметрическая модель производственного помещения, описывающая закономерности формирования воздушно-теплого режима при работе высокотемпературных ГГИИ.

3. Установлены зависимости, описывающие распределение плотности теплового потока и температурных полей в объеме производственного помещения при различной тепловой мощности высокотемпературных ГГИИ и их высоты подвеса.

4. Составлены уравнения теплового баланса высокотемпературных ГГИИ, учитывающие движение продуктов сгорания и тепломассообмен с их участием.

5. Предложены новые технические решения высокотемпературных ГГИИ, позволяющие повысить их коэффициент полезного действия и исключить образование циркуляционной области горячего воздуха в верхней зоне отапливаемого помещения за счет частичной рекуперации тепла уходящих газов и сокращения тепловых потерь.

6. На основе натурного и математического имитационного моделирования процессов горения и тепломассообмена при работе высокотемпературных ГГИИ получены:

- расчетная зависимость, описывающая распределение температуры по высоте перфорированного керамического насадка современной высокотемпературной ГГИИ;

- зависимость диаметра теплового пятна под ГГИИ от её мощности, позволяющая определять оптимальное расстояние между излучателями и, как следствие, создать равномерную облученность в помещении;

- математические уравнения, описывающие распределение плотности теплового потока и температурных полей в объеме производственного помещения при различной тепловой мощности высокотемпературных ГГИИ (5, 10, 15, 20, 30, 40 кВт) и их высоты подвеса (4-10 метра);

- оптимальные высоты подвеса высокотемпературных ГГИИ в объеме помещения;

- зависимости, описывающие формируемый в зоне над высокотемпературными ГГИИ тепловой режим от времени, тепловой мощности и конструктивного решения излучателя.

7. Предложена и апробирована методика проектирования высокотемпературных ГГИИ, позволяющая повысить эффективность работы системы ГИО за счет определения её эффективной тепловой мощности и подбора рациональных решений по размещению излучателей в помещении.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы гарантирована достаточной их обоснованностью; корректностью сделанных допущений; применением апробированных математических моделей, лицензионных программных продуктов, сертифицированного и поверенного измерительного оборудования; сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований между собой и с результатами других исследователей.

Основным аргументом при обосновании достоверности результатов исследований А.Н. Ермолаева является их практическое использование при конструировании и проектировании реальных систем газового лучистого отопления.

Значимость результатов, полученных в диссертации

Научная значимость результатов связана с решением актуальной проблемы совершенствования высокотемпературных ГГИИ и разработкой методики их проектирования для энергоэффективного отопления производственных зданий. Несомненная ценность рассматриваемой работы заключается в развитии научной базы в области газового лучистого отопления. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили автору разработать интерактивную математическую модель ГИО производственного помещения, отли-

чающуюся от известных аналогов описанием совместно протекающих химических реакций в камере сгорания излучателя и учетом турбулентности при расчете радиационно-конвективного теплообмена. Разработанная модель позволила оценить поведение инженерных решений излучателей в реальных условиях их эксплуатации, провести предэксплуатационную проверку работоспособности и эффективности основных технических решений с меньшими трудозатратами и капиталовложениями. При анализе микроклимата производственных объектов подходы, аналогичные предложенному, ранее не применялись.

Достоинством научного труда является большой объем выполненных численных и экспериментальных исследований, в результате чего установлены закономерности тепломассопереноса в производственном помещении, отапливаемом системами ГИО.

Новаторские идеи и научный вклад автора в методику проектирования высокотемпературных ГГИИ позволяют повысить эффективность и надежность систем газового лучистого отопления производственных зданий. Методика проектирования высокотемпературных излучателей апробирована при реконструкции системы газолучистого отопления производственного помещения территориальной фирмы «Мостоотряд-36» АО «Мостострой-11» и внедрена компанией АО «Сибшванк». Суммарный расчетный экономический эффект от внедрения составил более 1 500 тыс. руб. в ценах 2017 года.

Таким образом, полученные автором результаты имеют практическую значимость для проектных и эксплуатирующих организаций при проектировании ГГИИ, проектировании и эксплуатации систем ГИО.

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертационная работа изложена на 191 странице и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и четырех приложений. Список использованной литературы включает 152 источника, иллюстрационный материал содержит 62 рисунка, в тексте имеются 17 таблиц.

Структура работы согласуется с целями и задачами диссертационного исследования.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформированы её цель и основные задачи, научная новизна и практическая значимость, приведены сведения об апробации работы и положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен комплексный анализ современного состояния систем газового лучистого отопления, в том числе выполнен обзор научных исследований, современных конструкций ГГИИ и существующих методов проектирования систем ГИО.

Во второй главе представлены результаты расчета эффективности предлагаемых автором технических решений (изолированной и усовершенствованной моделей) и типовых моделей высокотемпературных ГГИИ по составленным уравнениям их теплового баланса, а также предложена принципиальная схема рекуперации тепла продуктов сгорания в системе ГИО.

В третьей главе представлены результаты разработки и апробации интерактивных многопараметрических моделей высокотемпературных излучателей и системы ГИО производственного помещения в целом. Для разработки рекомендаций по использованию предложенных моделей на практике автор проводит численное исследование тепломассообмена и горения при работе высокотемпературных ГГИИ (рассмотрено 126 имеющих значение для теории и практики компоновок систем ГИО).

В четвертой главе подробно описаны порядок выполнения и результаты проведенных автором экспериментальных исследований с последующей математической обработкой полученных данных.

В пятой главе описана предложенная методика проектирования высокотемпературных ГГИИ и представлены данные её апробации с расчетом экономической эффективности. Определена экономическая эффективность излучателя изолированной модели и приведены данные его практического внедрения.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертации, которые логично обобщают проведенные автором теоретические и экспериментальные исследования.

В приложениях представлены патент РФ на полезную модель, результаты численных и экспериментальных исследований, документы, подтверждающие практическое использование полученных в работе результатов. В диссертации имеются необходимые ссылки на авторов и используемые материалы.

Замечания по диссертационной работе

1. Из расчета эффективности высокотемпературных ГГИИ типовой, изолированной и усовершенствованной моделей, результаты которого представлены в таблице 2.1 главы 2 диссертационной работы, не совсем понятно какая принята температура продуктов сгорания на выходе из излучающего насадка и на выходе из области, ограниченной рефлектором. Как была определена температура продуктов сгорания? И почему с ростом тепловой мощности типовой модели излучателя увеличивается его КПД?

2. В разделе 3.3 главы 3 при задании граничных условий имитационного математического моделирования автор отмечает, что воздухообмен в цеху обеспечивается работой систем общеобменной вентиляции, предусматриваю-

щей подачу воздуха в нижней части помещения, а забор воздуха – в верхней зоне. Массовый расход воздуха через вентиляционные отверстия, определяется из объема помещения и необходимой кратности воздухообмена. Какой конкретно массовый расход воздуха принят при моделировании? С какой температурой подается воздух в производственное помещение?

3. На этапе подбора математической модели турбулентности, отмечается, что принятая в работе стандартная k - ϵ модель турбулентности недостаточно корректно моделирует течения около ограждающих поверхностей. Как в работе учитывается данная погрешность?

4. На графиках 4.4, 4.6, 4.9, 4.11, 4.14, 4.16, 4.19, 4.21, 4.23, 4.25 представлены зависимости, описывающие распределение температур над высоко-температурными излучателями во времени от номера датчика. Корректнее по оси абсцисс было бы представить расстояние в миллиметрах.

5. Считаю, что также следовало бы при расчете экономического эффекта провести сравнение систем ГЛЮ по предлагаемой автором методике с традиционными конвективными системами отопления.

6. Имеются отдельные редакционные замечания по тексту диссертации:

- нарушены общепринятые правила оформления формул и математических зависимостей (применение курсива при латинских символах и его отсутствие – на греческих и русских буквах и индексах);

- в работе имеются отдельные опечатки и синтаксические неточности, например, многочисленное отсутствие знаков препинания в конце предложений, заканчивающихся формулами и математическими зависимостями;

- отсутствует единообразие при оформлении библиографического списка, например № 22 и № 64.

Хотелось бы отметить, что указанные замечания и недостатки не снижают новизну и достоверность проведенных автором теоретических и экспериментальных исследований, а также общего положительного впечатления от рецензируемой работы.

Диссертация написана грамотным техническим языком, имеет четкую логическую структуру; автореферат полностью отражает основные научные положения, результаты и выводы диссертационного исследования.

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Ермолаева Антона Николаевича «Повышение эффективности работы систем газового инфракрасного обогрева производственных зданий», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, конди-

ционирование воздуха, газоснабжение и освещение, выполнена на высоком научном уровне и является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся научно-обоснованные решения актуальных задач, имеющих значение для развития теории и практики конструирования, проектирования и эксплуатации систем газового лучистого отопления.

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.23.03 – Тепло-снабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (отрасль науки – технические), а также требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Считаю, что Антон Николаевич Ермолаев **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – Тепло-снабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
научная специальность 05.23.03 – Тепло-
снабжение, вентиляция, кондиционирование
воздуха, газоснабжение и освещение,
профессор кафедры отопления и вентиляции
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего обра-
зования «Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет»

Адрес: 603950, Россия, г. Нижний Новгород,
ул. Ильинская, д.65.
Тел.: 8 (831) 430-54-85, 89103801189
E-mail: tes84@inbox.ru
Сайт: <http://www.nngasu.ru>

Подпись профессора, д.т.н. М.В. Бодрова **заверяю**.
Проректор по научной работе НИГАСУ



Бодров Михаил Валерьевич
«18» апреля 2018 г.

И.С. Соболев