

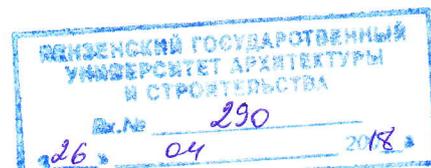
ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию 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

Актуальность темы диссертационного исследования обусловлена предпринимаемыми Правительством РФ усилиями в области энергосбережения по повышению энергоэффективности на предприятиях российской промышленности.

В настоящее время ввиду роста тарифов на энергоресурсы одной из основных задач в обеспечении теплом производственных зданий является снижение энергозатрат. В современных условиях экономически неэффективно использовать большие по площадям и объемам производственные помещения с локально расположенными рабочими зонами в условиях работы традиционных систем конвективного отопления всего объекта. В подавляющем большинстве случаев, как показывают результаты проведенных в последние пять лет экспериментальных и теоретических исследований, достаточно обеспечить тепловой режим рабочих мест персонала, которые по площади часто занимают менее 10 % общей площади цеха или мастерских. Важность решения сформулированной проблемы обусловлена глобальной тенденцией перехода к энергосберегающим и, соответственно, энергоэффективным системам отопления производственных помещений на большей части территории РФ. Использование систем лучистого нагрева является, в этой связи, практически единственным способом решения задач перехода к ресурсоэффективной энергетике в теплоснабжении в условиях как современного производства в РФ, так и в среднесрочной (10-15 лет) перспективе.

Рассмотренные в диссертации системы газового лучистого обогрева на практике действительно позволяют добиться экономии энергетических ресурсов при обогреве производственных зданий. Однако ввиду отсутствия научной проработки методов проектирования систем лучистого отопления в ряде случаев выбирается необоснованно мощность и компоновка излучателей. В таких случаях, помимо повышенных капитальных и эксплуатационных затрат на систему отопления, нередко происходит нарушение ряда требований, в частности – эксплуатации ограждающих конструкций. Для разрешения этих проблем необходима разработка как технических решений, направленных на повышение эффективности работы существующих газовых инфракрасных



излучателей (ГИИ), так и методики проектирования систем газового инфракрасного обогрева.

В связи с этим, диссертация А.Н. Ермолаева, целью которой является повышение эффективности работы высокотемпературных газовых горелок инфракрасного излучения за счет сокращения их тепловых потерь при обеспечении теплового режима в объекте производственного помещения, безусловно актуальна. Тематика диссертации согласуется с государственной программой РФ «Энергосбережение и повышение энергоэффективности на период до 2020 года» (распоряжение Правительства РФ № 2446-р от 27.12.2010).

По основным отличительным признакам (цели, задачам, методам исследования, защищаемым положениям, основным полученным результатам, своей практической направленности) диссертация А.Н. Ермолаева соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика».

Общая характеристика работы.

Диссертация Ермолаева А.Н. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (152 наименования) и 4 приложений. Общий объем диссертации составляет 191 страницу (62 рисунка, 17 таблиц).

Во введении автор обосновывал актуальность темы своего диссертационного исследования; сформулировал цель и задачи, основные положения выносимые на защиту, практическую значимость; выделил основные аспекты использовавшихся им методологии и методов исследований.

В первой главе диссертации автор приводит анализ актуальных научных исследований по применению газовых инфракрасных излучателей для обогрева производственных зданий. В обзоре рассмотрены на разных уровнях детализации:

оценка эффективности применения ГИИ как по тепловым характеристикам, так и по санитарно-гигиеническим аспектам; методики расчета температурного режима помещений; классификация и конструктивные особенности ГИИ; технические решения и способы повышения энергетической эффективности излучателей; варианты определения тепловой мощности газолучистой системы отопления. На основе проведенного обзора автором диссертации сделан вывод о необходимости выполнения ряда теоретических и экспериментальных исследований, ориентированных на повышение эффективности работы ГИИ.

Во второй главе предложены новые технические решения для системы рекуперации тепла в высокотемпературных газовых инфракрасных излучателях, позволяющие повысить коэффициент полезного действия всей системы газового инфракрасного обогрева. Сформулирована математическая модель на основе уравнений теплового баланса для высокотемпературного ГИИ. По результатам решения системы уравнений обоснована эффективность предлагаемых автором технических решений в сравнении с существующими типовыми ГИИ.

Третья глава посвящена численному исследованию параметров микроклимата путем имитационного моделирования процессов теплопереноса в производственном здании (цехе), оснащенном системой газового инфракрасного обогрева. Представлены результаты вариативного анализа рассматриваемой модели, полученные с учетом условий, имеющих важное значение для практики (высота подвеса излучателей, их количество, мощность и конструктивные особенности ГИИ). Проведена верификация экспериментальных данных с результатами моделирования. Рассмотрены различные модели турбулентности при расчете процессов теплопереноса. Установлено, что влияние исполнения рефлектора на химические процессы горения является незначительным, поскольку достигнуты равные массовые доли продуктов сгорания в уходящих газах для всех изученных вариантов. В качестве одного из главных факторов, влияющих на микроклимат в рабочей зоне, автором обоснованно выделена температура поверхности пола, для которой в работе получена функциональная зависимость от высоты подвеса и мощности ГИИ. Определен оптимальный шаг установки для всех выпускаемых ГИИ, при котором в рабочей зоне регистрируются наиболее равномерные лучистые тепловые потоки. Установлено, что теплоизоляция наружной поверхности конструкции излучателя снижает среднюю температуру в верхней зоне отапливаемого помещения и увеличивает интенсивность теплового потока в рабочую зону, и, в результате, позволяет повысить эффективность работы ГИИ и системы газового лучистого отопления в целом.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований как высокотемпературных ГИИ типовой модели, так и предложенных во второй главе технических решений. Испытания проводились на специально сконструированном в производственных условиях стенде. Получены зависимости параметров теплового режима в зоне ГИИ от времени, тепловой мощности и конструктивного решения излучателя. Автором диссертации исследована работа действующих систем газового инфракрасного обогрева в четырех производственных помещениях и получены

характеристики процесса, описывающие тепловой режим зданий, фактическое состояние параметров микроклимата и температур поверхностей ограждающих конструкций.

В пятой главе представлены научно-обоснованные рекомендации для практического применения ГИИ по результатам теоретических и экспериментальных исследований. Автором диссертации приведена новая методика проектирования систем газового инфракрасного обогрева. Для апробации разработанной методики автор выполнил проектирование системы газового инфракрасного обогрева производственного цеха с последующей экономической оценкой энергозатрат на обеспечение его теплового режима. Результаты приведенных в пятой главе расчетов свидетельствуют о том, что разработанный метод проектирования систем газового инфракрасного обогрева позволяет увеличить энергосберегающий эффект от их применения при соблюдении всех условий теплового комфорта. Кроме того, автор расчетным путём дополнительно подтверждает экономическую эффективность предложенных во второй главе технических решений.

В заключении сформулированы основные полученные при выполнении диссертационного исследования результаты и проведено их обобщение. Сделанные выводы полностью отвечают на поставленные задачи, в полной мере отражают научную новизну, теоретическую и практическую значимость работы.

В приложениях приведены результаты численных и экспериментальных исследований, копия патента на полезную модель, акты об использовании результатов диссертационной работы профильными предприятиями.

Общая методология и методика исследования.

Методики исследования, применяемые автором диссертации, представляют собой совокупность теоретического и экспериментального подходов к изучению процессов теплопереноса в производственном здании (цехе), оснащённом системой газового инфракрасного обогрева.

Построение имитационной модели выполнялось на основе полученных эмпирических данных о работе систем газового инфракрасного обогрева производственных зданий. В качестве инструмента исследования применена система конечно-элементного анализа Ansys Multiphysics, её решатель FLUENT, кинетическая модель диффузионного горения, k-ε модель турбулентного течения газовой среды и DO-модель лучистого теплообмена. Экспериментальные исследования представляли собой ряд стендовых испытаний и натурных исследований систем газового инфракрасного обогрева

производственных зданий с применением сертифицированной приборной аппаратуры.

Научная новизна полученных результатов.

Научная новизна результатов диссертационной работы состоит в получении новых зависимостей, описывающих распределение плотности теплового потока и температурных полей в производственных зданиях, отапливаемых системами газового инфракрасного обогрева; создании на этой основе многопараметрической математической модели газового лучистого отопления производственного помещения и методики проектирования таких систем; разработке новых технических решений излучателей для частичной рекуперации уходящих газов и снижении тепловых потерь; показаны возможности повышения коэффициента полезного действия систем газового инфракрасного обогрева и исключения циркуляционной области горячего воздуха в верхней зоне отапливаемого помещения. К наиболее значимым результатам исследований следует отнести и то, что применение теплоизоляционных материалов корпуса излучателя позволяет снизить капитальные и эксплуатационные затраты на систему газового инфракрасного обогрева за счет уменьшения тепловой мощности системы на 10 % при поддержании требуемых параметров микроклимата в помещении.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендации, сформулированных в диссертации.

Степень обоснованности научных положений диссертанта обеспечивается глубиной и тщательностью теоретических и экспериментальных исследований. Автором предложены следующие решения, подчеркивающие научную новизну и выносимые на защиту:

1. Новые технические решения, позволяющие повысить коэффициент полезного действия систем газового инфракрасного обогрева и исключить образование циркуляционной области горячего воздуха в верхней зоне отапливаемого помещения за счет частичной рекуперации тепла уходящих газов и сокращения тепловых потерь.

2. Уравнения теплового баланса высокотемпературных ГИИ, учитывающие движение продуктов сгорания и тепломассообмен с их участием.

3. Многопараметрическая модель производственного помещения, описывающая закономерности формирования воздушно-теплового режима при работе высокотемпературных систем газового инфракрасного обогрева.

4. Зависимости, описывающие распределение плотности теплового потока и температуры газов в производственном помещении при различной тепловой мощности ГИИ и высоты их подвеса.

5. Методика проектирования высокотемпературных систем газового инфракрасного обогрева.

На основании анализа содержания диссертации А.Н. Ермолаева есть все основания для вывода о научной значимости рецензируемой диссертации.

Достоверность результатов диссертационного исследования А.Н. Ермолаева обеспечивается использованием сертифицированного поверенного измерительного оборудования; использованием лицензионных программных продуктов; использованием фундаментальных законов при численных исследованиях и применением апробированных математических моделей; согласованием результатов численных и экспериментальных исследований; согласованием результатов исследований автора с данными других исследователей.

Для верификации инструмента исследования автором проведен вычислительный эксперимент, воспроизводящий реальные условия работы исследуемого экспериментального стенда с хорошей достоверностью. Кроме того, чтобы найти минимально необходимую расчетную сетку для получения качественного расчета Ермолаев А.Н. провел пробные расчеты с использованием сеток с разной топологией и числом ячеек.

Практическая значимость.

Основные практические результаты работы заключаются в том, что новые теоретические и технологические решения позволили повысить коэффициент полезного действия систем газового инфракрасного обогрева. Предложенные технические решения являются новыми и пригодны к практической реализации при обогреве крупногабаритных помещений. Техническая новизна подтверждена патентом РФ.

Существенный интерес для практики при этом представляют разработанная интерактивная модель производственного помещения с ГИИ, рекомендации по оптимальной высоте подвеса и шагу расстановки излучателей, и предложенная на их основе методика проектирования систем газового инфракрасного отопления. Также, стоит отметить проведенную автором количественную оценку тепловых потерь ГИИ и уточнение значения коэффициента полезного действия на базе анализа распределения температур газовой среды в области, ограниченной рефлектором и на его поверхности.

Апробация работы и реализация её результатов

По теме диссертации автором опубликованы 13 научных работ, в том числе 5 статей в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Министерстве образования и науки РФ для опубликования основных результатов диссертаций, 2 статьи, индексируемых наукометрической базой Scopus, а также получен патент РФ на полезную модель.

Результаты выполненных исследований использованы территориальной фирмой «Мостоотряд-36» и компанией АО «Сибшванк», о чем в приложениях к диссертации имеются соответствующие документальные подтверждения. Результаты исследований имеют важное значение для развития систем газового инфракрасного обогрева и могут быть положены в основу последующих научных изысканий в данной области.

Замечания по диссертационной работе

1. В рукописи диссертации введено слишком много сокращений, обозначающих одно и то же (например: ГИГ и ГГИИ, ГИО и ГЛО).
2. В третьей главе автор прогнозирует наличие турбулентности по величине Рейнольдса (формула 3.9), но не указывает значения величин таких как характерный размер и скорость, на основе которых им были получены значения этого критерия.
3. В главе, посвященной численному исследованию тепломассообмена и горения при работе высокотемпературных газовых инфракрасных излучателей, приведены уравнения в общем виде, взятые из источника [128] 1974 года. Желательно было представить уравнения и значения коэффициентов из литературы к программному пакету, используемому при вычислениях.
4. При выборе модели турбулентности автор сравнивает модели $k-\varepsilon$ и $k-\omega$ с экспериментальными данными, но приводит уравнения только для одной из них. Кроме того, автор почему-то не указал граничные условия, которые он использовал при решении $k-\varepsilon$ модели.
5. При верификации модели в п. 3.5 автором проводится сравнение различных численных моделей с экспериментом в сечении, расположенном на расстоянии 200 мм над корпусом ГИИ, но не приводит обоснование выбора этого расстояния. Представляется более целесообразным сравнительный анализ в нескольких сечениях для выбора основной расчетной модели турбулентности.
6. Рис. 2.4 неправильно подписан «зависимость коэффициента теплопередачи от тепловой мощности ГИИ», хотя на самом рисунке

приводится зависимость коэффициента теплопередачи от температурного напора. Кроме того, восприятие рисунка затрудняется тем, что он не сопровождается комментариями.

7. Зависимости рис. 2.5 сложны для восприятия, т.к. разным значениям теплосъема соответствуют близкие по цвету кривые. Кривые на рис. 4.6, 4.9, 4.11, 4.14, 4.16, 4.19, 4.21, 4.24, 4.25 также сложно воспринимать из-за того, что близким по цвету кривым соответствуют разные моменты времени.

8. Следовало бы обосновать применение термина «адаптационное исследование» (см. стр. 73) для эмпирического исследования применимости моделей турбулентности, т.к. он обычно характеризует пробные расчеты для выбора параметров дискретизации расчетной области.

Сделанные замечания не являются доминирующими и не снижают научную и практическую значимость проведенных исследований.

Автореферат диссертации соответствует рукописи. Материалы диссертационного исследования А.Н. Ермолаева хорошо опубликованы в научных периодических изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации материалов кандидатских диссертаций, хорошо апробированы на международных и всероссийских конференциях.

Диссертация А.Н. Ермолаева по своей цели, задачам, методам исследования, основным полученным результатам, защищаемым положениям, соответствует специальности 05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Общее заключение по диссертации

Приведенные замечания в целом не влияют на общую положительную оценку работы и не снижают научную и практическую значимость проведенных исследований. Диссертация Ермолаева Антона Николаевича представляет собой завершённую самостоятельную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком профессиональном уровне. Работа имеет логическое построение, целостность изложения, соответствует паспорту специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, её формуле и области исследований.

Работа А.Н. Ермолаева представляет собой теоретическую и экспериментальную проработку процессов теплообмена и горения при работе систем газового инфракрасного отопления в производственных зданиях, направленную на повышение энергоэффективности и снижение капитальных и эксплуатационных затрат. Новые технические решения, предложенные в диссертации Ермолаева А.Н., в достаточной мере аргументированы и

направлены на решение актуальных задач, имеющих значение для развития страны.

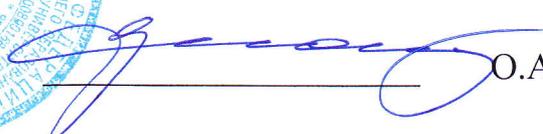
Считаю, что диссертация по своей актуальности, новизне, научной и практической значимости результатов соответствует требованиям п. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а её автор, Ермолаев Антон Николаевич, достоин присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Официальный оппонент, кандидат технических наук по специальностям 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты», 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника», доцент научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Нагорнова Татьяна Александровна


«16» апреля 2018 г.

Подпись Т.А. Нагорновой удостоверяю:
Ученый секретарь Национального исследовательского Томского политехнического университета




О.А. Ананьева

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Адрес: 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Контактная информация:

Телефон: +7 (3822) 60-63-33, факс +7 (3822) 56-38-65. Электронная почта: tpu@tpu.ru. Сайт организации: <https://tpu.ru>