

ОТЗЫВ

**официального оппонента о диссертации Слесаревой Екатерины Юрьевны
«Экспериментальное исследование теплообмена при вынужденном течении газов в
каналах сложной формы» по специальности 01.04.14 - теплофизика и теоретическая
теплотехника на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью совершенствования гидродинамики течений и теплообмена в мини- и микро каналах и не вызывает сомнений. Теплообменное оборудование на их основе позволяет получить высокие значения коэффициентов теплоотдачи. Гидродинамика и теплообмен в таких аппаратах являются неустановившимися, а именно, в ламинарных и турбулентных течениях одновременно происходит формирование теплового и гидродинамического пограничных слоев, что требует применения специальных методов расчета и экспериментальных методик для их проверки. В атомной, химической и других областях промышленности применяются рекуперативные аппараты, где газовый поток движется внутри мини каналов призматической формы, для течения и теплообмена которых требуются специальные методы расчета, требующие экспериментальной проверки. С учетом малых размеров проходных каналов обычные методы экспериментального исследования для этого малоприменимы. Бесконтактные методы экспериментального исследования с применением тепловизионной техники позволяют получить большие массивы данных по локальным температурам поверхностей нагрева. Этот метод получил развитие при измерении температурного поля газового потока на выходе камеры сгорания, для исследования профиля температуры в пограничном слое газового потока, омывающего исследуемое твердое тело, а также в других приложениях. Для разработки специальных энергетических технологий рассматривается вопрос о применении газовых смесей с низкими значениями чисел Прандтля ($0,1 < Pr < 0,7$), для которых методы расчета гидродинамики и теплообмена ещё не получили должного развития. Решению этих проблем посвящают свои исследования ученые всех промышленно развитых стран. Экспериментальная проверка результатов теоретических решений для таких смесей является также крайне актуальной.

Автор достаточно ясно и корректно сформулировал цель диссертационной работы, а также задачи исследований.

Новизна исследований и полученных результатов заключается в развитии бесконтактных методов экспериментального исследования с применением тепловизионной техники теплообменных аппаратов и газовых реакторов со сложной внутренней структурой теплообменной поверхности. Эти методы получили развитие при измерении температурного поля газового потока на выходе из камер сгорания, для исследования профилей температур в Пограничном слое газового потока, омывающего твердое тело, а также в других приложениях.

Научная новизна работы изложена в следующих положениях:

1. Модифицирован и апробирован панорамный тепловизионный метод определения температуры газовых и парокапельных потоков непосредственно на выходе из одиночных каналов сложной формы поперечного сечения и канальной сборки, позволяющий проводить исследование эффективности теплообмена в рекуперативных аппаратах, газовых реакторах, стержневых тепловыделяющих сборках и других перспективных теплообменных аппаратах.

2. Впервые получены опытные данные по теплообмену и Гидравлическому сопротивлению для воздуха в одиночном коротком канале квазитреугольного поперечного сечения при постоянной температуре стенки с использованием разработанного метода.

3. Получена обобщающая зависимость для теплообмена газовых смесей, имеющих $Pr = 0,2-0,7$ для каналов круглой и треугольной формы.

Новизну полученных результатов подтверждает их сравнение с опубликованными исследованиями в этой области в России и за рубежом.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием основных положений термодинамики, механики жидкости и газа. Научная новизна, выводы и рекомендации представляются обоснованными, подтверждаются применением современного высокоточного измерительного оборудования, использованием апробированных методов измерения, проведением специальной серии поверочных опытов по верификации методики исследования, выполненным анализом точности измерений, сопоставлением полученных результатов (в сходных условиях) с результатами аналитических и численных исследований других авторов, хорошим соответствием результатов, полученных прямыми контактными и дистанционными методами измерения локальных температур газовых потоков. Объективности результатов также способствует используемые в работе современные методы обработки данных с помощью специализированных программ на ЭВМ.

Значимость для науки полученных результатов заключается в создании научно обоснованной методики обработки термограмм для поперечных профилей температуры газового потока на выходе из каналов сложной формы, характерных для современных канальных теплообменных аппаратов. Апробация панорамного метода проведена при экспериментальной оценке эффективности процессов теплообмена в каналах круглого, квазитреугольного поперечного сечения, а также стержневых сборках, в том числе для определения в парогазовых потоках капель влаги. Результаты исследований вносят значительный вклад в развитие теории теплообменного оборудования и практику их проектирования.

Значимость для практики полученных результатов выражается в повышении надёжности и точности при разработке высокоэффективных миниканальных газовых теплообменных аппаратов, сборок со сложной внутренней структурой теплообменных поверхностей. В работе представлен разработанный и усовершенствованный панорамный тепловизионный метод определения температурных характеристик газовых потоков на выходе из одиночных каналов и сборок для экспериментального исследования процессов теплообмена в стационарных и нестационарных режимах работы миниканальных рекуперативных теплообменных аппаратов, тепловыделяющих стержневых сборок со сложной пространственной структурой теплообменных поверхностей. Метод модифицирован и адаптирован к задачам данного исследования, защищен Патентом РФ. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс.

Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение, список условных обозначений, список использованных источников из 119 наименований и два приложения, изложенных на 154 страницах (включая 91 рисунок и 15 таблиц).

Во введении автором диссертации обоснованы актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлена структура и объем диссертационного исследования.

В первой главе выполнен анализ существующих теоретических и экспериментальных работ по гидродинамике и теплообмену газовых потоков в каналах различной формы и сборках. Глава хорошо структурирована и завершается логически обоснованной постановкой задач диссертационного исследования.

Во второй главе приведено подробное описание разработанных автором экспериментальных установок и методик для исследования теплообмена при вынужденном течении воздуха в каналах различного поперечного сечения для граничных условий на стенках каналов $q_{ст} = \text{const}$ и $T_{ст} = \text{const}$. Представлен запатентованный автором панорамный тепловизионный метод исследования газовых потоков, обеспечивающий локальное определение температур газового потока в отдельных каналах и сборках каналов. Представлена методика обработки экспериментальных данных, полученных с помощью тепловизионной аппаратуры. Приводится оценка погрешности измерений и тарировка тепловых потерь.

В третьей главе представлены результаты экспериментального исследования теплообмена в каналах различной формы поперечного сечения при граничных условиях $q_{ст} = \text{const}$ и $T_{ст} = \text{const}$, а также результаты экспериментального исследования нестационарных режимов теплообмена в стержневой тепловыделяющей сборке. Проведено сравнение полученных экспериментальных данных по теплообмену в каналах с известными теоретическими зависимостями и опытными данными других авторов. Показано, что панорамный тепловизионный метод является эффективным инструментом для определения тепловых характеристик многоканальных теплообменников с газовым теплоносителем в стационарных и нестационарных условиях.

В четвертой главе представлены результаты анализа данных по теплообмену и трению в каналах круглого и треугольного поперечного сечений при течении смесей газов с малыми числами Прандтля. На основе, предложенной обобщающей зависимости, разработана методика определения теплогидравлической эффективности канального теплообменника в зависимости от состава газовой смеси и формы поперечного сечения канала.

В заключении представлены основные выводы по работе диссертанта.

Материал диссертации изложен технически грамотным языком. Стиль автора отличает ясность формулировок, логичность расположения материалов, умение автора точно излагать научные результаты. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы. Диссертация написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена.

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 16 работах, в том числе в четырех статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов диссертаций.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Замечания:

1. Неясно, каким образом отразится пространственное расположение сетки теплоприемника относительно движущегося потока на исследуемые течения газов в каналах призматической формы.

2. В автореферате не приведен алгоритм определения средних значений критерия Нуссельта на основе термограмм, полученных с помощью тепловизионной методики.

3. Требуется дополнительное пояснение использованный в названии и тексте диссертации термин «сложный канал». Имеется ввиду поперечное сечение канала или продольное?

4. В автореферате не приведена в критериальном виде зависимость числа Nu от числа Re для нестационарных режимов теплообмена при обтекании воздухом сборки цилиндрических тепловыделяющих элементов.

5. Имеется ряд замечаний по оформлению работы:

- на стр. 138 диссертации не расшифрованы формулы для безразмерных критериев, используемых в работе;
- в автореферате не приведено определение термина «призматический канал»;
- приведенные в автореферате термограммы на рисунках 6 и 8 не имеют подробной расшифровки элементов.

Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки результатов работы, которая выполнена на высоком экспериментальном уровне с применением запатентованной автором методики исследования.

Общее заключение по диссертации

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Е.Ю. Слесаревой посвящена исследованиям в области теплообмена при вынужденном течении газов в каналах сложной формы, соответствует паспорту специальности 01.04.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника, имеет внутреннее единство и является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных лично автором исследований, обладающих научной новизной, содержится решение задачи совершенствования гидродинамики течений и теплообмена в мини- и микро каналах теплообменного оборудования, имеющей существенное значение для теории и практики в атомной, химической и других отраслях промышленности при разработке и проектировании тепломассообменного оборудования различного назначения.

Диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор, Екатерина Юрьевна Слесарева, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника.

**Официальный оппонент,
Зав. кафедрой «Теплотехника и гидрогазодинамика»,
Почетный работник науки и техники РФ,
д-р техн. наук, профессор**

Владимир Алексеевич Кулагин

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79/10,
Тел. 8 902 991 8927; E-mail: v.a.kulagin@mail.ru

30.08.2017 г.

*Поступила в совет 05.09.17
4ч секр ДС Юриш / Кулагин В
С отзывами ознакомлена 05.09.17.
Евкоф / Слесарева ЕЮ.*

4

ФГАОУ ВО СОУ
Подпись В.А. Кулагина заверяю
Начальник общего отдела Д.И. Иванова
* 30 * 08 2017г.