

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования



КГЭУ

«КАЗАНСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

ПРОРЕКТОР  
ПО НАУЧНОЙ РАБОТЕ

Красносельская ул., д. 51, Казань, 420066  
тел./факс (8-843) 519-43-55, 527-92-54

E-mail: kgeu@kgeu.ru

30.08.2017 № 103/292

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

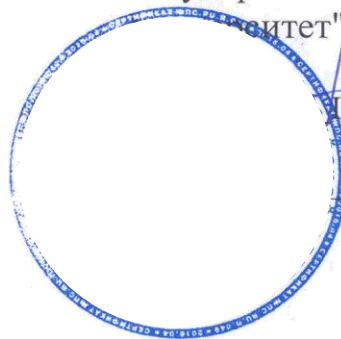
«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО "Казанский  
государственный энергетический  
университет", канд. т. наук

Шамсутдинов Э.В.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации о научно-практической ценности диссертационной работе Слесаревой Екатерины Юрьевны «Экспериментальное исследование теплообмена при вынужденном течении газов в каналах сложной формы», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника

На отзыв представлена диссертация, состоящая из введения, четырех глав, заключения, списка условных обозначений, списка использованных источников и приложения. Общий объем диссертационной работы составляет 154 страницы, включая 91 рисунок, 15 таблиц, 2 приложения. Список используемых источников включает 119 наименований.

### 1. Актуальность избранной темы

Компактные рекуперативные газовые теплообменные аппараты, химические реакторы и стержневые тепловыделяющие сборки играют большую роль в различных отраслях промышленности. При работе такого оборудования имеют место большие потоки тепла, поэтому вопросы оптимизации и повышения эффективности теплообменных элементов в этих устройствах за счет

интенсификации теплообмена является одним из актуальных направлений современной теплофизики и теплотехники. Сложные конструкции теплообменной поверхности в современных аппаратах, условия неустановившегося гидродинамического режима течения, создают значительные сложности для расчета теплогидравлических характеристик таких аппаратов. Использование в качестве теплоносителей в перспективных энергетических установках смесей газов, имеющих низкие значения чисел Прандтля, требует применения специальных методов расчетов оборудования, достоверность которых подлежит дополнительной экспериментальной верификации. В данной диссертации была проведена серия экспериментов определения температурных параметров газового потока в каналах сложной формы в стационарных и нестационарных условиях работы теплообменных устройств. При выполнении исследований в качестве дополнения к традиционным методам измерения поля температур использовался усовершенствованный панорамный тепловизионный метод. В результате в диссертационной работе получены экспериментальные данные по теплообмену газов в коротком канале квазитреугольного поперечного сечения при постоянной температуре стенки канала, в каналах квазитреугольного поперечного сечения сборки тепловыделяющих элементов при нестационарных режимах и проведено обобщение данных по теплообмену газовых смесей с различными значениями числа Прандтля от 0,7 до 0,2 в коротких одиночных каналах круглой и треугольной форм. Поэтому, работа Слесаревой Екатерины Юрьевны является несомненно, актуальной и имеет теоретическое и большое прикладное значение.

## **2. Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства**

Диссертационная работа выполнена в рамках приоритетного направления развития науки, техники и технологий в Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» (утвержден президентом РФ от 07 июля 2011 г. № 899) и соответствует списку критических технологий: «Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии» (утвержден президентом РФ от

07 июля 2011 г. № 987).

### **3. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Использован модифицированный панорамный тепловизионный метод определения температуры газовых и паракапельных потоков на выходе из одиночных каналов сложной формы поперечного сечения и канальной сборки тепловыделяющих стержней. Метод позволяет проводить исследование эффективности теплообмена в рекуперативных аппаратах, газовых реакторах, стержневых тепловыделяющих сборках и других перспективных теплообменных аппаратах.

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.

Получена обобщающая зависимость для теплообмена газовых смесей со значением чисел  $Pr = 0,2 \div 0,7$  для каналов круглой и треугольной формы.

Новизна полученных результатов подтверждается большим количеством публикаций, из которых 9 статей в рецензируемых изданиях, входящих в международную базу SCOPUS, что характеризуют высокий научный уровень исследований.

Наиболее значимыми являются:

- Результаты экспериментального исследования теплообмена воздуха в коротком канале квазитреугольного поперечного сечения при постоянной температуре стенки канала.

- Результаты экспериментального исследования теплообмена воздуха в каналах квазитреугольного поперечного сечения сборки тепловыделяющих элементов при нестационарных режимах.

- Результаты обобщения экспериментальных данных по теплообмену газовых смесей с  $Pr = 0,7 \div 0,2$  в коротких одиночных каналах круглой и треугольной форм.

#### **4. Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов**

Практическая значимость работы состоит в применении полученных результатов при разработке высокоэффективных миниканальных газовых теплообменных аппаратов и сборок со сложной внутренней структурой теплообменных поверхностей. На усовершенствованный панорамный тепловизионный метод определения температурных характеристик газовых потоков на выходе из одиночных каналов и сборок получен патент. Метод дополняет и расширяет возможности существующих методик, модифицирован и адаптирован к задачам данного исследования поперечных профилей температуры газового потока на выходе из каналов сложной формы, характерных для современных канальных теплообменных аппаратов. Практическая значимость диссертации Слесаревой Е.Ю. также определяется возможностью использования полученных результатов при подготовке лекционных курсов, учебных пособий по вопросам разработки эффективного теплообменного оборудования. Документы подтверждающие это положение имеются в приложении к диссертации.

#### **5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

Установленная в диссертационной работе возможность быстрого определения гидравлических разверок (геометрических расхождений проходных сечений от расчетных значений) в миниканальных аппаратах и реакторах по показаниям сеток-термограмм имеет большое практическое значение для обеспечения безаварийной работы высоконапряженных теплообменных аппаратов. Продувка аппаратов теплым газом позволяет уже на ранней стадии выявить уязвимые места конструкции и сделать необходимые выводы о допустимых режимах ее эксплуатации. Принципиально важно, что такие результаты можно получить в условиях нестационарного теплообмена. Результаты анализа теплообмена газовых смесей с  $Pr < 0,7$  важны для проверки расчетных кодов течений в многоканальных тепловыделяющих сборках,

имеющих сложную внутреннюю структуру теплообменной поверхности. Все эти результаты диссертационного исследования могут быть использованы при разработке специальной техники в Исследовательском центре имени М. В. Келдыша (ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»), а так же в проектных и научно-исследовательских отраслях.

Дальнейшее развитие положений диссертации в направлении разработки теплообменных аппаратов кондиционирования целесообразно продолжить в Производственно-конструкторском объединении «Теплообменник» (г. Нижний Новгород).

#### **6. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений**

Достоверность приведенных в диссертации и автореферате результатов исследований подтверждается применением современного высокоточного измерительного оборудования, проведением специальной серии поверочных опытов по верификации методики исследования, выполненным анализом точности измерений, сопоставлением полученных результатов с результатами аналитических и численных исследований других авторов, хорошим соответствием результатов, полученных прямыми контактными и дистанционными методами измерения локальных температур газовых потоков.

#### **7. Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению**

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

*В первой главе* выполнен анализ теоретических и экспериментальных работ различных авторов по гидродинамике и теплообмену газовых потоков в каналах различной формы и сборках. На основании этого анализа сформулированы задачи диссертационного исследования.

*Во второй главе* дано подробное описание экспериментальные установки для исследования теплообмена при граничном условии  $q_{ст} = \text{const}$  и  $T_{ст} = \text{const}$  при вынужденном течении газа в каналах различного поперечного сечения; экспериментальный стенд и методика измерений для изучения теплогидравлических характеристик смеси гелия с тяжелым газом при течении в каналах различного поперечного сечения. Представлен запатентованный панорамный тепловизионный метод исследования газовых потоков, обеспечивающий локальное определение температур газового потока в отдельных каналах, сборках каналов. Дана методика обработки экспериментальных данных, полученных с помощью тепловизионной аппаратуры. Сделана 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.

*В четвертой главе* описаны результаты анализа данных по теплообмену и трению в каналах круглого и треугольного поперечного сечения при течении смесей газов с малыми числами Прандтля. Проведена "экспресс"- оценка эффективности теплоносителя в каналах в зависимости от состава газовой смеси и формы канала.

Сформулированные в заключении выводы соответствуют поставленным задачам исследования.

## **8. Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат полностью отражает основные результаты, полученные в диссертации.

## **9. Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати**

Материалы диссертации достаточно полно представлены в 16 научных публикациях, в том числе, 4 научные статьи в журналах, входящих в перечень ведущих научных журналов ВАК, 5 научных статей в рецензируемых журналах; 6 публикаций в материалах конференций, получен 1 патент и прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях. В публикациях автора достаточно полно отражены основные положения диссертационного исследования.

## **10. Замечания к диссертационной работе**

Наряду с общей высокой оценкой диссертационного исследования можно сделать некоторые замечания и пожелания.

1) В работе автором не приведены данные численного расчета теплообмена в канале квазитреугольного поперечного сечения для сравнения с полученными экспериментальными результатами.

2) Из работы не ясно, как автором была учтена при обработке экспериментальных данных температура торможения.

3) Требуется уточнить, какая температура использовалась для определения осредненного значения числа Нуссельта - среднерасходная или среднеинтегральная.

4) В диссертации мало внимания уделено изучению теплообмена в нестационарных условиях. Эти процессы крайне важны для работы теплообменного оборудования, например, в системах кондиционирования авиационной техники, при запуске и останове газовых реакторов энергохимических технологий.

5) В работе не отмечена возможность применения гидродинамической аналогии Чилтона - Кольборна для исследованных процессов теплоотдачи.

Высказанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования, которое представляет собой самостоятельную и оригинальную работу.

## **11. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.**

В целом диссертация Е. Ю. Слесаревой «Экспериментальное исследование теплообмена при вынужденном течении газов в каналах сложной формы» является законченной научно-квалификационной работой, представленные в диссертации основные результаты отличаются научной новизной.

Таким образом, диссертация Слесаревой Екатерины Юрьевны является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи исследования характеристик теплообмена в каналах сложной геометрической формы, имеющей значение для развития теплофизики и теоретической теплотехники, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертационная работа Екатерины Юрьевны Слесаревой и отзыв на нее были обсуждены и одобрены на расширенном заседании кафедр «Технология воды и топлива» и «Теоретические основы теплотехники» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», протокол № 12 от 28 августа 2017 года.

Отзыв составлен:

ФГБОУ ВО «Казанский Государственный энергетический университет»,  
кафедра «Технология воды и топлива»,  
420066, Казань, ул. Красносельская, д. 51,  
телефон: 8(843)519-42-53(54), e-mail: tv\_t\_kgeu@mail.ru



Заведующий кафедрой «Технология  
воды и топлива»  
ФГБОУ ВО «КГЭУ»,  
доктор технических наук  
(05.17.08 - Процессы и аппараты  
химической технологии)

Лаптев Анатолий Григорьевич

(843) 519-42-54, e-mail: tvt\_kgeu@mail.ru

Заведующий кафедрой  
«Теоретические основы теплотехники»  
ФГБОУ ВО «КГЭУ»,  
доктор технических наук  
(05.17.08 - Процессы и аппараты  
химической технологии)

Дмитриев Андрей Владимирович

(843) 519-42-02, e-mail: kgeu@mail.ru

Секретарь кафедры  
«Технология воды и топлива»  
ФГБОУ ВО «КГЭУ»,  
к.т.н., доцент

Дремичева Елена Сергеевна

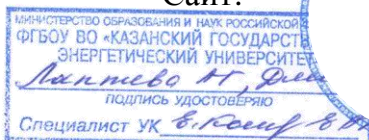
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»

Почтовый адрес: ул. Красносельская, 51, г. Казань, Россия, 420066.

Тел.: (843) 519-42-02, 562-43-25

E-mail:

Сайт:



*Воступил в Совет 04.09.17  
За секр Д.С.Дмитриев / Сигачев В.А.  
С отзовом ознакомлена 04.09.17  
Слесарева Е.Ю. / Сисоф*

*Дремичева Е.С.*