

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию **Панкратова Евгения Владимировича** на тему «Повышение эффективности рекуперативных устройств с закрученным течением теплоносителя», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика»

### **Актуальность темы исследования**

Диссертационная работа Евгения Владимировича Панкратова направлена на повышение эффективности энергетического оборудования, в частности рекуперативных устройств за счёт закрутки теплоносителя. Выполнив глубокий обзор научно-технической и патентной информации, автор даёт исчерпывающее описание устройств, использующих закрученные течения, а также исследований аэродинамики и конвективного теплообмена.

Автор ставит перед собой целью интенсифицировать процесс конвективного теплообмена, разработать инженерную методику расчёта и практические рекомендации по проектированию рекуперативных устройств.

Тема диссертационной работы является актуальной и направлена на повышение энергосбережения путём реализации возврата части тепловой энергии в цикл производства и уменьшения выбросов дымовых газов в атмосферу.

### **Оценка содержания диссертации**

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 177 страницах машинописного текста, включая иллюстративный материал, и содержит 74 рисунка, 11 таблиц, 4 приложения. Список литературы включает в себя 154 источника.

Во введении обоснована актуальность проблемы исследования, проведён анализ степени разработанности темы, определены объект и предмет исследования, сформулирована цель и задачи исследования, аннотированы методы их решения, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведён обзор научной литературы по современному состоянию исследований аэродинамики закрученных потоков и конвективного теплообмена в кольцевых каналах рекуперативных устройств.

Во второй главе описаны экспериментальные стенды, рассмотрены и проанализированы различные методы измерения скорости, расхода и плотности теплового потока, а также определены погрешности прямых и косвенных измерений. Для выполнения экспериментальных работ была разработана программа экспериментов.

В третьей главе представлены основные уравнения численной модели рабочего процесса в кольцевом канале с закрученным течением теплоносителя. Для проведения численного расчёта была построена структурированная гексаэдрическая сеточная модель, на основе которой было получено сеточно-независимое решение по определению основных исследуемых характеристик в программном пакете ANSYS Fluent.

В четвертой главе представлены результаты исследования аэродинамики закрученного течения в кольцевых каналах рекуперативных устройств.

В пятой главе приведены результаты исследования конвективного теплообмена в кольцевых каналах рекуперативных устройств с закрученным течением нагреваемого в них воздуха.

В шестой главе приведена инженерная методика теплового и аэродинамического расчета рекуперативно-горелочного блока.

В приложении А приведена блок-схема алгоритма теплового и аэродинамического расчета рекуператора.

В приложении Б приведен листинг программы консольного приложения теплового и аэродинамического расчета инженерной методики на языке программирования Python 3.9.

В приложении В приведены патенты на изобретения рекуперативно-горелочных блоков, полученные по результатам настоящего исследования.

В приложении Г представлены акты о внедрении разработок диссертанта.

В заключении автор формирует основные выводы по работе и указывает теоретическое значение и практическую ценность полученных результатов. Выводы работы полностью соответствуют поставленным задачам.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

### **Оценка научной новизны**

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработаны оригинальные экспериментальные установки для исследования аэродинамики и конвективного теплообмена в кольцевом канале рекуператора с закрученным течением теплоносителя;
- на основе экспериментальных данных предложены обобщающие зависимости для расчета: аэродинамических характеристик, сопротивления и конвективного теплообмена в сужающихся кольцевых каналах циклонного рекуператора в закрученном потоке теплоносителя, теплогидравлической эффективности;
- установлены основные закономерности влияния вторичных вихрей на конвективный теплообмен в закрученном потоке при различных степенях сужения кольцевых каналов, образованных неподвижными поверхностями.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Результаты, полученные в диссертационной работе, позволят улучшить энергетическую эффективность теплообменного оборудования, применяемого в промышленных печах. Использование сужающихся кольцевых каналов с закрученным потоком теплоносителя обеспечивает рост коэффициента теплоотдачи за счёт увеличения скорости потока и влияния вторичных течений.

Создана инженерная методика теплового и аэродинамического расчета рекуперативного устройства с закрученным течением теплоносителя. Разработаны и защищены патентами рекуперативная горелка и два варианта конструкции рекуперативно-горелочных блоков (патенты РФ на изобретения №№ 2624676, 2682202, 2682214).

**Степень достоверности полученных результатов** подтверждается использованием современного высокоточного оборудования, проходящего регулярную поверку в соответствии с техническими требованиями, а также оценкой погрешности измерений. Для подтверждения полученных данных численными методами был выполнен поиск сеточно-независимого решения и

проведена верификации полученных данных с экспериментальными значениями величин.

### **Замечания по диссертации**

1) Библиография к анализу научно-технической информации по современному состоянию и степени разработанности темы диссертационного исследования (глава 1), в основном (за исключением 8 источников) имеет более чем 5-летнюю давность.

2) Во второй главе, посвященной оценке погрешностей измерений, рекомендуется вместо термина «погрешность» использовать термин «неопределенность» согласно ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.

3) Из содержания главы 4 не ясно, для каких именно начальных и граничных условия выполнены численные исследования. Это исключает возможность независимо воспроизвести полученные результаты.

4) На рисунках 5.6 и 5.7 указаны некорректные единицы измерения коэффициента теплоотдачи.

5) В главе 6 не указаны диапазоны применимости расчётных формул разработанной инженерной методики теплового и аэродинамического расчета рекуперативного устройства с закрученным течением теплоносителя.

Высказанные замечания не повлияли на положительную оценку работы в целом.

### **Заключение**

Диссертационная работа Панкратова Евгения Владимировича на тему «Повышение эффективности рекуперативных устройств с закрученным течением теплоносителя» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи повышения эффективности работы рекуперативных теплообменных аппаратов, использующих закрученное течение теплоносителя, которая имеет важное фундаментальное и прикладное значение для развития науки об интенсификации конвективного теплообмена.

Диссертационная работа Е.В. Панкратова соответствует паспорту специальности 05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика» по формуле

специальности: п. 3 «Теоретические и экспериментальные исследования процессов тепло- и массопереноса в тепловых системах и установках, использующих тепло», п. 4 «Разработка новых конструкций теплопередающих и теплоиспользующих установок, обладающих улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками».

Работа отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук.

Автор диссертационной работы «Повышение эффективности рекуперативных устройств с закрученным течением теплоносителя» Панкратов Евгений Владимирович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика».

заведующий кафедрой  
«Тепловая и топливная энергетика»  
ФГБОУ ВО "Ульяновский  
государственный технический  
университет", доктор технических  
наук, доцент, член национального  
комитета РАН по теплообмену



Ковальногов  
Владислав  
Николаевич

22.11.2021

Сведения об организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ульяновский государственный технический университет", 432027, Ульяновская область, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32  
тел.: +7 (8422) 77-81-06  
e-mail: kvn@ulstu.ru

