

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Череповецкого государственного
университета

О.Ю. Лягинова
2021 г.
М.П.



**ОТЗЫВ
ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

**Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
"Череповецкий государственный университет"
на диссертацию Панкратова Евгения Владимировича
«Повышение эффективности рекуперативных устройств с закрученным
течением теплоносителя», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика».**

Диссертационная работа Е.В. Панкратова «Повышение эффективности рекуперативных устройств с закрученным течением теплоносителя» содержит оригинальные результаты по исследованию аэродинамики и конвективного теплообмена при закрученном потоке теплоносителя. Основное внимание в работе уделено задаче повышения эффективности теплообменных аппаратов с закрученным течением теплоносителя за счет реализации мер по интенсификации теплообмена в кольцевых каналах рекуперативных устройств.

Актуальность темы диссертационного исследования обусловлена необходимостью разработки новых методов энергосбережения, основанных на реализации возврата части тепловой энергии в цикл производства и уменьшением выбросов дымовых газов в атмосферу.

Основной целью диссертационной работы является разработка на основе теоретического и экспериментального исследований методов интенсификации конвективного теплообмена за счет применения закрученного потока теплоносителя в кольцевых каналах рекуператора, повышения эффективности рекуперативных устройств, инженерной методики расчета и практических рекомендаций по проектированию. В работе для достижения этой цели последовательно решаются следующие задачи: разработка, обоснование и тестирование численной модели рабочего процесса с применением современных компьютерных технологий и

верификация с экспериментальными данными; исследование научных и технических проблем с применением современных технологий численного моделирования и физического эксперимента; разработка метода интенсификации конвективного теплообмена кольцевого канала циклонного рекуператора за счет обоснованного выбора геометрических параметров сужения кольцевого канала.

Общая характеристика работы

Диссертация Е.В. Панкратова «Повышение эффективности рекуперативных устройств с закрученным течением теплоносителя» имеет классическую структуру и 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. Диссертация и автореферат написаны строгим научным языком в соответствии с общими методологическими принципами научного исследования.

Во введении обоснована актуальность проблемы исследования, проведен анализ степени разработанности темы, определены объект и предмет исследования, цели исследования, сформулированы задачи и методы их решения, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен обзор научной литературы по современному состоянию исследований по аэродинамике и конвективному теплообмену в рекуперативных устройствах. Приведена классификация металлических рекуператоров для утилизации теплоты уходящих газов. Также показаны основные методы интенсификации теплообмена для повышения энергоэффективности теплообменных устройств. Особенно выделено применение закрутки потока в различных конструкциях рекуперативных теплообменных аппаратов для интенсификации теплообмена. Были изучены существующие подходы и методы исследования аэродинамики и теплообмена закрученных потоков в каналах. На основе проведенного анализа были сформулированы выводы позволяющие сформулировать основные задачи и содержание настоящей диссертационной работы.

Во второй главе приведены принципиальные схемы и описан принцип работы на экспериментальных стендах для исследования аэродинамики и конвективного теплообмена. На основе методов планирования экспериментов построена программа исследования. Описаны основные методы, применяемые при физическом эксперименте, а также методика обработки полученных экспериментальных данных. Помимо этого, приведен расчет по определению погрешностей измерений.

В третьей главе представлены основные уравнения математической модели рабочего процесса кольцевого канала с закрученным течением теплоносителя. Проведен выбор наиболее подходящей модели турбулентности для описания закрученного потока в каналах

рекуперативного теплообменного аппарата. Полученная численная модель была верифицирована на основе полученных экспериментальных данных.

В четвертой главе приведены исследования аэродинамики рекуперативных теплообменных аппаратов с закрученным течением теплоносителя. Рассматриваются аэродинамические характеристики, такие как: распределение компонентов скоростей, статического давления, зависимости угла закрутки на поток теплоносителя и сопротивления в прямых и сужающихся кольцевых каналах. По итогу анализа аэродинамических характеристик приведены новые расчетные уравнения позволяющие повысить эффективность рекуперативных теплообменных устройств.

В пятой главе приведены исследования конвективного теплообмена рекуперативных теплообменных аппаратов с закрученным течением теплоносителя. Рассматривается распределение плотности теплового потока и коэффициента теплоотдачи на поверхностях в прямых и сужающихся кольцевых каналах. Рассмотрена зависимость распределения скорости, эффективной вязкости и плотности теплового потока в поперечном сечении кольцевого канала различного сечения. На основе анализа обобщенных результатов теплообмена приведены новые расчетные уравнения, а также определена оптимальная геометрия кольцевого канала с закрученным течением теплоносителя, основанная на анализе теплогидравлической эффективности.

В шестой главе была рассмотрена инженерная методика расчета аэродинамики и теплообмена закрученного потока в прямых и сужающихся кольцевых каналах.

В заключении сформулированы основные выводы диссертационной работы.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Научная новизна и достоверность результатов.

Для публичной защиты автор выдвигает результаты исследования аэродинамики и конвективного теплообмена в кольцевых каналах рекуперативных устройств, использующих закрученный поток теплоносителя. Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке конструкции рекуперативной горелки и рекуперативно-горелочных блоков. Помимо этого, установлены основные закономерности влияния вторичных вихрей на подобие вихрей Тейлора-Гёртлера на конвективный теплообмен в кольцевых каналах. Также предложены обобщающие зависимости для расчета: конвективного теплообмена в сужающихся кольцевых каналах рекуператора, оптимального показателя теплогидравлической эффективности при использовании сужающихся кольцевых каналов.

Достоверность приведенных результатов и выводов 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 верификация полученных данных с экспериментальными значениями величин.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Результаты данной работы показывают, что использование сужающихся кольцевых каналов с закрученным потоком теплоносителя приводит к росту коэффициента теплоотдачи за счет 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 № 2624676, 2682202, 2682214).

Методология и методы исследования.

Исследование аэродинамики и конвективного теплообмена выполнено на основе физического эксперимента и численных расчетов методом конечных объемов. Анализ полученных данных выполнен на основе теории подобия, регрессионного и корреляционного методов.

Общая характеристика работы и публикации по теме диссертации.

Основные научные результаты по теме диссертационного исследования с необходимой полнотой опубликованы в 16 научных работах, 2 из которых в журналах, включенных в перечень ВАК, 3 в сборниках, индексируемых в международных базах WoS и Scopus, получены 3 патента на изобретения, 17 докладов на международных и всероссийских научных конференциях.

Высоко оценивая проведенное научное исследование, обратим внимание автора на то, что при прочтении текста возникают некоторые замечания, требующие дополнительного раскрытия и уточнения.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

1) В работе проводилось экспериментальное исследование аэродинамики и теплообмена в сужающемся кольцевом канале, однако, из текста диссертации непонятно, как изготавливалась внутренняя труба из оргстекла, имеющая переменный диаметр по длине трубы, причем, в эксперименте, по-видимому, использовались несколько таких труб, для того, чтобы создать различное отношение выходного и входного сечений.

2) Теплоотдача на внутренней и внешней поверхности суживающегося кольцевого канала с закрученным потоком исследовалась и другими

авторами (Борисенко А.И., Шукин А.К., Сабуров Э.Н.), что показано на рис. 5.11 и 5.12 диссертации, из которых следует, что результаты, полученные соискателем, довольно хорошо согласуются с результатами других авторов, но, в то же время, хотелось бы знать, в чем состоит преимущество результатов, полученных соискателем?

3) В тексте диссертации символ « η » используется для обозначения разных величин – для безразмерного радиуса канала и теплогидравлической эффективности (формула 6.2 на стр. 140), что является нежелательным. Кроме того, когда символ « η » выступает в качестве безразмерного радиуса, он определяется по разному, так как, например, на рис. 4.3 данный параметр изменяется в диапазоне от 0,6 до 1, а на рис. 4.13 – в диапазоне от 0 до 1, и не поясняется, как в том или другом случае рассчитывается этот безразмерный радиус.

4) Инженерная методика теплового и аэродинамического расчета рекуперативного устройства, разработанная в главе 6, представляется не совсем «инженерной», так как требует довольно внушительного программного обеспечения, что видно из кода программы, приведенного в приложении Б диссертации (стр. 165-172).

5) В приложении диссертации приведены два патента автора «Рекуперативно-горелочный блок», но в тексте диссертации не указано, в чем состоит отличие между двумя данными изобретениями, если оно, конечно, существует.

Высказанные замечания и вопросы не снижают научную ценность диссертационной работы Е.В. Панкратова. Автором выполнена большая исследовательская работа; успешно решены поставленные задачи; положения, вносимые на защиту, обоснованы и получены надежные данные, описаны и проанализированы полученные результаты, сделаны научные и практические выводы.

Заключение

Диссертация Панкратова Евгения Владимировича на тему «Повышение эффективности рекуперативных устройств с закрученным течением теплоносителя», соответствует требованиям 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» паспорта специальности 05.14.04 - «Промышленная теплоэнергетика».

По своему содержанию, актуальности и научной новизне, объему проведенного исследования, теоретической и практической ценности полученных результатов диссертационная работа Панкратова Е.В. соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых

степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Панкратов Евгений Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 - Промышленная теплоэнергетика.

Диссертация, автореферат, отзыв рассмотрены и обсуждены на заседании кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника» «10» ноября 2021 года, протокол № 3.

Присутствовало на заседании 9 чел. Результаты голосования: «за» – 9 чел., «против» – 0, «воздержалось» – 0.

Заведующий кафедрой
теплоэнергетики и теплотехники
Череповецкого
государственного университета,
доктор технических наук,
профессор



10.11.2021

Лукин Сергей
Владимирович

Сведения об организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Череповецкий государственный университет", 162600, Россия, Вологодская обл., г. Череповец, пр-т Луначарского, д. 5
тел.: +7 (8202) 55-65-97
e-mail: chsu@chsu.ru

