

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.082.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16 декабря 2021 г., № 19/2021

О присуждении Панкратову Евгению Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение эффективности рекуперативных устройств с закрученным течением теплоносителя» по специальности 05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, принята к защите 14 октября 2021 г. (протокол заседания № 18/2021) диссертационным советом Д 212.082.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, приказ №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель **Панкратов Евгений Владимирович**, 28 февраля 1992 года рождения,

в 2014 году окончил очный бакалавриат федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» по направлению «Промышленная теплоэнергетика»,

в 2016 г. окончил очную магистратуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный

(Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» по направлению «Прикладная математика и информатика»,

в 2020 г. окончил очную аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, направленность «Промышленная теплоэнергетика» и сдал необходимые кандидатские экзамены.

В настоящее время Панкратов Евгений Владимирович по основному месту работы занимает должность старшего преподавателя кафедры теплоэнергетики и теплотехники Высшей школы энергетики, нефти и газа федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», а также работает совместителем на должности директора Технопарка Управления инновационного развития федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова».

Диссертация выполнена на кафедре «Теплоэнергетика и теплотехника» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова».

Научный руководитель - **Карпов Сергей Васильевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова».

Официальные оппоненты:

1. **Попов Игорь Александрович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Теплотехника и энергетическое машиностроение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»;

2. Ковальногов Владислав Николаевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Тепловая и топливная энергетика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет»;

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Череповецкий государственный университет», город Череповец, в своем **положительном** заключении, подписанным заведующим кафедрой «Теплоэнергетика и теплотехника», доктором технических наук профессором Лукиным Сергеем Владимировичем и утвержденным проректором по научной работе Лягиновой Ольгой Юрьевной **указала**, что 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 Евгения Владимировича 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».

По теме диссертационного исследования Панкратов Евгений Владимирович имеет 16 опубликованных научных работ, 2 из которых в журналах, включенных в перечень ВАК, 3 в сборниках, индексируемых в международных базах WoS и Scopus, получены 3 патента на изобретения.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Публикации в изданиях, входящих в Перечень ВАК

1. Чернов, А.А. Численное моделирование топочного процесса низкоэмиссионного вихревого котла с использованием программного пакета ANSYS Fluent // Вестник ЧГУ /А.А. Чернов, П.А. Марьяндышев, Е.В. Панкратов, В.К. Любов. – Череповец – 5 (74) – 2016. – 36 – 40 с
2. Леухин, Ю.Л. Исследование аэродинамики и теплоотдачи сужающихся кольцевых каналов с закрученным течением потока / Ю.Л. Леухин, Е.В. Панкратов, С.В. Карпов // Вестник ЧГУ. – 2018. – № 1 (82) – С. 34–39.

Публикации в изданиях, индексируемых в WoS и Scopus

3. Leukhin, Yu. L. Investigation into aerodynamic and heat transfer of annular channel with inner and outer surface of the shape truncated cone and swirling fluid flow / Yu. L. Leukhin, E. V. Pankratov, S. V. Karpov – 2017. – Vol.891. UNSP 012143
4. Chernov, A. A. CFD simulation of the combustion process of the low-emission vortex boiler / A.A. Chernov, P.A. Maryandyshev, E.V. Pankratov, V.K. Lubov – 2017. – Vol.891. UNSP 012216
5. Leukhin, Yu. L. Aerodynamics and heat transfer in a narrowing annular channel with a swirling flow and a different taper of inner surface / Yu. L. Leukhin, E. V. Pankratov, – 2020. – AIP Conference Proceedings DOI: 10.1063/5.0000791

Патенты на изобретение

6. Пат. 2624676 Российская Федерация, МПК F23D 14/66. Рекуперативная горелка [Текст] / Ю.Л. Леухин, Е.В. Панкратов; заяв. и патентообладатель ФГАУ ВО САФУ имени М.В. Ломоносова. – № 2016118142; заявл.10.05.2016; опубл. 05.07.2017, Бюл. № 19.
7. Пат. 2682202 Российская Федерация, МПК F23L 15/04. Рекуперативно-горелочный блок [Текст] / Ю.Л. Леухин, Е.В. Панкратов; заяв. и патентообладатель ФГАУ ВО САФУ имени М.В. Ломоносова. – № 2018117155; заявл. 08.05.2018; опубл. 15.03.2019, Бюл. № 8.
8. Пат. 2682214 Российская Федерация, МПК F23L 15/04. Рекуперативно-горелочный блок [Текст] / Ю.Л. Леухин, Е.В. Панкратов; заяв. и патентообладатель ФГАУ ВО САФУ имени М.В. Ломоносова. – № 2018125464; заявл. 11.07.2018; опубл. 15.03.2019, Бюл. № 8.

Статьи и материалы конференций

9. Леухин Ю.Л. Интенсификация теплоотдачи в кольцевом канале рекуперативного устройства с закрученным течением теплоносителя// Семинар вузов по теплофизике и энергетике. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием / Леухин Ю.Л., Панкратов Е.В. – Санкт-Петербург. 2019. 218-219. с.
10. Леухин Ю.Л. Исследование структуры потока и теплоотдачи в сужающихся кольцевых каналах с закрученным течением теплоносителя // Труды седьмой российской национальной конференции по теплообмену. В 3х томах. / Леухин Ю.Л., Панкратов Е.В. – Москва, 2018. 386-389 с.
11. Панкратов, Е.В. Влияние уменьшения площади поперечного сечения кольцевого канала рекуператора на эксплуатационную надежность рекуперативной горелки // Труды XXI школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством акад. РАН А.И. Леонтьева / Е.В. Панкратов, Ю.Л. Леухин. - Москва: АО «Издательский дом МЭИ». – МЭИ, 2017 – Т.2 – 176 – 179 с.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов. Из них положительных – 6. С замечаниями – 4. Отзывы поступили от:

1. Доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией фундаментальных исследований федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации» **Исаева Сергея Александровича**.

Замечания:

1) Не ясно, какая задача решена с помощью пакета Fluent? Стационарная или нестационарная? На рисунке 10 представлены кривые, которые трудно отнести к стационарным. Какие граничные условия ставятся на входе в тракт?

2) Коэффициент гидравлических потерь, представленный на рисунке 8, хотелось бы сравнить с прогнозами по справочнику Идельчика.

3) Какова теплогидравлическая эффективность рассмотренных моделей рекуператоров?

4) Фраза «На входе в кольцевой канал, от кромки генератора закрутки образуются крупномасштабные нестационарные поперечные вихри в виде периодического процесса, характеризующегося числами Струхала порядка 0.22» некорректна. Вихри — это не процесс.

5) Напрашивалось сглаживание входа в суживающийся канал для устранения или ослабления поперечных вихревых структур. Неясно, почему это не было сделано.

2. Доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета **Карницкого Николая Борисовича**.

Замечаний принципиального характера по автореферату нет. В качестве несущественного замечания можно отметить, что в разделе автореферата «Заключение» в 3 и 4 выводах отсутствуют какие-либо численные значения достигнутых показателей, коэффициентов и т.п., подтверждающих полученные результаты. Желательно было бы это указать.

3. Доктора технических наук, профессора «Высшей школы атомной и тепловой энергетики» федерального государственного автономного

образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» **Митякова Владимира Юрьевича; кандидата технических наук, ассистента Высшей школы атомной и тепловой энергетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» Зайнуллиной Эльзы Рафисовны.**

Замечания:

1) Утверждение о том, что в работе применены градиентные датчики теплового потока (стр. 8), терминологически неверное. Датчики теплового потока (ДТП) фирмы Captec Enterprise формируют термоЭДС по разности температур. Градиентный ДТП - первичный преобразователь из материалов с естественной анизотропией термоэлектрических свойств (висмут, сурьма и др.), формирующих термоЭДС по градиенту температуры в поверхностном слое.

2) Отсутствует оценка термического сопротивления ДТП и его влияния на поле температуры.

3) Автор оценивает «погрешности» исследуемых параметров, что не соответствует требованиям ГОСТ 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008 Неопределенность измерения.

4) В автореферате не приведены наименования, типы и технические характеристики измерительных средств.

4. Кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Общая и техническая физика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьёва» Веретенникова Сергея Владимировича; кандидата технических наук; доцента кафедры «Общая и техническая физика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьёва» Евдокимова Олега Анатольевича.

Замечания:

1) Из рис. 4 однозначно не следует, что модель турбулентности SST с опцией коррекции кривизны линий тока является оптимальной с точки зрения описания распределений скорости. По некоторым эпюрам видно, что модель RSM проявляет себя как минимум не хуже. Также, было бы более корректным сопоставлять не только распределения осредненных компонент скорости, но и распределения пульсаций скорости.

2) В повествовании диссертации есть некоторая нелогичность. Результаты численного моделирования, показанные в главе 3, верифицированы, судя по всему, по экспериментальным данным последующей главы 4.

3) Критериальные уравнения для числа Нуссельта содержат симплекс скоростей w_{fm}/w_z , вместо которого было бы логичнее использовать общепринятый параметр закрутки S . Кроме того, странно, что критериальные уравнения теплоотдачи в явном виде не содержат числа Рейнольдса. Видимо, его влияние учтено указанным выше соотношением скоростей, что также является не совсем корректным.

4) Хотелось бы видеть публикации соискателя в более значимых зарубежных журналах, тем более что уровень диссертации позволяет это делать.

5. Кандидата технических наук, инженера 1 категории ПТО АГТС ПАО «ТГК-2» Усачева Ильи Александровича.

Замечаний нет.

6. Кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Теплоэнергетика и холодильные машины» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Астраханский государственный технический университет» Ильина Романа Альбертовича.

Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывался их известностью и достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработан экспериментальный стенд для изучения аэродинамики в кольцевых каналах при закрутке потока. Особенностью данного экспериментального стенда является измерительная секция для проведения бесконтактного оптического измерения скорости методом лазерной доплеровской анемометрии, оборудованная корректирующей линзой, которая позволяет устранить дополнительные aberrации лазерных лучей.

Разработан экспериментальный стенд для визуализации вторичных вихрей в закрученном потоке. Особенностью данного экспериментального стенда является применение линейного лазера с выходной мощностью 200 мВт и длиной волны 532 нм, а также скоростной камеры, позволяющей снимать 240 кадров/с.

Разработан паровой калориметр, оснащенный датчиками теплового потока, для модернизации экспериментального стенда по исследованию конвективного теплообмена в кольцевых каналах при закрутке потока. Особенностью разработанного парового калориметра является конструкция, позволяющая проводить измерения по всей длине исследуемой области кольцевого канала, а также по его оси.

Установлено, что в сужающихся каналах за счет увеличения осевой составляющей полной скорости наблюдается повышение теплоотдачи внешней поверхности на 5...11 %. Повышение турбулентности потока и увеличение осевой скорости около внутренней поверхности интенсифицирует на ней среднюю теплоотдачу на 91...98 %. Локальная теплоотдача на внутренней поверхности вблизи выходного сечения выше в 3.6, а на внешней в 1.9 раза, чем в прямом канале.

Разработана инженерная методика теплового и аэродинамического расчета, а также проведен расчет энергетической эффективности рекуперативного устройства с закрученным течением теплоносителя в кольцевых каналах при различных отношениях площади поперечного сечения на

входе в кольцевой канал к площади поперечного сечения на выходе из кольцевого канала $f_k^{\text{ВЫХ}}/f_k^{\text{ВХ}} = 0.2 \dots 1$.

Теоретическая значимость проведенных исследований состоит в следующем:

Установлено, что параметром, определяющим аэродинамику и сопротивление сужающегося кольцевого канала, является отношение площади поперечного сечения на входе в кольцевой канал к площади поперечного сечения на выходе из кольцевого канала $f_k^{\text{ВЫХ}}/f_k^{\text{ВХ}}$.

Получены уравнения, позволяющие определить распределение по длине максимальной тангенциальной скорости, общее и гидравлическое сопротивление устройства в зависимости от отношения площади поперечного сечения на входе в кольцевой канал к площади поперечного сечения на выходе из кольцевого канала $f_k^{\text{ВЫХ}}/f_k^{\text{ВХ}}$, а также числа Рейнольдса на входе в кольцевой канал $Re_k^{\text{ВХ}}$.

Изложены результаты численного эксперимента в программном пакете ANSYS Fluent значений угла закрутки, распределения полной скорости, плотности теплового потока и эффективной вязкости в поперечном сечении кольцевого канала.

Доказана экономическая выгода применения сужающихся кольцевых каналов для интенсификации теплообмена закрученных потоков в рекуперативно-горелочных устройствах.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)

Установлены закономерности влияния вторичных вихрей наподобие вихрей Тейлора-Гёртлера на конвективный теплообмен в кольцевых каналах с неподвижными стенками при закрученном потоке.

Раскрыт механизм повышения коэффициента теплоотдачи на внутренней поверхности сужающегося кольцевого канала за счет увеличения скорости и повышения турбулентности закрученного потока.

Впервые предложены обобщающие зависимости для расчета: конвективного теплообмена в сужающихся кольцевых каналах рекуператора, показателя теплогидравлической эффективности при использовании сужающихся кольцевых каналов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Разработаны новые варианты конструкции рекуперативной горелки и рекуперативно-горелочных блоков, позволяющие повысить энергетическую и теплогидравлическую эффективность устройства за счет увеличения конечной температуры нагреваемого воздуха.

Создана прикладная компьютерная программа для инженерного расчета тепловых и аэродинамических характеристик рекуперативно-горелочного блока в виде консольного приложения на языке программирования Python 3.9;

Представлены практические рекомендации по повышению энергетической эффективности рекуперативных устройств, которые позволили снизить себестоимость термообработки изделий и уменьшить удельный расход топлива в ООО «Мезенская теплоснабжающая компания».

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

Результаты экспериментальной работы **получены** на современном высокоточном оборудовании, проходящим регулярную поверку в соответствии с техническими требованиями, а также оценкой неопределенности измерений.

Результаты численных исследований **получены** посредством применения фундаментальных уравнений сохранения и переноса теплоты, импульса и массы.

Для подтверждения полученных данных численными методами был **выполнен** поиск сеточно-независимого решения и **проведена** верификации полученных данных с экспериментальными значениями величин.

Теория не противоречит известным из литературы данным и согласуется с опубликованными теоретическими и экспериментальными работами других авторов.

Установлено соответствие полученных результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике. Результаты экспериментальных работ соответствуют результатам теоретического исследования.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии во всех этапах получения результатов, приведенных в диссертации, включая постановку цели и задач исследования, разработке экспериментальных установок, выполнении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и анализе экспериментальных данных, подготовке публикаций по тематике научного исследования и трёх патентов на изобретение.

Диссертационный совет рекомендует использовать результаты диссертационного исследования Панкратова Евгения Владимировича в научно-исследовательских учреждениях и лабораториях, занимающихся проектированием, исследованием, разработкой и интенсификацией процессов теплообмена на существующих производствах, в научно-образовательном процессе в профильных ВУЗах, а также на предприятиях, имеющих высокотемпературные установки, таких как АО «Центр судоремонта «Звездочка», АО «Северное машиностроительное предприятие», НИПТБ «Онега», ООО «Судоремонтный завод “Красная Кузница”» и др.

Диссертация Панкратова Евгения Владимировича «Повышение эффективности рекуперативных устройств с закрученным течением теплоносителя» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение научной задачи повышения энергетической и теплогидравлической эффективности рекуперативных устройств с закрученным течением теплоносителя, имеющее значение для развития отрасли знаний, занимающейся проблемами промышленной теплоэнергетики.

На заседании 16 декабря 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Панкратову Евгению Владимировичу ученую степень кандидата технических наук.

Заседание диссертационного совета проводилось в очном и удаленном интерактивном режиме, в соответствии с Приказом Министерства науки и высшего образования России № 458 от 07.06.2021 г.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек (из них присутствовало на заседании лично 13, в удаленном интерактивном режиме 4), из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против 0, воздержался 1.

Председатель

диссертационного совета

Д 212.082.02

Чичирова Наталия Дмитриевна

Ученый секретарь

диссертационного совета

Д 212.082.02

Власов Сергей Михайлович

16.12.2021

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО - КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Подпись Ученый секретарь
Специалист Ученый секретарь
16.12.2021

Чичирова Н.Д., Власов С.М., Хабибрахманова С.А.

