УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
д.т.н., доцент
_____ И.Г. Ахметова
«05» 12 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Зариповой Дарьи Вадимовны на тему «Интенсификация теплоотдачи в воздушных системах охлаждения радиоэлектронного оборудования в условиях свободной конвекции», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

1. Актуальность избранной темы

Успешное развитие и функционирование радиоэлектронного и электросилового оборудования непрерывно связано с постоянным охлаждением и термостабилизацией наиболее теплонагруженных элементов, а также определением наиболее рациональных способов отвода тепла. Все это обуславливает такие требования к современным системам охлаждения как наиболее эффективный отвод тепла, низкая энергозатратность, высокая надежность и технологичность, низкая себестоимость и формирует повышенный интерес к области интенсификации теплоотдачи в условиях естественной конвекции. Характерной особенностью исследования возможностей естественно-конвективных систем является отсутствие затрат на прокачку теплоносителя.

Эффективное решение вопросов выбора применяемых интенсификаторов заключается в рассечении теплообменной поверхности. Такой способ интенсификации теплоотдачи не увеличивает массогабаритные характеристики системы.

На сегодняшний день радиоэлектронные компоненты и устройства становятся более мощными и компактными. Большую актуальность имеют вопросы поиска наиболее рациональных отводов тепла.

Работа выполнена в рамках договора с Минобрнауки РФ №14.Z50.31.0003/, а также в рамках Государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации, Задание № 9.3236.2017/4.6, от 31.05.2017, что также свидетельствует об ее актуальности.

Вх. 08 12 2103 19

Таким образом, рассматриваемая в диссертационной работе Зариповой Д.В. задача определения механизма и необходимых условий интенсификации теплоотдачи в системах охлаждения радиоэлектронного оборудования обладает актуальностью и востребована практикой и не вызывает сомнений.

2. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Автор сформулировал и вынес на защиту пять основных положений, включающих результаты экспериментальных и численных исследований по теплоотдаче в вертикальных цилиндрических каналах в диапазоне тепловых потоков от 3 до 200 Вт в условиях естественной конвекции.

В заключении сформированы девять основных выводов диссертационной работы, включающие в себя результаты проведения экспериментальных исследований, визуализации процесса, выявления условий, влияющих на интенсификацию теплоотдачи, результаты выявления обобщающей критериальной зависимости, расчетов общего термического сопротивления, а также результаты работы в программе численного моделирования и разработка рекомендаций по повышению общей эффективности системы.

Все представленные в диссертационной работе выводы являются четко обоснованными и имеют прямую связь с положениями, выносящимися на защиту.

3. Достоверность и новизна исследования, полученных выводов и рекомендаций

Научная новизна диссертационной работы Зариповой Дарьи Вадимовны состоит в следующем:

1) проведено обширное исследование интенсификации теплоотдачи с применением разрезного оребрения в условиях естественной конвекции, подтвержденное экспериментальными и расчетными выкладками;

2) Зарипова Д.В. выявила влияние различных параметров на интенсивность теплоотдачи, таких как: условия стесненности, углы раскрытия ребер; получен максимум по теплоотдаче;

3) автор провела визуализацию течения струй воздуха в системе с разрезным и гладким оребрением при различных нагревах и определила механизм интенсификации теплоотдачи в исследуемых условиях;

4) автор произвела расчеты процесса теплоотдачи в программном комплексе численного моделирования, позволившие верифицировать процесс экспериментальных исследований, а также расширить диапазон исследований и разработать рекомендации по повышению эффективности исследуемой системы.

Достоверность проведенных исследований обеспечивается работой контрольно-измерительных приборов, прошедших метрологическую поверку, представлением расчетов погрешностей измерений, сравнением результатов расчетов с данными других авторов, а также верификацией экспериментально полученных данных численными расчетами в программном комплексе. Полученная критериальная зависимость описывает экспериментальные данные с отклонением ±7 %, при доверительной вероятности P=0,95, отклонение расчетных данных в программе численного моделирования по среднему коэффициенту теплоотдачи не превышает 14 %.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы изложены в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и апробированы на ряде конференций.

4. Оценка структуры и содержания работы

Представленная диссертационная работа Зариповой Д.В. является законченной научно-квалификационной работой, имеющая научный стиль оформления и изложенная грамотным техническим языком.

Диссертация состоит из списка принятых сокращений и условных обозначений, введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников информации и приложения. Объем диссертации составляет 152 страницы машинописного текста. Работа содержит 50 рисунков и 10 таблиц. Список используемых источников информации включает 196 наименований. В приложение включены акты внедрения результатов диссертационной работы.

Содержание глав диссертационной работы отражает поставленную в ходе исследования цель и связано с решением основных задач исследования.

Во введении показана актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, приведены научная новизна и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, и приведены сведения об апробации работы.

В первой главе представлен литературный обзор современного состояния вопросов, связанных с интенсификацией теплоотдачи, рассмотрены работы по естественной конвекции однофазных систем охлаждения, обоснован выбор способа интенсификации теплоотдачи в рассматриваемых системах охлаждения. Рассмотрены различные существующие способы и виды интенсификации, что позволило сформулировать критерии выбора оптимальных параметров и оценить эффективность использования разрезного оребрения при осевом расположении ребер. Автором рассмотрены разработки экспериментальных исследований в области интенсификации теплоотдачи, аналитических и эмпирических методов расчета чисел Нуссельта. Углубление в теоретический анализ проведенных другими учеными исследований в этой

области позволило выявить необходимость подтверждения результатов экспериментальных расчетов данными численного моделирования, а также необходимость определения режима течения исследуемого потока и сравнения полученных данных с данными работ других авторов в исследуемой области.

В завершении первой главы представлены цель и задачи исследования.

Первая глава изложена на 53 страницах машинописного текста.

Вторая глава отражает описание экспериментального стенда с гладкими и разрезными ребрами. В данной главе представлена методика проведения экспериментов, принцип работы экспериментального стенда, методика обработки экспериментальных данных и расчет неопределенности измерений, показаны результаты проведения тестовых экспериментов. Зарипова Дарья Вадимовна проводила эксперименты на двух рабочих участках: с гладкими и разрезными ребрами. Во второй главе приводится сравнение результатов тестовых экспериментов с расчетами по зависимостям таких авторов как М.А. Михеев, В.П. Исаченко, В. Эленбааса и др.

Вторая глава изложена на 16 страницах машинописного текста, в конце главы сделаны соответствующие выводы.

Третья глава содержит анализ полученных экспериментальных данных, результаты визуализации течения воздуха около нагретых ребер, определение параметров пограничного слоя, обоснование выбора формы критериальной зависимости, а также расчет потерь в процессе проведения экспериментов. В данной главе представлены графики зависимости чисел Нуссельта от чисел Релея при различных высотах поднятия кожуха и углах раскрытия ребер, представлены расчеты пограничного слоя около ребер рабочего участка, формулы критериальных зависимостей в различных диапазонах высот поднятия кожуха и углов раскрытия ребер. Отклонение результатов расчета по полученным формулам от экспериментальных данных не превышает 7 %.

Третья глава изложена на 23 страницах машинописного текста, в конце главы сделаны соответствующие выводы.

Четвертая глава связана с проведением численных расчетов. Здесь представлены результаты численного моделирования процесса теплоотдачи, описан выбор модели расчета и процесс верификации результатов экспериментальных данных. В данной главе представлены результаты проведения численных расчетов по варьированию подвода тепла, определению оптимального количества рассечений кромки ребра и анализ модернизации рабочей модели. Также представлен расчет общего термического сопротивления системы. Расчет в программном комплексе Ansys позволил выявить зоны наименьшего прогрева ребер и получить модернизированную модель с меньшей массой. Использование модернизированного рабочего участка также снижает общее термическое сопротивление на 14 %.

Четвертая глава изложена на 16 страницах машинописного текста, в конце главы сделаны соответствующие выводы.

В заключении сформулированы основные выводы диссертационной работы.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы и практическая значимость

Полученные в диссертации научные и практические результаты целесообразно использовать при разработках систем охлаждения радиоэлектронного, электросилового оборудования, а также систем, в которых необходим отвод тепла мощностью в диапазоне до 200 Вт. Результаты исследований могут быть использованы для проведения дальнейших научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

6. Замечания по диссертационной работе

По диссертации можно отметить следующие замечания:

1. В первой главе, посвященной литературному обзору, можно было не рассматривать работы по двухфазному течению, так как далее работа посвящена исключительно исследованию однофазных течений.
2. При оформлении графиков функций в диссертации следовало придерживаться одного и того же оформления так, как в автореферате. Однако на некоторых графиках подрисуночная подпись находится под графиком, а на других – слева (рисунки стр. 99, 100).
3. Данные по варьированию диаметра кожуха являются одними из основополагающих и напрямую связанными с целью и задачами исследования. Они представлены в диссертации, однако про эти данные ничего не сказано в автореферате.
4. В диссертационном исследовании производится тепловой расчет моделей без кожуха и с кожухом в программе Ansys Fluent, но не представлена ни одна модель распределения температур модели с кожухом.

Указанные замечания не влияют на общее положительное впечатление, связанное с целостностью и завершенностью диссертационной работы, выполненной аккуратно и оформленной на высоком уровне.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация Зариповой Дарьи Вадимовны «Интенсификация теплоотдачи в воздушных системах охлаждения радиоэлектронного оборудования в условиях свободной конвекции» является законченной научно-

квалификационной работой, которой решается научная задача определения и необходимых условий интенсификации теплоотдачи в условиях ламинарного движения теплоносителей.

По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов представленная работа соответствует требованиям п. 5 «Экспериментальные и теоретические исследования однофазной, свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров теплопередающих поверхностей» паспорта специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника (технические науки).

На основании вышеизложенного считаем, что диссертационная работа «Интенсификация теплоотдачи в воздушных системах охлаждения радиоэлектронного оборудования в условиях свободной конвекции» по содержанию, полученным результатам и оформлению удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства РФ от 24.09.2013 №842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, Зарипова Дарья Вадимовна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Отзыв обсужден и одобрен после доклада диссертанта на заседании кафедры «Теоретических основ теплотехники» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», протокол № 193 от 12.11.2019г.

Заведующий кафедрой «Теоретических основ теплотехники»
ФГБОУ ВО «КГЭУ»
доктор технических наук, доцент А.В. Дмитриев

Адрес: 420066, Республика Татарстан, г.Казань, ул. Красносельская, д.51
Телефон (843) 519-42-58, e-mail: tot_kgeu@mail.ru

Ирина Гареевна Ахметова: проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», заведующая кафедрой «Экономика и организация производства», доктор технических наук, доцент

Адрес: 420066, Республика Татарстан, г. Казань ул. Красносельская, д.51,
Тел.: (843) 519-42-88, e-mail: irina_akhmetova@mail.ru

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе Зариповой Дарьи Вадимовны на тему: «Интенсификация теплоотдачи в воздушных системах охлаждения радиоэлектронного оборудования в условиях свободной конвекции» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

<table>
<tr><td rowspan="2">Полное наименование организации, почтовый адрес (индекс, город, улица, дом), телефон, адрес электронной почты</td><td>Сведения о лице, утвердившем отзыв</td><td rowspan="2">Список основных публикаций работников (авторов отзыва) ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет – для кандидатской и за 10 лет – для докторской (но не более 15 публикаций)</td></tr>
<tr><td>Фамилия, Имя, Отчество, учёная степень, ученое звание авторов отзыва, должность с указанием структурного подразделения</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», 420066 РФ, г. Казань ул. Красносельская, 51, телефон (843) 519-42-02, email: kgeu@kgeu.ru</td><td>Ахметова Ирина Гареевна, доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе</td><td rowspan="3">1. Дмитриев А.В., Круглов Л.В., Мадышев И.Н., Дмитриева О.С. Охлаждение оборотной воды предприятий энергетики в градирнях со струйно-пленочными контактными устройствами // Промышленная энергетика, 2018. - №11. – С.45-49.
2. Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Мадышев И.Н. Использование дополнительного охлаждения масляных трансформаторов при совместной работе термоэлектрических преобразователей и грунтовых теплообменников // Вестник Южно-уральского государственного университета. Серия: энергетика, 2018. – Т.18. - №1. – С.61-67.
3. Якимов Н.Д., Дмитриева О.С. Модернизация системы охлаждения силовых трансформаторов// Электротехника, 2018. - №6. – С.23-26.
4. Гильфанов К.Х., Якимов Н.Д., Минвалеев Н.Ю., Шешуков Е.Г., Богданова Н.В. Нестационарные трение и теплообмен в начальном участке трубопровода при сбросе тепловой</td></tr>
<tr><td>Сведение о лице, подготовившем отзыв</td></tr>
<tr><td>Дмитриев Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теоретических основ теплотехники»</td></tr>
</table>

		нагрузки // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. – Т.20. - №5-6. – С.22-28. 5. Дмитриев А.В., Дмитриева О.С. Теплообмен при встречном обтекании рядов труб аппарата воздушного охлаждения // Вестник технологического университета, 2017. – Т.20. - №13. – С. 40-42. 6. Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Халиуллин С.М. Исследование размещения вентиляторов в аппаратах воздушного охлаждения // Вестник технологического университета, 2017. – Т.20 -№10. – С.29-30. 7. Madyshev I. N., Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V. Purification of gas Emissions From Thermal Power Plants by Means of Apparatus with Jet-Bubbling Contact Devices // MATEC Web of Conferences, 2017. – V. 91. – P. 01019. DOI:http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20179101019 (И.Н. Мадышев, О.С. Дмитриева, А.В. Дмитриев Очистка газовых выбросов от тепловых электростанций с помощью аппаратов со струйно-барботажными контактными устройствами). 8. Dmitriev A. V., Dmitrieva O. S., Madyshev I. N. Prospects for the Use of Additional Cooling System for the Oil-Immersed Transformers with Thermoelectric Transducers // MATEC Web of Conferences, 2017. – V. 95. – P. 15008. DOI:http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20179515008 (2016 the 3rd International Conference on Mechatronics and Mechanical Engineering (ICMME 2016)) (А.В. Дмитриев, О.С. Дмитриева, И.Н. МадышевПерспективыиспользованиядополнительнойсистемыохлажденияmасляныхтрансформаторовстермоэлектрическимипреобразователями). 9. Dmitrieva O. S., Madyshev I. N., Dmitriev A. V. Determination of the Heat

		and Mass Transfer Efficiency at the Contact Stage of a Jet-Film Facility // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2017. – V. 90. – № 3. – P. 651-656. DOI: 10.1007/s10891-017-1612-z (О.С. Дмитриева, И.Н. Мадышев, А.В, Дмитриев Определение эффективности тепломассопереноса на контактной стадии струйно-пленочной установки // Инженерная физика и теплофизика) 10. Варенов А. А., Якимов Н. Д., Ерашова Ю. Н. Инженерная модель теплового режима в индивидуальном доме // Известия вузов. Проблемы энергетики, 2016. - № 3-4. - С. 22-28. 11. Дмитриев А.В., Валиев И.И., Дмитриева О.С. Исследование работы термоэлектрического преобразователя в системе охлаждения энергетического оборудования // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2015. - №11-12. – С.60-63. 12. Дмитриев А.В., Мадышев И.Н. Разработка новых видов контактных устройств для интенсификации тепломассообмена и повышения энергоэффективности // Вестник Казанского технологического университета, 2015. – Т. 18. – № 8. – С. 110-111. 13. Дмитриев А.В., Мадышев И.Н. Численное исследование гидродинамики падающих капель в струйнобарботажном контактном устройстве // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2015. – № 11-12. – С. 64-68.

Заведующий кафедрой «Теоретических основ теплотехники»
ФГБОУ ВО «КГЭУ»
доктор технических наук, доцент А.В. Дмитриев

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ
Специалист УК