

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.286.07,
созданного на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет», Министерство науки и высшего образования Российской
Федерации, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук
аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24.04.2025 г. № 6

О присуждении Базыкину Денису Александровичу, гражданину Российской Федерации, **ученой степени кандидата технических наук.**

Диссертация «Интенсификация теплопередачи для повышения эффективности термоэлектрических генераторных модулей», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по **специальности** 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, **принята к защите** 21.02.2025 (протокол заседания № 5) **диссертационным советом** 24.2.286.07, созданным на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, приказ о создании диссертационного совета № 1348/нк от 24 октября 2022 г.

Соискатель Базыкин Денис Александрович, 08.01.1996 года рождения, в 2017 г. окончил ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» с присвоением квалификации бакалавр по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника». С 2017 по 2019 гг. проходил обучение в магистратуре по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». С 2019 по 2023 гг. обучался в аспирантуре в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» по направлению 13.06.01 «Электро- и теплотехника». В настоящее время работает ведущим специалистом в ООО ФПК «Космос-Нефть-Газ», г. Воронеж.

Диссертация выполнена на кафедре «Теоретической и промышленной теплоэнергетики» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Дахин Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», кафедра «Теоретической и промышленной теплоэнергетики», доцент.

Официальные оппоненты:

Слюсарев Михаил Иванович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры криогенных машин, установок и электрогазовой техники ФГКВООУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»;

Муравьев Анатолий Викторович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика на железнодорожном транспорте», доцент, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк в своем положительном отзыве, подписанном Губаревым Василием Яковлевичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой промышленной теплоэнергетики, и утвержденном Картель Александром Юрьевичем, кандидатом технических наук, доцентом, проректором по научной работе ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», указала, что в диссертации решена важная научно-практическая задача, заключающаяся в повышении эффективности генерации электроэнергии термоэлектрическими генераторными модулями, по своей актуальности, научной новизне, уровню выполнения, научной и практической значимости полученных результатов и личному вкладу автора полностью соответствует критериям, установленным в п. 9-14 «Положение о порядке присуждения ученых степеней»,

утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 16.10.2024), а её автор, Базыкин Денис Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

Соискатель имеет 53 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 11 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы.

В работах лично автору принадлежат: постановка задачи, выбор и разработка метода исследования, обработка и обобщение полученных результатов исследования, рекомендации по проектированию и расчету электрогенерирующих установок на базе термоэлектрических генераторных модулей с применением метода интенсификации теплопередачи для повышения их эффективности, формирование выводов и заключения, внедрение результатов диссертационного исследования в производственную деятельность ООО ФПК «Космос-Нефть-Газ» при проведении НИОКР, заключающейся в разработке и последующей модернизации термоэлектрической генераторной установки, принцип действия которой основан на совместном использовании вихревого эффекта Ранка-Хилша и термоэлектрического эффекта Зеебека.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Базыкин, Д.А. Экспериментальное исследование параметров оребрения при термостатировании поверхности каналов термоэлектрической генераторной установки / Д.А. Базыкин, С.В. Дахин, А.В. Бараков // Энергетик. – 2024. – № 6. – С. 15-20.

2. Базыкин, Д.А. Экспериментальное исследование методов повышения эффективности термоэлектрической генераторной установки / Д.А. Базыкин, С.В. Дахин, А.В. Бараков // Промышленная энергетика. – 2024. – № 3. – С. 24-30. – DOI 10.34831/EP.2024.28.76.004.

3. Базыкин, Д.А. Численное моделирование теплообмена и вариантов его интенсификации в профилированных каналах термоэлектрической генераторной

установки / Д.А. Базыкин, С.В. Дахин, А.В. Бараков // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2024. – № 1. – С. 82-92. – DOI 10.5281/zenodo.10974658.

4. Базыкин, Д.А. Результаты численного моделирования теплообмена при термостатировании поверхности каналов термоэлектрической генераторной установки / Д.А. Базыкин, Е.А. Орехов, С.В. Дахин // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2024. – № 3. – С. 144-154. – DOI 10.5281/zenodo.14018670.

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

На автореферат диссертации поступило 5 отзывов (все отзывы положительные), в них содержатся следующие **замечания**:

1. Шитов В.В., д.т.н., профессор, АНОО ВО «Международный институт компьютерных технологий»: отсутствуют сведения о способе получения критериального уравнения числа Нуссельта и о том, учитывались ли при этом зависимости $Nu=f(Re)$ одновременно для каналов холодного и горячего потоков; не указан профиль ребра переменной высоты.

2. Кузма-Кичта Ю.А., д.т.н., профессор, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»: из автореферата не ясно как определялась температура стенки канала и какова неопределенность измерения; из каких соображений выбиралась переменная высота оребрения?

3. Трубаев П.А., д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»: на рис. 3 данные зависимости $Nu=f(Re)$ без оребрения (кривые 2, 4) практически совпадают с данными при наличии оребрения (кривые 1, 3), но на рис. 4 для зависимости $\alpha = f(Re)$ эти кривые уже значительно различаются. Необходимо пояснить это различие; в

уравнениях (1) и (2) включены не описанные в автореферате условные значения « m_x », « m_f ».

4. Карнаух В.В., д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского»: следовало бы указать данные о потерях давления воздуха при движении в каналах без оребрения и с оребрением переменной высоты; руководствуясь данными, имеющимися в Главе 4 диссертации, вычислительный эксперимент был проведен не только для каналов без оребрения и с оребрением переменной высоты, но также и для каналов с оребрением фиксированной высоты с целью сравнения эффективности выравнивания температуры поверхности. Следовало отразить это в автореферате.

5. Бирюков А.Б., д.т.н., профессор, проректор, заведующий кафедрой технической теплофизики ФГБОУ ВО «ДонНТУ»; Гридин С.В., к.т.н., доцент, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики ФГБОУ ВО «ДонНТУ»: в тексте автореферата не приведены данные о ширине ребер и шаге продольного оребрения, что не позволяет оценить их роль в определении характеристик потока теплоносителя и, соответственно, в процессах теплопередачи; при анализе подхода (стр. 11), основанного на модельных представлениях массообмена в проточных каналах в рамках программной платформы ANSYS, необходимо учитывать тот факт, что при моделировании турбулентных потоков на базе уравнения Навье-Стокса в его форме, осредненной по Рейнольдсу (RANS), могут быть недооценены возможные явления, связанные с инерционными эффектами на стенках и вблизи их, а также возможные неустойчивости в потоке, что может повлиять на точность симуляций, особенно в условиях с высокими градиентами скорости и температуры. Во-вторых, использование модели турбулентности $k-\omega$ SST требует тщательного выбора начальных и граничных условий, чтобы избежать возникновения проблем, связанных с дроблением потока или неоптимальным разрешением сетки. Поскольку в автореферате граничные условия не приведены, остается неясным, как автор осуществлял этот выбор; на наш взгляд, перед проведением сравнительного анализа численного

моделирования и экспериментов на пилотной установке результаты, полученные с помощью модели турбулентности $k-\omega$ SST, следовало по возможности сравнить с более высокоточными моделями, такими как LES (Large Eddy Simulation) или DNS (Direct Numerical Simulation), чтобы дополнительно подтвердить их правильность и надежность.

Выбор официальных оппонентов обоснован их высокой компетентностью в области теплофизического эксперимента, теории подобия и положений теории тепломассообмена, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, а также их согласием.

Выбор ведущей организации обоснован ее достижениями в области развития теории тепломассообмена и способностью определить научную и практическую ценность диссертационной работы, а также ее согласием. Научно-исследовательская деятельность кафедры промышленной теплоэнергетики соответствует теме диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана** методика проведения натурного и вычислительного экспериментов для исследования температурного поля теплопередающих каналов с прямоугольным сечением и применением продольного оребрения переменной высоты, позволившая выявить резервы для повышения производительности термоэлектрических генераторных модулей;

- **предложены** способ повышения эффективности термоэлектрической генераторной установки, отличающийся использованием продольного оребрения переменной высоты на стенках каналов; эмпирическая зависимость для оценки числа Нуссельта, отличающаяся учетом коэффициента затенения проходного сечения канала;

- **доказано**, что при реализации метода интенсификации теплопередачи, в результате применения оребрения переменной высоты в каналах прямоугольного сечения возможно увеличение мощности генерируемого тока, по сравнению с неоребрёнными каналами, в среднем составляет 23,7 %, наибольший прирост равен 40,0 %;

- **введен** коэффициент затенения, характеризующий уменьшение проходного сечения проточного канала теплоносителя.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказана** возможность интенсификации теплопередачи и обеспечения однородности температурного поля теплопередающих каналов с прямоугольным сечением за счет применения продольного оребрения переменной высоты;

- **применительно** к проблематике диссертации использованы: метод инженерного расчета геометрических характеристик оребрения и метод конечных элементов численного интегрирования систем уравнений математической модели теплопереноса;

- **изложены** критериальные соотношения, определяющие интенсификацию теплоотдачи в каналах термоэлектрической генераторной установки;

- **раскрыты** основные факторы, повышающие эффективность термоэлектрических генераторных модулей, главный из которых – обеспечение однородности температурных полей стенок контактирующих с модулями теплопередающих каналов прямоугольного сечения за счет реализации в них оребрения переменной высоты;

- **изучены** основные закономерности процессов теплообмена в теплопередающих каналах прямоугольного сечения с применением в них оребрения переменной высоты;

- **проведена модернизация** критериального соотношения Нуссельта, в котором учитывается коэффициент затенения.

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

- **разработаны и внедрены** способ повышения производительности термоэлектрической генераторной установки эффектом нивелирования неоднородности температурного поля стенок каналов с применением продольного оребрения переменной высоты, синтезированная эмпирическая зависимость для числа Нуссельта с учетом затенения площади проходного сечения каналов, которая может быть использована при разработке термоэлектрических генераторных установок в различных предметно-ориентированных областях, предложенная численная модель позволяет прогнозировать поля давления, скорости и температуры потоков теплоносителей и температуру смоченных поверхностей канала для выбора рациональных режимов функционирования термоэлектрических генераторных установок;

- **определены** перспективы применения предложенного способа повышения производительности термоэлектрической генераторной установки в производственную деятельность ООО ФПК «Космос-Нефть-Газ»;

- **создана** методика расчета высоты оребрения для обеспечения однородности температурного поля стенок каналов прямоугольного сечения;

- **представлены** рекомендации по конструкции теплопередающих каналов прямоугольного сечения и способ для интенсификации теплопередачи между ними.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для экспериментальных работ использовалась пилотная опытно-промышленная термоэлектрическая генераторная установка, в составе которой содержится поверенное технологическое и измерительное оборудование, при проведении вычислительного эксперимента использовался специализированный программный комплекс;

- **теория** построена на фундаментальных законах явлений переноса и теплообмена;

- **идея базируется** на обеспечении однородности температурных полей стенок каналов прямоугольного сечения за счет применения оребрения переменной высоты;

- **использовано** сравнение полученных результатов вычислительных и натурных экспериментов, а также полученного эмпирического критериального соотношения Нуссельта с классическими соотношениями М.А. Михеева, Б.С. Петухова и В.В. Кириллова;

- **установлено**, что сравнительный анализ результатов вычислительных и натурных экспериментов показывает удовлетворительное их совпадение, а среднее отклонение значения числа Нуссельта, рассчитанного по полученной эмпирической зависимости, от числа Нуссельта, вычисленного по формуле М.А. Михеева, составляет 9,2 %, то же от числа Нуссельта по уравнению Б.С. Петухова и В.В. Кириллова, составляет 12,3 %;

- **использованы** пилотная опытно-промышленная термоэлектрическая генераторная установка, программный комплекс ANSYS и RANS подход к моделированию турбулентных течений.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке задачи; выборе и разработке методов исследования; непосредственное участие в проектировании и изготовлении пилотной опытно-промышленной термоэлектрической генераторной установки, получении результатов натурных и вычислительных экспериментов; обработке и обобщении полученных результатов исследования; рекомендациях по проектированию и расчету оребрения переменной высоты для обеспечения равномерности температуры стенки каналов прямоугольного сечения; личное участие в апробации результатов исследования; формировании выводов и заключения; внедрении результатов диссертационного исследования в производственную деятельность ООО ФПК «Космос-Нефть-Газ» при создании новых и для повышения эффективности существующих автономных источников электропитания на основе термоэлектрического эффекта Зеебека с применением вихревого эффекта Ранка-Хилша.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

Не приведена оценка экономического и энергетического эффектов при использовании способа интенсификации теплопередачи.

Соискатель Базыкин Д.А. согласился с замечаниями и учтет их в дальнейшей работе.

На заседании 24.04.2025 диссертационный совет принял решение за разработку способа интенсификации теплопередачи для повышения эффективности термоэлектрических генераторных модулей и его реализацию присудить Базыкину Денису Александровичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав диссертационного совета, проголосовали: за 11, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета

Ученый секретарь

диссертационного совета



Ряжских В.И.

Ряжских А.В.

24.04.2025 г.