

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 212.052.06 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 23.12.19 № 01-2019

О присуждении Евдулову Олегу Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Разработка устройств и систем для охлаждения на основе сильноточных термоэлектрических преобразователей энергии» по специальности 05.04.03 Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения принята к защите «19» сентября 2019 г., протокол № 2 диссертационным советом Д 212.052.06 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дагестанский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ, 367015, Республика Дагестан, город Махачкала, проспект Имама Шамиля, д. 70, совет утвержден Приказом Минобрнауки РФ №194/нк от 14.04.2014.

Соискатель Евдулов Олег Викторович, 1975 года рождения, в 1997 г. окончил Дагестанский государственный технический университет по специальности «Микроэлектроника и полупроводниковые приборы»; в 2002 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете по специальностям 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства радионавигации, радиолокации и телевидения», 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»; работает доцентом кафедры «Теоретическая и общая

электротехника», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дагестанский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ.

Диссертация выполнена на кафедре «Теоретическая и общая электротехника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дагестанский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный консультант - доктор технических наук, профессор Исмаилов Тагир Абдурашидович, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный технический университет», Президент университета, заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника».

Официальные оппоненты:

Галимова Лариса Васильевна - доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет», профессор кафедры «Теплоэнергетика и холодильные машины»; Чернышев Андрей Владимирович - доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры «Вакуумная и компрессорная техника»; Бабаев Баба Джабраилович - доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный университет», профессор кафедры «Инженерная физика» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский

национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», в своем положительном отзыве, подписанном Барановым Игорем Владимировичем, доктором технических наук, профессором, директором мегафакультета биотехнологий и низкотемпературных систем, и утвержденном проректором по научной работе Никифоровым Владимиром Олеговичем, доктором технических наук, профессором указала, что поставленные в диссертационной работе Евдулова О.В. задачи решены в полной мере, все тезисы и доводы аргументированы, материал изложен логично и последовательно. Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в 90 опубликованных работах и автореферате. В заключении отмечено, что диссертационная работа соответствует критериям, установленным Положением «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а соискатель заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора технических наук по специальности 05.04.03.

Соискатель имеет 90 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 90 работ (общий объем 49,135 п.л., авт. вклад – 21,75 п.л.): опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 28, в соавторстве - 28 (общий объем 18,02 п.л., авт. вклад – 9,27 п.л.); статьи по материалам всероссийских и международных конференций – 26, в соавторстве - 26 (общий объем 5,195 п.л., авт. вклад – 2,99 п.л.).

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Евдулов О.В. Результаты натурных испытаний опытного образца системы неравномерного охлаждения электронных плат / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Д.В. Евдулов // Термоэлектричество. - 2013. - № 5. - С. 84-92. (0,9/0,5 п.л.)

2. Евдулов О.В. Математическая модель термоэлектрической системы для локального теплового воздействия на руку человека / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, М.А. Хазамова, Р.А.-М. Магомадов // Термоэлектричество. - 2014. - № 1. - С. 77-86. (1,0/0,5 п.л.)

3. Евдулов О.В. Теоретические исследования термоэлектрического элемента слоистых конструкций / О.В. Евдулов, Д.В. Евдулов // Термоэлектричество. - 2015. - № 2. - С. 62-71. (1,06/0,7 п.л.)
4. Евдулов О.В. Исследование термоэлектрической системы для локального замораживания тканей гортани / О.В. Евдулов, Т.А. Рагимова // Термоэлектричество. - 2015. - № 2. - С. 86-94. (0,75/0,37 п.л.)
5. Евдулов О.В. Результаты теоретических исследований системы охлаждения элементов РЭА, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Д.В. Евдулов // Термоэлектричество. - 2015. - № 6. - С. 74-87. (1,4/0,9 п.л.)
6. Евдулов О.В. Модель термоэлектрического устройства для проведения тепловых косметологических процедур / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, У.И. Абдулхакимов, Д.В. Евдулов, Н.А. Набиев // Термоэлектричество. - 2016. - № 5. - С. 80-86. (0,75/0,4 п.л.)
7. Евдулов О.В. Термоэлектрическая система для проведения тепловых косметологических процедур на лице / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, У.И. Абдулхакимов, Д.В. Евдулов // Медицинская техника. - 2017. - №4. С. 38-42. (0,5/0,2 п.л.)
8. Евдулов О.В. Термоэлектрическое устройство для остановки кровотечения / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Т.А. Рагимова, Н.А. Набиев // Медицинская техника. - 2019. - №2. - С. 12-14. (0,35/0,15 п.л.)
9. Евдулов О.В. Термоэлектрические системы для термостабилизации малогабаритной радиоэлектронной аппаратуры / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов // Холодильная техника. - 2002. - №8. - С. 19-20. (0,25/0,15 п.л.)
10. Евдулов О.В. Проектирование устройств для охлаждения элементов радиоэлектронной аппаратуры, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, М.М. Махмудова // Проектирование и технология электронных средств. - 2007. - №9. - С. 23-28. (0,69/0,3 п.л.)

11. Евдулов О.В. Расчет теплового поля и поля термомеханических напряжений сильноточного термоэлемента слоистой конструкции // Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Д.В. Евдулов // Вестник МАХ. - 2008. - № 4. - С. 28-32. (0,52/0,25 п.л.)

12. Евдулов О.В. Исследование системы охлаждения элементов радиоэлектронной аппаратуры, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, М.М. Махмудова, Д.В. Евдулов // Известия вузов России. Радиоэлектроника. - 2008. - №5. - С. 52-59. (0,93/0,4 п.л.)

13. Евдулов О.В. Экспериментальный стенд для измерения рабочих характеристик термоэлектрического устройства для локального замораживания тканей гортани / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Т.А. Рагимова // Ползуновский вестник. - 2010. - №2. - С. 167-170. (0,37/0,15 п.л.)

14. Евдулов О.В. Расчет температурного поля зоны человеческого организма при локальном тепловом воздействии устройством на базе полупроводниковых термоэлектрических преобразователей / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, М.А. Хазамова // Вестник МАХ. - 2010. - № 1. - С. 40-44. (0,5/0,2 п.л.)

15. Евдулов О.В. Математическое моделирование системы неравномерного охлаждения электронных плат при совместном использовании плавящихся рабочих веществ и термоэлектрического метода преобразования энергии / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, М.У. Агаев // Известия вузов России. Радиоэлектроника. - 2010. - №6. - С. 51-58. (0,87/0,4 п.л.)

16. Евдулов О.В. Экспериментальные исследования охлаждающей системы на базе сильноточных термоэлектрических батарей слоистой конструкции с цельнометаллическими теплопроводами / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Д.В. Евдулов // Вестник МАХ. - 2011. - № 1. - С. 43-46. (0,35/0,15 п.л.)

17. Евдулов, О.В. Экспериментальный стенд для исследования системы неравномерного охлаждения электронных плат / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, И.А. Габитов // Ползуновский вестник. - 2011. - №3. - С. 148-151. (0,45/0,2 п.л.)

18. Евдулов О.В. Измерение температурных характеристик опытного образца системы охлаждения элементов РЭА с повторно-кратковременными тепловыделениями / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Д.В. Евдулов // Ползуновский вестник. - 2012. - №2. - С. 177-180. (0,34/0,2 п.л.)

19. Евдулов О.В. Термоэлектрические приборы для контрастного теплового воздействия на отдельные зоны человеческого организма / О.В. Евдулов, А.Р. Базаев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2013. - № 1. - С. 11-16. (0,72/0,45 п.л.)

20. Евдулов О.В. Экспериментальные исследования термоэлектрической системы для теплового воздействия на отдельные зоны руки / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, М.А. Хазамова, Р.А.-М. Магомадов // Вестник МАХ. - 2014. - № 4. - С. 54-58. (0,37/0,2 п.л.)

21. Евдулов О.В. Модель системы неравномерного охлаждения электронных плат / О.В. Евдулов, Д.В. Евдулов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2016. - № 2. - С. 61-67. (0,6/0,4 п.л.)

22. Евдулов О.В. Термоэлектрическое полупроводниковое устройство для остановки кровотока / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Н.А. Набиев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2017. - № 1. - С. 26-36. (0,75/0,4 п.л.)

23. Евдулов О.В. Моделирование и теоретическое исследование термоэлектрической системы для внутриполостной гипотермии / О.В. Евдулов, Р.А.-М. Магомадов, С.Г. Магомедова, Н.А. Набиев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2018. - т. 45, № 4. - С. 32-41. (0,77/0,35 п.л.)

24. Евдулов О.В. Экспериментальные исследования термоэлектрического устройства для внутрисполостной гипотермии / О.В. Евдулов, С.Г. Магомедова, К.А. Магомедова, Н.А. Набиев // Холодильная техника. - 2019. - № 4. - С. 31-35. (0,4/0,2 п.л.)

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от:

1) Галимовой Ларисы Васильевны, доктора технических наук, профессора кафедры «Теплоэнергетика и холодильные машины» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Астраханский государственный технический университет» (г. Астрахань) (официальный оппонент).

Замечания: цель и задачи диссертационной работы, а также пункты новизны описаны излишне подробно, их можно было бы изложить более обобщенно и лаконично; в первой главе излишне подробно рассмотрены методы исследования термоэлектрических преобразователей энергии и устройств на их основе, можно было бы ограничиться некоторой классификационной схемой, где были бы перечислены эти методы; в математической модели, описывающей процесс фазового перехода рабочего вещества, не учтена конвекция в его жидкой фазе; в работе указана целесообразность повышения эффективной теплопроводности плавящегося рабочего вещества за счет использования различных наполнителей и оребрения, однако не приведены конкретные результаты вычислений и эксперимента; в представленных рисунках есть некоторые несоответствия (например, обозначения на рисунке 2.1 не соответствуют обозначениям на рисунке 2.9); в тексте встречаются грамматические неточности.

2) Чернышева Андрея Владимировича, доктора технических наук, профессора кафедры «Вакуумная и компрессорная техника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (г. Москва) (официальный оппонент).

Замечания: в главе 1 не подведен итог обзора методов исследования и математических моделей рабочих процессов в термоэлектрических преобразователях энергии и в устройствах на их основе; название главы 2 «Моделирование процессов теплопередачи и термоупругости для единичного слоистого термоэлемента» правильно начать со слова «Математическое»; в математической модели термоэлемента нет учета таких базовых эффектов как Пельтье, Томсона и Зеебека, автор включил в математическую модель эффект Джоуля, как источника тепла, и описание теплопроводности по слоям элемента; стр.55, автор пишет: «Решение трехмерной нестационарной задачи теплопроводности для условий, соответствующих (2.1) - (2.2), вызывает определенные трудности, поэтому имеет смысл упростить математическую формулировку задачи расчета теплообмена в слоистом ТЭ», но автор не обосновывает и не оценивает результат упрощения математической модели; в главе 3 указывается: «Для охлаждения РЭА, работающей в режиме повторно-кратковременных тепловых нагрузок, перспективным является метод, основанный на использовании плавящихся тепловых аккумуляторов со стабильной температурой и высокой теплотой плавления», но нет данных о длительности выдержки и частоте переключений, это важно для динамического расчета теплового состояния изделия; в главе 3 используется термин «затвердевание» (разделы 3.1.1, стр.78 и 3.1.2, стр.89), процесс перехода из жидкого состояния в твердое называется кристаллизация или стеклование, стеклование - переход аморфного вещества из жидкого в твердое состояние, парафин, используемый в данной работе, является телом с кристаллической решеткой; решению каких задач диссертации соответствует глава 4; автор не приводит сведений по теплофизическим свойствам живой ткани, без которых выполнять тепловой расчет, приведенный в главе 4 не корректно; при описании экспериментальных стендов и методики проведения исследований не приводятся сведения по техническим характеристикам средств измерения.

3) Бабаева Баба Джабраиловича, доктора технических наук, профессора кафедры «Инженерная физика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дагестанский государственный университет» (г. Махачкала) (официальный оппонент).

Замечания: в математической модели, описывающей процессы плавления и затвердевания веществ, не учтена зависимость их параметров от температуры, а также деградация характеристик; в выражениях (3.8) и (3.9) присутствуют показатели степени n_1 и n_2 , определяемые экспериментально, в работе не указано, каким образом определялась их величина; в расчетах слоистых термоэлементов принимается одна величина питающего тока, а в главе посвященной экспериментам указывается другая; двумерные графики мало информативны и носят скорее «декоративный» характер; в работе отсутствуют экономические показатели разработанных устройств, хотя наверное это могло и не входить в задачи диссертационного исследования.

4) Баранова Игоря Владимировича, доктора технических наук, профессора, директора мегафакультета биотехнологий и низкотемпературных систем Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (г. Санкт-Петербург) (ведущая организация).

Замечания: в первой главе имело бы смысл привести обобщенную классификационную схему по областям практического использования термоэлектрических охлаждающих устройств; во второй главе помимо температурного поля слоистого и классического П-образного термоэлемента интерес представляет анализ характера распределения тепловых потоков; при расчете температурного поля электронной платы в математической модели не учтено тепловое сопротивление ее основания; при построении математических моделей термоэлектрических устройств для локального теплового воздействия на отдельные зоны человеческого организма не

рассмотрен характер зависимости тепловых режимов приборов от силы тока питания термоэлектрических батарей; при оценке погрешности измерений методика ее расчета приведена очень сокращенно; на стр. 50 величина, имеющая размерность плотности теплового потока названа коэффициентом теплообмена; в диссертации не рассмотрены технико-экономические показатели разработанных приборов.

5) Юркевича Евгения Владимировича, доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН» (г. Москва).

Замечания: в автореферате не приведены конкретные технико-экономические показатели разработанных систем (массогабаритные показатели, потребляемая электрическая мощность, оценочная стоимость и др.); крайне скупо описаны граничные условия в модели слоистого термоэлемента, описывающей теплофизические процессы в нем; очень сокращенно описаны результаты натурных испытаний приборов.

6) Маркова Олега Ивановича, доктора физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой экспериментальной и теоретической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (г. Орел).

Замечания отсутствуют.

7) Ключева Николая Ильича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой математического моделирования в механике Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (г. Самара).

Замечание: к сожалению, из автореферата не ясно, какой термоэлектрический материал практически использован для изготовления

слоистых термоэлементов, приведенное значение дифференциальной термо-э.д.с. в математических моделях в значительной степени условно.

8) Шелковникова Евгения Юрьевича, доктора технических наук, профессора, ведущего научного сотрудника лаборатории информационно-измерительных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт механики Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН» (г. Ижевск).

Замечания: приведенные двумерные графики температурных полей и полей термомеханических напряжений не вполне информативны; автором достаточно сжато выполнено описание конструкций разработанных устройств.

9) Якунина Алексея Григорьевича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой информатики, вычислительной техники и информационной безопасности, заведующего лабораторией информационно-измерительных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет» (г. Барнаул).

Замечания: на мой взгляд, следовало бы подробнее описать методику расчета теплообмена при фазовом переходе рабочего вещества в системе отвода теплоты от РЭА, основанной на совместном использовании плавящихся тепловых аккумуляторов и термоэлектрических преобразователей; в автореферате не представлены экспериментальные графики; в практической значимости работы не отмечено в явном виде, что же дает применение ее результатов с позиции улучшения эксплуатационных характеристик и технико-экономических показателей устройств охлаждения и иного теплового воздействия.

10) Юрченко Алексея Васильевича, доктора технических наук, профессора Школы физики высокоэнергетических процессов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего

образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск).

Замечания: в автореферате не указано, каким образом осуществлялась обработка экспериментальных данных; желательно было бы указать, каким образом результаты исследований внедрены в производство, клиническую практику и учебный процесс.

11) Керимова Ибрагима Ахмедовича, доктора физико-математических наук, профессора, вице-президента Государственного казенного научного учреждения «Академия наук Чеченской Республики» (г. Грозный).

Замечание: из замеченных недостатков следует отметить отсутствие в автореферате данных по медицинской апробации приборов.

12) Кожемякина Геннадия Николаевича, доктора технических наук, профессора, ведущего научного сотрудника лаборатории космического материаловедения ИК РАН - филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» РАН (г. Калуга).

Замечание: в автореферате при описании расчетов в главе 2 не указаны материалы р и п ветвей термоэлектрической батареи.

13) Фролова Александра Борисовича, доктора технических наук, профессора кафедры математического моделирования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва).

Замечание: в качестве замечаний отмечу отсутствие информации о методике численного решения дифференциальных уравнений, описывающих теплофизические процессы в разработанных системах.

14) Гукасяна Александра Валерьевича, кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой технологического оборудования и систем жизнеобеспечения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский

государственный технологический университет» (г. Краснодар), **Косачева Вячеслава Степановича**, доктора технических наук, профессора той же кафедры.

Замечания: отсутствие учета конвективных потоков в жидкой фазе рабочего вещества при моделировании работы системы отвода теплоты, реализованной путем совместного использования термоэлектрических преобразователей и плавящихся рабочих веществ; термин «сильноточные» достаточно специфичен, и на наш взгляд, может быть заменен термином «сильноточковые»; на стр.18 автореферата фраза «...имеет место трата энергии...» может быть представлена как «...имеют место потери энергии...».

15) Хачумова Вячеслава Михайловича, доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника, заведующего лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт программных систем имени А.К. Айламазяна» РАН (г. Москва).

Замечания: излишне подробно описаны пункты диссертационной работы, представляющие ее новизну; недостаточно подробно рассмотрены численные методы, используемые для расчета систем дифференциальных уравнений, описывающих теплофизические процессы в термоэлектрических системах.

16) Исмаилова Муслима Исмаиловича, доктора медицинских наук, профессора, директора Автономной медицинской некоммерческой организации «Центр медицины высоких технологий имени И.Ш. Исмаилова» (г. Махачкала).

Замечания отсутствуют.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой профессиональной компетенцией, которая подтверждается наличием научных публикаций по тематике рассматриваемой диссертации, отраженных в сведениях об оппонентах и ведущей организации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **разработана** научная идея, обогащающая концепцию создания термоэлектрических охлаждающих устройств и систем, реализуемая в условиях современных требований к миниатюризации и повышению плотности тепловых потоков холодильного оборудования, состоящая в повышении эффективности и надежности работы приборов за счет улучшения термомеханических характеристик входящих в их состав термоэлементов, рассчитанных на работу при больших токах питания;

– **предложен** новый подход к проектированию охлаждающих приборов на базе термоэлектрических преобразователей энергии, при котором в качестве источника холода используются сильноточные термоэлементы, в том числе слоистой конструкции, с улучшенными термомеханическими характеристиками, учитывающий специфику объектов охлаждения, режимов теплового воздействия, а также возможность совместного использования термоэлементов с плавящимися тепловыми аккумуляторами;

– **доказана** перспективность охлаждения объектов с использованием устройств и систем, в которых воздействующим элементом являются сильноточные термоэлементы, в том числе слоистой конструкции, с улучшенными термомеханическими характеристиками, адекватность разработанных математических моделей, практическая значимость исследований путем внедрения предложенных идей в практику производства холодильного оборудования;

– **введено** понятие слоистого термоэлемента, в конструкции которого направление теплового потока и питающего электрического тока совпадают, а сам он характеризуется повышенными термомеханическими характеристиками.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

– **доказаны** положения, расширяющие границы применимости сильноточных термоэлектрических преобразователей энергии в современном холодильном и теплофизическом приборостроении, касающиеся возможности создания новых охлаждающих устройств и систем для обеспечения

температурных режимов работы элементов РЭА, а также для использования в медицине при проведении тепловых физиотерапевтических процедур;

– **применительно к проблематике диссертации результативно (с получением обладающих новизной результатов) использован** комплекс существующих базовых методов исследования и современная материально-техническая база Научно-исследовательского института «Полупроводниковые термоэлектрические приборы и устройства», функционирующего при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Дагестанский государственный технический университет». Моделирование теплофизических процессов в разработанных устройствах и системах осуществлялось с использованием пакетов прикладных программ MathCad, Elcut. Натурные испытания опытных образцов производились с использованием измерительного комплекса ИРТМ 2402/МЗ с функцией подключения и обработки данных на ПЭВМ;

– **изложена** рабочая концепция, подтвержденная как результатами расчетов, так и эксперимента, о возможности существенного улучшения термомеханических характеристик термоэлектрических охладителей за счет использования в них высокоточных термоэлементов слоистой конструкции, повышения надежности работы приборов путем совместного применения термоэлектрических преобразователей энергии и плавящихся тепловых аккумуляторов. Для этого автором изучен и проанализирован опыт ведущих научных школ и ученых страны и мира: А.Ф. Иоффе, А.И. Бурштейна, Л.С. Стельбанса, А.Е. Коленко, Л.И. Анатычука, Н.В. Коломойца, Н.Х. Абрикосова, Е.К. Иорданишвили, М.А. Каганова, М.Р. Привина, Ю.Н. Цветкова, Т.А. Исмаилова, И.В. Зорина, А.Л. Вайнера, В.А. Семенюка, Л.П. Булата, Д. Голдсмида, Р. Байста, Д. Шарпа, Л. Белла, Ю. Гуревича, Х.Г. Виана, Л. Чена, Т. Кадзикава, А.И. Касияна, М. Дрессельхаус и других;

– **раскрыты** закономерности протекания теплофизических процессов в термоэлектрических охлаждающих устройствах и системах, выполненных на базе высокоточных термоэлементов, в том числе слоистой конструкции, с

использованием плавящихся тепловых аккумуляторов для отвода теплоты от элементов РЭА, а также для проведения тепловых физиотерапевтических процедур с учетом свойств объектов воздействия;

– **изучены** возможности оптимизации конструкций охлаждающих устройств и систем, реализованных на основе рассмотренного в диссертации подхода, за счет подбора соответствующих параметров термоэлементов, типов плавящихся тепловых аккумуляторов, режимов их работы, свойств объектов воздействия и условий их сопряжения с разработанными приборами;

– **проведена модернизация** методики проектирования охлаждающих термоэлектрических приборов, построенных на их основе технических средств для обеспечения температурных режимов работы элементов РЭА, а также медицинского назначения, за счет использования при расчетах разработанных математических моделей, учитывающих теплофизические характеристики термоэлементов, плавящихся тепловых аккумуляторов, свойств биологических объектов воздействия.

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

– **разработаны и внедрены**

в производство ОАО «Концерн КЭМЗ» (г. Кизляр) конструктивное решение, расчетные соотношения и результаты численного эксперимента системы обеспечения температурного режима работы информационно-диагностического средства АРМ ДК-30, предусматривающие совместное использование плавящихся тепловых аккумуляторов и термоэлектрических батарей; ООО «НПФ Промавтоматика» (г. Барнаул) метод неравномерного охлаждения электронных плат и методика расчета реализующей его системы для обеспечения температурных режимов работы отдельных блоков программно-технического комплекса VisScada/RoboPlant автоматизированной системы управления технологическим процессом; АО «ДНИИ «Волна» (г. Дербент) конструктивное решение, расчетные соотношения и результаты натурных испытаний системы охлаждения РЭА, предусматривающие

использование плавящихся тепловых аккумуляторов с дополнительным теплоотводом посредством термоэлектрических батарей; ООО «Эрфольг» (г. Грозный) термоэлектрическая система для проведения тепловых процедур в косметологии с соответствующей конструкторской документацией;

в клиническую практику ГБУ «Республиканский кожно-венерологический диспансер» (г. Грозный), АМНО «Центр медицины высоких технологий» (г. Махачкала) термоэлектрические устройства для теплового воздействия на отдельные зоны человеческого организма и методики проведения процедур с их использованием;

в учебный процесс подготовки магистров, обучающихся по направлению 13.04.02 - «Электроэнергетика и электротехника» математические модели и конструкции термоэлектрических охлаждающих устройств, результаты их теоретических исследований и экспериментальных испытаний в качестве составляющих курсов лекций, а также в качестве наглядного пособия для проведения практических и лабораторных занятий по дисциплинам «Преобразование возобновляемых видов энергии и установки на их основе», «Современные проблемы электроэнергетики», «Новые источники и средства передачи электроэнергии» на кафедре «Теоретическая и общая электротехника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дагестанский государственный технический университет»; подготовки бакалавров, обучающихся по направлению 13.04.02 - «Электроэнергетика и электротехника» полупроводниковые термоэлектрические охлаждающие системы, предназначенные для теплового воздействия на объект по заданной программе, их математические модели в качестве составляющих курсов лекций, при формировании учебных лабораторных стендов для выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Электрические и электронные аппараты», «Теплотехника и гидравлика» на кафедре «Электротехника и электропривод» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Грозненский

государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова»;

– **определены** перспективы практического применения результатов работы в организациях и учреждениях, занимающихся разработкой холодильного, радиоэлектронного и медицинского оборудования, в частности технических средств, обеспечивающих температурные режимы работы РЭА, предназначенных для проведения тепловых физиотерапевтических процедур;

– **созданы** конструкции и модели термоэлектрических охлаждающих систем, которые могут быть положены в дальнейшем за основу инженерных расчетов оборудования холодильной техники;

– **представлены** рекомендации по эксплуатации разработанных приборов на практике, в частности режимные характеристики, условия использования и ограничения по применению относительно выделяемых тепловых мощностей, быстродействия и температурного уровня.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном, метрологически поверенном оборудовании: для проведения теплофизических измерений использован комплекс ИРТМ 2402/МЗ, связанный с ПЭВМ, для электрических измерений – цифровые амперметры и вольтметры, натурные испытания опытных образцов охлаждающих приборов проводились на основе стандартных, общепризнанных методик в соответствии с действующими нормативными документами;

– **теория** построена на известных положениях и методах моделирования теплофизических и термомеханических процессов, теории теплопроводности твердых тел, конвективного теплообмена, фазовых переходов, численных методах решения систем дифференциальных уравнений;

– **результаты базируются** на теоретических положениях и обобщении передового опыта в области проектирования термоэлектрических

охлаждающих устройств и систем, приборов для обеспечения температурных режимов работы элементов РЭА и медицинского назначения;

– **использованы** методики и модели, соответствующие современному уровню исследований в области создания эффективных термоэлектрических охладителей, предназначенных для использования в радиоэлектронике и медицине;

– **установлено**, что результаты экспериментальных исследований не противоречат данным, представленным в ведущих научных изданиях по тематике диссертации;

– **использованы** современные методики сбора и обработки информации, в частности комплекс лицензионных специализированных программных средств по компьютерной обработке результатов моделирования, в частности пакеты прикладных программ MathCad, Elcut для решения систем дифференциальных уравнений в частных производных, а также приложения Excel и Word базы Microsoft Office.

Личный вклад соискателя состоит в:

1) создании математической модели слоистого термоэлемента, построенной на основе решения двумерной нестационарной задачи теплопроводности и термоупругости для многослойной системы сложной конфигурации с граничными условиями второго и третьего рода, отличающейся возможностью учета теплового расширения и сжатия материалов;

2) получении закономерностей, отражающих зависимость значений термомеханических напряжений и деформаций в термоэлементе как слоистой, так и классической П-образной конструкции от температурного поля, температурных коэффициентов линейного расширения и механических характеристик составляющих его материалов, позволяющих оптимизировать конструкцию термоэлектрической системы с точки зрения ее термомеханической надежности;

3) разработке метода отвода теплоты от элементов РЭА, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловых нагрузок, состоящего в использовании плавящихся рабочих веществ с дополнительным теплоотводом посредством сильноточных термоэлектрических батарей во время паузы в работе аппаратуры, позволяющего повысить продолжительность цикла работы радиоэлектронного устройства за счет сокращения продолжительности затвердевания рабочего агента;

4) разработке метода неравномерного охлаждения электронных плат, основанного на совместном использовании плавящихся рабочих веществ и сильноточных термоэлектрических батарей, отличающегося тем, что основной отвод теплоты от элементов РЭА производится в плавящийся агент, а термобатареи осуществляют дополнительное охлаждение наиболее тепловыделяющих объектов;

5) создании математических моделей систем охлаждения, построенных на основе решения «задачи Стефана», отличающихся возможностью учета в их конструкции термоэлектрических батарей путем введения в математические соотношения тепловых потоков, соответствующих холодопроизводительности батарей, а также оптимизацией температурных полей элементов РЭА;

6) разработке метода теплового воздействия на биологически активные точки и отдельные зоны человеческого организма с использованием сильноточных термобатарей, позволяющего сочетать в себе режимы работы, связанные как с охлаждением, так и нагревом рефлексогенных зон, а также их чередованием с высокой интенсивностью в соответствие с типом процедуры;

7) создании математической модели термоэлектрической системы для теплового воздействия на биологически активные точки, основанной на решении одномерной нестационарной задачи теплопроводности, в которой термоэлектрическая батарея представлена в виде цельной конструкции, обладающей определенным значением эффективного коэффициента теплопроводности и электрического сопротивления, характеризующейся

выделением теплоты Джоуля в объеме и теплоты Пельтье на поверхностях, также отличающаяся учетом плотности контакта прибора и биологического объекта;

8) создании математической модели системы для местного теплового воздействия на отдельные зоны поверхности тела человека, построенной на решении двумерной нестационарной задачи теплопроводности с дискретными источниками теплоты произвольной конфигурации, учитывающей теплофизические свойства объекта воздействия;

9) разработке способа внутрисполостного теплового воздействия с использованием высокоточных термоэлектрических преобразователей энергии, учитывающего сложности доступа и ограничения по площади сопряжения исполнительного элемента с объектом воздействия;

10) создании квазистационарной математической модели термоэлектрической системы для внутрисполостного теплового воздействия, отличающейся тем, что она рассматривает последнюю как совокупность взаимосвязанных между собой теплообменных систем, термобатареи и теплопровода, характеризующихся теплоемкостью, теплопроводностью и тепловым сопротивлением и позволяющей оценить продолжительность выхода прибора на рабочий режим с учетом теплофизических свойств биологического объекта;

11) получении функциональных закономерностей, представленных в виде графиков изменения температуры в пространственных и временных координатах по перечисленным выше моделям, подтвержденных экспериментом, при различных величинах холодопроизводительности термоэлектрических батарей, типах плавящихся рабочих веществ, ограничениях в условиях теплообмена, позволяющих осуществлять эффективное проектирование охлаждающих систем и приборов для радиоэлектроники и медицины;

12) при апробации результатов диссертационной работы в ОАО «Концерн КЭМЗ» (г. Кизляр), ООО «Эрфольг» (г. Грозный), ООО «НПФ

Промавтоматика» (г. Барнаул), АО «ДНИИ Волна» (г. Дербент), ГБУ «Республиканский кожно-венерологический диспансер» (г. Грозный), АМНО «Центр медицины высоких технологий» (г. Махачкала);

13) в подготовке 90 научных работ, в том числе 2 монографий, 8 статей в журналах, входящих в базу данных Scopus, 20 статей в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации, 34 патентов на изобретение Российской Федерации.

Диссертация полностью охватывает цель исследования и поставленные задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, основной идейной линии и взаимосвязи выводов. Все заимствования оформлены надлежащим образом.

На заседании 23 декабря 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Евдулову Олегу Викторовичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 15 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвующих в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета (из них дополнительно введено на разовую защиту - нет), проголосовали: за - 15, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председательствующий на заседании
диссертационного совета

Ахмедов Ганапи Янгиевич

Ученый секретарь заседания
диссертационного совета

Ахмедов Магомед Эминович

23.12.2019 г.