

## Отзыв

официального оппонента - доктора технических наук, доцента Бабаева Баба Джабраиловича на диссертационную работу Евдулова Олега Викторовича на тему "Разработка устройств и систем для охлаждения на основе сильноточных термоэлектрических преобразователей энергии", представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.04.03 - машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения

### 1. Общая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Основная часть работа изложена 271 стр., диссертация содержит 147 рисунков и 2 таблицы, список литературы состоит из 228 наименований.

*Во введении* обосновывается актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая значимость темы диссертации, дается характеристика содержания работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* дается краткий обзор современного состояния в области проектирования термоэлектрических преобразователей и устройств на их основе. Рассмотрены основные области применения термоэлектрических охлаждающих приборов и систем, методы их моделирования и исследования. Отмечены существующие проблемы, ограничивающие практическое использование термоэлектрической техники, состоящие в отсутствии эффективных материалов, а также низкой эффективности и надежности термоэлектрических преобразователей, мощность которых превышает 0,5 кВт. На основе проведенного критического обзора литературных источников определены задачи диссертационной работы. Они состоят в повышении эффективности охлаждающих термоэлектрических систем за счет использования в них сильноточных термоэлементов с улучшенными термомеханическими характеристиками.

По первой главе можно отметить хорошую осведомленность автора об уровне современного состояния рассматриваемой проблемы и знания специальной литературы.

*Вторая глава* диссертационной работы посвящена математическому моделированию и исследованию сильноточных термоэлементов слоистой конструкции, к которым направление электрического тока и теплового потока совпадают. Разработана тепловая и термомеханическая модель такого единичного термоэлемента, построенные на основе решения двумерных нестационарных задач теплопроводности и термоупругости для многослойной структуры сложной конфигурации с граничными условиями второго и третьего рода. Получены двумерные и одномерные графики изменения температуры и термомеханических напряжений в слоистом термоэлементе и термоэлементе классической П-образной формы. Результаты расчетов подтвердили эффективность слоистого исполнения термоэлементов в случае питания их большими токами.

*В третьей главе* представлены результаты математического моделирования теплофизических процессов в системах охлаждения элементов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) на базе совместного использования плавящихся рабочих веществ и сильноточных термоэлектрических преобразователей. Расчет теплообмена при плавлении и затвердевании веществ произведен на основе решения задачи "Стефана", получены данные об изменении температуры, а также перемещении границы раздела фаз по толщине агентов, во времени. Также рассмотрена модель системы неравномерного охлаждения электронных плат, связанная с оптимизацией их температурного поля.

На мой взгляд, математическая постановка задач и ее решение корректны. Вводимые допущения обоснованы. Результаты расчетов показали эффективность использования предложенных систем для отвода теплоты от элементов РЭА.

*Четвертая глава* посвящена математическому моделированию и изучению процессов теплопередачи в термоэлектрических системах медицинского назначения. Рассмотрены системы для теплового воздействия на биологически активные точки и отдельные зоны тела человека, внутренние полости. Математические модели построены на основе решения задачи нестационарной теплопроводности для неоднородной среды,

состоящей из нескольких элементов с различными теплофизическими характеристиками. Получены зависимости изменения температуры в контрольных точках система - объект воздействия в зависимости от параметров термоэлектрических преобразователей, внешних условий для случаев равномерного и контрастного теплового воздействия. Здесь также следует отметить корректность постановки математической задачи и ее расчета.

*В пятой главе* работы приведены результаты экспериментальных исследований разработанных охлаждающих систем. На основе сопоставления полученных экспериментальных результатов и расчетных данных можно сделать вывод об их сходимости. Данное обстоятельство позволяет говорить о достаточной точности разработанных математических моделей.

*Шестая глава* посвящена описанию конструкций охлаждающих устройств, выполненных на основе высокоточных термоэлектрических преобразователей энергии, методик их использования на практике.

*В заключении* сделаны выводы по полученным в диссертационной работе результатам.

*В приложении* приведены акты внедрения результатов диссертационных исследований, полученные автором медали и дипломы различных выставок и конкурсов.

## **2. Актуальность темы диссертационной работы**

Диссертационная работа Евдулова О.В. посвящена разработке и исследованию новых конструкций охлаждающих систем, выполненных на основе высокоточных термоэлектрических преобразователей энергии в слоистом исполнении, отличающихся высокими термомеханическими характеристиками. Работа в данном направлении является актуальной и важной, так как повышение термодинамических и механических характеристик термоэлектрических преобразователей, используемых в такого рода аппаратуре повышает ее надежность, увеличивает срок службы, расширяет область практического использования. Оптимизация энергетических и надежностных параметров термоэлектрических приборов даст возможность чаще применять их разработчиками для обеспечения

требуемых температурных режимов работы различного рода техники, работающей в условиях высоких тепловых нагрузок.

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность и достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертационной работе, подтверждается соответствием предложенных математических моделей реальным процессам теплообмена, протекающим в охлаждающих системах, корректным использованием современных математических методов исследования, достаточной аргументированностью принятых допущений, соответствием теоретических и экспериментальных данных.

### **4. Научная новизна работы**

Научная новизна диссертационной работы несомненна и заключается в разработке нового подхода к построению охлаждающих систем для различных отраслей техники, состоящего в использовании в качестве источника холода высокоэффективных термоэлектрических преобразователей энергии в слоистом и классическом П-образном исполнении с улучшенными термомеханическими характеристиками, учитывающем специфику объектов воздействия. К новым результатам также относятся созданные математические модели систем охлаждения элементов радиоэлектроники, а также медицинского назначения, построенные на данном принципе, теоретические и экспериментальные данные. Новизна исследований подтверждается большим количеством патентов на изобретение, полученных автором, публикациями в ведущих научных журналах, апробацией на международных и всероссийских научно-технических конференциях.

### **5. Практическая значимость результатов работы**

Практическая значимость диссертации состоит в том, что:

- использование высокоэффективных термоэлементов слоистой конструкции в термоэлектрических системах дает возможность повысить надежность их работы и срок службы;

- применение разработанных систем в радиоэлектронике и медицине позволяет обеспечить требуемые режимы работы аппаратуры, а также эффективность проведения лечебных физиотерапевтических процедур;
- результаты диссертационной работы внедрены в производственную и клиническую практику различных учреждений, учебный процесс высших учебных заведений.

#### **6. Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации**

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертационной работы и полученные научные результаты, которые изложены в 90 работах, в том числе 2 монографиях, 8 статьях в журналах, входящих в базу данных Scopus, 20 статьях в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 34 патентах на изобретение РФ.

#### **7. Соответствие темы диссертации заявленной научной специальности**

Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 05.04.03 - машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения: п. 1 - изучение общих свойств и принципов функционирования машин и аппаратов холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения, разработка научно-методических основ создания систем установок и агрегатов и рабочих тел с планируемыми свойствами.

#### **8. Замечания по работе**

1. В математической модели, описывающей процессы плавления и затвердевания веществ, не учтена зависимость их параметров от температуры, а также деградация характеристик.
2. 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.
3. В расчетах слоистых термоэлементов принимается одна величина питающего тока, а в главе посвященной экспериментам указывается другая.
4. Двумерные графики мало информативны и носят скорее "декоративный" характер.

5. В работе отсутствуют экономические показатели разработанных устройств, хотя наверное это могло и не входить в задачи диссертационного исследования.

Отмеченные недостатки не снижают положительного впечатления о диссертационном исследовании.

### Заключение по работе

Диссертационная работа Евдулова Олега Викторовича "Разработка устройств и систем для охлаждения на основе высокоточных термоэлектрических преобразователей энергии" является законченной самостоятельно выполненной на актуальную тему научной работой. Она соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.04.03 – машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения.

Официальный оппонент, д.т.н. (05.14.01),

доцент, профессор кафедры

"Инженерная физика"

ФГБОУ ВО "Дагестанский

государственный университет"

Бабаев Баба Джабраилович

Почтовый адрес:

367025, г. Махачкала, ул. Гаджиева 43-а

Тел.: 89673978881

E-mail: bdbabaev@yandex.ru

