

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор-проректор по
научной работе РУДН
доктор медицинских наук,
профессор, плен-корр. РАН

А.А. Костин



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН) на основании решения, принятого на заседании кафедры нанотехнологий и микросистемной техники инженерной академии

Диссертация «Модель термомеханических напряжений в термоэлектрических системах» («Model of Thermomechanical Stresses in Thermoelectric Systems») выполнена на кафедре нанотехнологий и микросистемной техники инженерной академии РУДН.

Шехак Саттар, 1988 года рождения, гражданин Пакистана, в 2017 году окончил магистратуру ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), г. Москва, по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов», профиль «Солнечная энергетика. Наука и материалы / Science and Materials of Solar Energy».

В 2021 году окончил аспирантуру департамента механики и процессов управления инженерной академии РУДН по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», профиль «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ / Mathematical Modelling, Numerical Methods, and Software Systems», не соответствующему научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, по которой подготовлена диссертация.

В настоящее время Ш. Саттар работает ассистентом кафедры нанотехнологий и микросистемной техники инженерной академии РУДН.

Документ о сдаче кандидатских экзаменов выдан в 2022 году в РУДН.

Научный руководитель – Беляев Виктор Васильевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник управления развития науки МГОУ, профессор кафедры нанотехнологий и микросистемной техники инженерной академии РУДН.

Тема диссертации утверждена в окончательной редакции на заседании ученого совета инженерной академии РУДН 01.09.2022, протокол заседания № 2022-08/22-09/1.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение.

Диссертационная работа Ш. Саттара посвящена разработке модели для измерения термомеханических напряжений и прогнозирования надежности термоэлектрического устройства. Рассмотрены геометрия, граничные условия и пространства между каждой ветвью для термоэлектрических модулей, как для несегментированных, так и для сегментированных.

Разработана оптимизированная математическая модель термоэлектрического устройства, описывающая взаимосвязь между тепловыми потоками, электрической мощностью и КПД устройства. Рассчитано влияние Джоулева тепла на теплопроводность материала и подвижность носителей заряда в заданном объеме и на поверхности.

Разработана оптимизированная математическая модель для измерения плоских напряжений и деформаций, касательных напряжений, функции напряжений и исследования термоупругого поведения термоэлектрических ветвей термоэлектрического устройства. Рассчитаны характеристики термоэлектрической ветви для сегментированных и несегментированных устройств.

Разработана оптимизированная математическая модель для прогнозирования надежности термоэлектрических устройств с использованием параметрического логарифмически нормального среднего остаточного ресурса и непараметрического логарифмически нормального распределения Кернеля.

Разработана модель термоэлектрических устройств с использованием непараметрического логарифмически нормального метода Байеса, вывода Кернеля в отношении моделирования Монте-Карло, распределения Вейбулла и логарифмически нормального среднего остаточного срока службы для различных форм для функции выживания.

В результате моделирования получены следующие инновационные результаты.

Математическая модель позволяет предсказать точные характеристики термоэлектрического устройства и влияние термического напряжения на механические свойства. Впервые оптимизирована и применена к термоэлектрическому устройству для измерения напряжений теория пластин Наотакэ.

Впервые представлена математическая модель для расчета точного количества термоэлектрических ветвей в устройстве. Моделирование в MATLAB и решение COMSOL показывают, что за счет увеличения расстояния между ветвями можно компенсировать чрезмерные термические напряжения.

Впервые предложен оптимизированный способ использования логнормального распределения для расчета срока службы устройства с использованием параметрического и непараметрического логнормального распределения.

Впервые с использованием дискретных данных математически получена непараметрическая функция выживания для определения среднего остаточного ресурса устройств, работающих при среднем и более высоком температурном градиенте.

Автор принимал непосредственное личное участие в получении основных результатов диссертационной работы.

Автору принадлежит ведущая роль в выборе направления исследования, анализе и обобщении полученных результатов. Автор лично разработал теоретическую основу, модели, критерии оптимизации и все технические детали, выполнил кодирование, провел численное моделирование, получил, проанализировал и обобщил результаты, а затем написал рукопись диссертации. Вклад автора является определяющим и заключается в непосредственном участии на всех этапах исследования: от постановки задач и их реализации до обсуждения результатов в научных публикациях и докладах на конференциях.

С 2017 по 2022 г. Ш. Сагтар являлся участником ряда российских и международных научных и научно-практических конференций: Новые подходы и технологии проектирования, производства, испытаний и промышленного дизайна изделий ракетно-космической техники. 2018 г., г. Москва; XVI Межгосударственная конференция «Термоэлектричество и его приложения». 2018 г. Санкт-Петербург, Россия; 38-я международная конференция по термоэлектричеству и 4-я Азиатская конференция по термоэлектричеству. 2019 г. Южная Корея (ICT/ACT 2019); Конференция достижений космонавтики, РУДН. 2020 г. г. Москва, Россия; Международная многопрофильная конференция «Перспективная элементная база микро- и нано электроники с использованием современных достижений теоретической физики». 2019 г. г. Москва; Международная конференция «Перспективная элементная база микро- и нано электроники с использованием современных достижений теоретической физики». 2021 г. г. Москва; XVII Межгосударственная конференция «Термоэлектричество и его приложения» (ISCTA 2021). 2021 г. г. Санкт-Петербург, Россия.

Автор также выступал с докладами на тематических семинарах РУДН. Личное участие автора в получении изложенных в диссертации результатов подтверждено соавторами и отражено в совместных публикациях.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается правильным выбором методов и критериев оптимизации, совпадением результатов численных экспериментов с результатами, опубликованными в литературе. Достоверность результатов подтверждается также численными экспериментами, сравнением с результатами существующих методов, а также успешным использованием в практической работе.

Новизна результатов проведенных исследований состоит в следующем:

- Математическая модель позволяет предсказать точные характеристики термоэлектрического устройства и влияние термического напряжения на механические свойства. Теория пластин Наотакэ впервые оптимизирована и применена к термоэлектрическому устройству для измерения напряжений.

- Впервые представлена математическая модель для расчета точного количества термоэлектрических ветвей в устройстве. Моделирование в MATLAB и решение COMSOL показали, что за счет увеличения расстояния между ветвями можно компенсировать чрезмерные термические напряжения.

- Впервые предложен оптимизированный способ использования логнормального распределения для расчета срока службы устройства с использованием параметрического и непараметрического логнормальных

распределений.

– Впервые с использованием дискретных данных математически получена непараметрическая функция выживания для определения среднего остаточного ресурса устройств, работающих при среднем и более высоком температурном градиенте.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что полученные результаты позволяют обосновать следующее их практическое применение в реальных приборах и системах:

– Оптимизированная модель демонстрирует возможность увеличения срока службы термоэлектрической системы без ущерба для ее эффективности. Увеличение срока службы устройства уменьшит стоимость проекта и повысит коэффициент совместимости материалов.

– Управление напряжениями в термоэлектрических устройствах и системах играет важную роль в космических проектах, при использовании отработанного тепла в промышленности, зданиях и автомобилях.

– Математическая модель задает количество ветвей в устройстве и приемлемое соотношение их высоты и толщины в течение срока службы.

– Градиент температуры может быть рассчитан в соответствии с термическими напряжениями и наоборот.

– Впервые представлены логарифмически нормальное распределение среднего остаточного ресурса и непараметрическая функция выживания, которые в термоэлектрических системах обеспечивают лучшие результаты по сравнению с теорией отказов Вейбулла.

Ценность научных работ соискателя состоит в том, что полученные им результаты позволяют повысить срок службы термоэлектрической системы без ущерба для ее эффективности, уменьшить стоимость изделия, улучшить совместимость материалов.

Область диссертационного исследования соответствует пунктам 1, 3, 4 и 5 паспорта научной специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Полнота изложения материалов диссертации обеспечена их публикацией в рецензируемых научных журналах, в том числе публикацией за последние 5 лет 4-х статей в изданиях, рецензируемых в международных реферативных базах данных и системах цитирования, рекомендуемых ВАК, и одной статьи в издании из перечня ВАК с импакт-фактором, превышающем 0,1. Полный перечень публикаций соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертационного исследования, приведен в диссертации и автореферате диссертации.

Текст диссертации проверен на использование заимствованного материала без ссылки на авторов и источники заимствования. После исключения всех корректных совпадений иных заимствований не обнаружено.

Диссертационная работа Шехака Саттара «Модель термомеханических напряжений в термоэлектрических системах» («Model of Thermomechanical Stresses in Thermoelectric Systems») рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Заключение принято 10.10.2022 на расширенном заседании кафедры нанотехнологий и микросистемной техники с участием ведущих специалистов департамента механики и процессов управления инженерной академии РУДН, протокол заседания № 2022-17-04/02.

На заседании присутствовали 19 чел.

Результаты голосования: «за» – 19 чел., «против» – 0 чел., «воздержался» – 0 чел.

Председательствовавший на заседании:

Доцент кафедры нанотехнологий
и микросистемной техники
кандидат технических наук

С.В. Агасиева

Подпись С.В. Агасиевой удостоверяю
Ученый секретарь Ученого Совета
инженерной академии РУДН



О.Е. Самусенко