

## ОТЗЫВ

официального оппонента

Старкова Александра Владимировича

на диссертацию Саттара Шехака

«Модель термомеханических напряжений в термоэлектрических системах»

(«Model of Thermomechanical Stresses in Thermoelectric Systems»),

представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

**Актуальность диссертационной работы** не вызывает сомнения, поскольку сегодняшний уровень технологии и применения термоэлектрических устройств требует оптимизированных моделей надежности термоэлектрической системы с учетом современных достижений техники, физики и математики. В работе разработана методика термомеханических свойств и их математическое описание.

В качестве критериев оптимизации используются программно-вычислительные средства, служащие дальнейшему развитию научных исследований, направленных на совершенствование их технологий и эксплуатации.

В качестве инструмента исследования применяется моделирование в MATLAB и решение COMSOL.

**Научную новизну работы** представляют: математическая модель для расчёта точного количества термоэлектрических ветвей в устройстве, оптимизация теории пластин Наотакэ и её адаптация к термоэлектрическому устройству для измерения напряжений, получение непараметрической функции выживания для определения среднего остаточного ресурса устройств со средним и более высоким температурном градиентом.

**Достоверность** результатов диссертационного исследования подтверждается использованием апробированных и стандартных методик системного анализа. Результаты исследований хорошо согласуются с полученными экспериментальными данными, опубликованными в литературе.

**Обоснованность научных положений, выводов и результатов** диссертационной работы подтверждается корректной постановкой задачи исследования, применением методов системного анализа и имитационного моделирования.

**Практическая значимость работы** заключается в модели таких важных параметров термоэлектрических систем, как средний остаточный ресурс и непараметрическая функция выживания, которая обеспечивает лучшие результаты по сравнению с известными в настоящее время теориями. Использование этой модели приводит к повышению срока службы термоэлектрической системы, уменьшению стоимости разработки, повышению совместимости материалов, а также обеспечивает возможности ее применения в космических проектах, использовании отработанного тепла в промышленности, зданиях и автомобилях.

Основные научные положения, методики и экспериментальные **результаты работы изложены в 5 публикациях**, в том числе 4 – в рецензируемых научных изданиях международной базы данных Scopus; 1 публикация – в рецензируемом научном издании, рекомендованном ВАК.

Диссертационная работа содержит введение, 4 главы, выводы и список литературных источников из 84 наименований. Полный объем диссертации составляет 104 страницы, включая 40 рисунков и 5 таблиц.

Во введении обозначены цели и задачи исследования; актуальность, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе представлен обзор литературы по выбранной тематике. В полной мере рассмотрены основы конструкции и функционирования устройства, его эволюция и разница между разрабатываемой моделью и прежними моделями аналогичного характера. Также в первой главе описаны проблемы, связанные с термоэлектрическими устройствами, и методика их устранения и оптимизации функциональных ресурсов.

Вторая глава содержит информацию о новой математической модели, разрабатываемой на основе теории пластин Наотакэ. Раскрыта тема перспектив в области термоэлектрических генераторов в области термоэлектрических генераторов.

В третьей главе представлены формулы и выведено уравнение для всех конфигураций ТЭ-модулей. Особенно важно подчеркнуть информацию о том, что за счёт увеличения пространства между ножками в несегментированных устройствах снижается максимальное напряжение всего устройства.

В четвёртой главе представлена альтернативная модель для измерения

надёжности термоэлектрических устройств. Предлагаемая модель основана на логарифмически-нормальном распределении для расчёта надёжности вместо распределения Вейбулла. Очевидная разница показана на рисунке 6, на котором каждая модель имеет разную вероятность отказа. В предлагаемой модели предпочитается логарифмически-нормальное распределение, так как оно имеет лучшую точность по сравнению с распределением Вейбулла. Оптимизирована модель увеличения срока службы термоэлектрической системы без ущерба для её эффективности. Увеличение срока службы устройства значительно уменьшит стоимость проекта и существенно повысит коэффициент совместимости материалов. Теперь благодаря оптимизации математическая модель задавать количество ветвей в устройстве и приемлемое соотношение их высоты и толщины в течение срока службы, а градиент температуры может быть рассчитан в соответствии с термическими напряжениями и наоборот.

**Автореферат полностью отражает содержание диссертации.** Материалы диссертационной работы полно отражены в публикациях соискателя.

По работе имеются следующие **вопросы и замечания**:

1. В работе оптимизировано описание термоэлектрического устройства. Но в главах 2-4 ничего не пишется о возможности оптимизации характеристик материалов.

2. На рисунке 4.12 приведены результаты расчетов вероятности отказа, полученные при использовании разных видов модельных распределений. При этом вероятность отказа имеет довольно большую величину – около 0,5. Может ли предложенное логнормальное распределение дать основания для рекомендаций по уменьшению количества отказов?

3. Есть замечания по неоднозначности терминологии. Например, «функция выживания» в тексте диссертации пишется и “survivor function” и “survival function” (см. рисунки 4.3 и 4.9 и некоторые другие места).

4. Есть опечатки и небольшие ошибки в списке литературы. Местами отсутствуют символы градусов Цельсия.

Диссертация соответствует специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

## Заключение

Диссертационная работа Сатгара Шехака «Модель термомеханических напряжений в термоэлектрических системах» («Model of Thermomechanical Stresses in Thermoelectric Systems») является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи, имеющей важное научное и практическое значение. Новые научные результаты и технические решения, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики. Выводы и рекомендации обоснованы.

Диссертация полностью отвечает критериям пункта 2.2 Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов», утвержденного Ученым советом РУДН (протокол № 12 от 23.09.2019), а ее автор достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Системный анализ и управление» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ, Московский авиационный институт)

Старков Александр Владимирович

09.12.2022

Подпись д.т.н. Старкова А.В. заверяю

Директор дирекции  
института № 6 «Аэрокосмический» МАИ



О.В. Тушавина

---

Почтовый адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4  
Телефон/факс: +7(499)158-43-55  
Электронная почта: kaf604@mai.ru