



Акционерное общество

«Научно-исследовательский институт «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха»

АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха»

Введенского ул., д.3, корп.1, г. Москва, 117342
Телефон: (495) 333-91-44 факс: (495) 333-00-03

ОГРН 1127746646510, ИНН/КПП 7728816598/772801001
e-mail:bereg@niipolyus.ru, <http://www.polyus.info>

«12» 12 2022 г.
№ 5/Н

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

АО «НИИ «Полюс»

им. М.Ф. Стельмаха»,

д.т.н., профессор

Кузнецов Е.В.



12 декабря 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Саттара Шехака

«Model of Thermomechanical Stresses in Thermoelectric Systems»

(«Модель термомеханических напряжений в термоэлектрических системах»),

представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Диссертационная работа Саттара Шехака посвящена решению актуальной задачи разработки модели измерения термомеханических напряжений и прогнозирования надежности термоэлектрических устройств. Данная задача имеет важное научное и практическое значение. Основными направлениями диссертационного исследования были разработка методики, математическое описание термомеханических свойств и элементов термоэлектрических устройств, а также создание программно-вычислительных средств. Полученные результаты имеют теоретическую

значимость для дальнейшего развития научных исследований, направленных на совершенствование технологий и эксплуатации термоэлектрических систем.

Оценка содержания диссертации и ее оформление; автореферат, публикации и апробация

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ и ГОСТ Р 7.0.11-2011. Она состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка цитируемой литературы, состоящего из 84 наименований. Полный объем диссертации составляет 104 страницы. Материал диссертации изложен ясно и последовательно. Диссертация хорошо иллюстрирована. Она содержит 40 рисунков и 5 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы ее цели и задачи, указано, в чем состоит ее научная новизна и научно-практическая значимость, перечислены основные результаты и положения, выносимые на защиту.

Глава 1 имеет обзорный характер. В первой главе отражена актуальность термоэлектрических устройств и определён уровень важности данной технологической отрасли. Также описаны современные проблемы термоэлектрических устройств и рассмотрен широкий спектр факторов, мешающих устройствам корректно функционировать.

В главе 2 рассмотрена теория пластин Наотакэ и её применение для обеспечения альтернативных перспектив в области термоэлектрических генераторов. Приведены формулы для расчёта напряжения сдвига, деформации сдвига, термически индуцированного изгибающего напряжения и сил сдвига. Смоделировано уравнение многоветвевой конфигурации для получения фронта Парето. Выявлена взаимосвязь между термически индуцированным напряжением и межфазными деформационными напряжениями по отношению к температуре для ограниченных граничных условий.

В главе 3 выведена формула, помогающая описать количество ветвей для системы ТЕ. Для всех конфигураций ТЭ-модулей подтверждено численно предсказанное количество ветвей, расстояние между ними и их относительное напряжение с небольшими погрешностями.

В главе 4 приведена альтернативная модель для измерения надёжности термоэлектрических устройств. Предлагаемая модель представлена в сравнении с ранее существующими с целью подчеркнуть её преимущества в процессе оптимизации свойств.

В заключении сформулированы основные результаты проведённых исследований и сделаны выводы.

Содержание автореферата диссертации Ш. Саттара полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Автореферат отвечает всем предъявляемым требованиям.

По теме диссертации опубликовано за последние 5 лет 4 статьи в изданиях, рецензируемых в международных реферативных базах данных и системах цитирования, рекомендуемых ВАК, и одна статья в издании из перечня ВАК. Результаты работы докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях.

Основные научные результаты, полученные автором, и их новизна:

1. Полученная математическая модель позволяет предсказать точные характеристики термоэлектрического устройства и описать влияние термического напряжения на механические свойства. Теория пластин Наотакэ впервые оптимизирована, она впервые использована для термоэлектрического устройства для разработки нового метода измерения напряжений.

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

3. Впервые оптимизирован способ использования логнормального распределения для расчета срока службы устройства. При этом применяется параметрическое и непараметрическое логнормальное распределение.

4. Впервые выведена непараметрическая функция выживания для определения среднего остаточного ресурса устройств, функционирующих при разных уровнях температурного градиента.

Научно-практическая значимость работы

Результаты, полученные диссертантом в ходе выполнения данной работы, существенно расширяют понимание термоэлектрических систем. Оптимизированная модель демонстрирует возможную модель увеличения срока службы термоэлектрической системы без потери ее эффективности. Увеличение срока службы устройства снижает стоимость проекта и повышает совместимость используемых материалов. Управление рабочим напряжением термоэлектрического устройства или системы позволяет использовать отработанное тепло в промышленности, помещениях, зданиях и транспорте, повысить эффективность космических аппаратов. Математическая модель задает количество ветвей в устройстве и приемлемое соотношение их габаритов за все время службы. Могут быть выполнены расчеты взаимосвязи термических напряжений и градиента температуры. Впервые выполнено сравнение с теорией отказов Вейбулла логарифмически-нормального распределения среднего остаточного ресурса и непараметрической функции выживания.

Значимость полученных результатов для развития технических наук

Полученные автором результаты диссертации имеют высокую значимость для развития технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика. Значимость определяется выработкой критериев оптимизации, математических и статистических методов обработки экспериментальных результатов, полученных для термоэлектрических систем, управления процессом разработки перспективных термоэлектрических приборов для различных применений.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Результаты и выводы, приведенные в диссертации, могут быть использованы в организациях, занимающихся разработкой, производством различных термоэлектрических систем и устройств для оценки термомеханических напряжений в конструкции термоэлектрических батарей, включая батареи с сегментированными термоэлементами, при проектировании термоэлектрических систем, прогнозирования надежности таких систем, а также с целью оптимизации конструкции термоэлектрических систем различного назначения по критерию их максимальной эффективности при требуемых значениях показателей надёжности. Такими организациями являются АО «НИИ «Полус» им. М.Ф. Стельмаха, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ООО «Нанотестконсалт МГТУ им. Н.Э. Баумана», ООО НПО «Кристалл», компания «Сервомоторы», компания «Техноавтоматика», ООО «Производственная компания «Тесей» и др.

Результаты и выводы, приведенные в диссертации, могут быть также использованы в организациях, занимающихся образовательной деятельностью: МГТУ им. Н.Э. Баумана, РУДН, РТУ и др.

Степень достоверности и обоснованности научных положений, результатов и выводов

Достоверность полученных научных результатов и сделанных в работе выводов не вызывает сомнений. Она обусловлена применением хорошо апробированного теоретического аппарата, адекватностью используемых теоретических моделей, хорошим соответствием теоретических оценок экспериментальным данным, а также воспроизводимостью результатов.

Замечания по диссертационной работе

1. Трудно сравнить области применения материалов термоэлектронных устройств, описанных в разных частях диссертации, так как для разных материалов их характеристики приведены для разных диапазонов температур.

2. В диссертации есть список сокращений. Было бы полезно представить также список символов, обозначающих различные физические и эксплуатационные параметры

3. В диссертации и автореферате нет или трудно найти численные значения тепловых параметров (теплоемкость, теплопроводность, ...), используемых при расчетах.

4. На некоторых рисунках, например, 4.4-4.6, именные единицы (Паскаль и некоторые другие) написаны с маленькой буквы.

5. Некоторые ссылки, например, 20, 69, 76, 80, приведены с неполными или ошибочными библиографическими данными. Нет ссылок на литературу на русском языке.

6. В списке литературы сравнительно немного ссылок на публикации в последние пять лет, и всего две ссылки на публикации с участием соискателя.

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Саттара Шехака «Model of Thermomechanical Stresses in Thermoelectric Systems» («Модель термомеханических напряжений в термоэлектрических системах») выполнена на высоком профессиональном уровне и является законченным научным исследованием, имеющим высокую научную и практическую ценность.

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

Диссертационная работа обсуждена и отзыв утвержден на заседании научно-технического совета АО «НИИ «Полюс»» (протокол №3 от 12.12.2022).

Отзыв составили:

Член-корреспондент РАН,

доктор физико-математических наук

профессор



/ Сафаралиев Г.К.

Контакты ведущей организации:

117342, г. Москва, ул. Введенского, д. 3, корп. 1

Тел. 8(495)333-91-44

Эл. почта: bereg@niipolyus.ru