

ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 621.31

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-3-57-64>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ПЕЛЬТЯ В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СРЕДЕ ANSYS WORKBENCH

Романов К.В., Моторин А.В., Соломин Е.В., Ковалёв А.А., Дьяченко И.И., Галеев Р.Г.

Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск, Россия

Аннотация. В мировом сообществе все большее внимание уделяется альтернативным источникам энергии. Модуль Пельтье – простейший преобразователь тепловой энергии в электрическую и наоборот. На данном этапе развития промышленности, техники, электроники и микропроцессорных технологий термоэлектрические элементы Пельтье в основном используют как тепловые насосы. Вследствие простоты, высоких показателей надежности, малых габаритах, относительно невысокой стоимости и других преимуществ термоэлектрические модули Пельтье рассмотрены как очевидные источники электрической энергии. Исследование произведено с целью определения возможности использования термоэлектрических модулей Пельтье в качественном преобразовании тепловой энергии в электрическую, а также для установления наиболее эффективных режимов работы элементов Пельтье в качестве генераторов электрической энергии. В ходе исследований выполнена работа, направленная на создание модели, анализ различных статических режимов генерации электроэнергии. Произведено моделирование режимов работы элементарной ячейки термоэлектрического модуля Пельтье в среде ANSYS Workbench. Произведён математический анализ результатов моделирования элементарной ячейки модуля Пельтье в различных режимах генерации электрической энергии. Определены рабочие характеристики термоэлектрических элементов Пельтье, выполнена обработка результатов. Выявлены условия максимума эффективности преобразования тепловой энергии в электрическую термоэлектрическим модулем Пельтье. Оптимальными режимами следует считать нагрев одной из сторон модуля Пельтье до температуры, близкой к допустимой. Определены рабочие режимы термоэлектрических элементов, выполнена обработка результатов. Устройство, основанное на применении термоэлектрических модулей Пельтье, возможно применить в качестве автономного средства зарядки аккумуляторов гаджетов и средств теле- и радиосвязи.

Ключевые слова: модуль Пельтье, термоэлектрический преобразователь, альтернативная энергетика, теплоэнергетика, утилизация тепловой энергии, электроэнергетика.

Введение

Развитие современной техники и технологий постоянно связано с поиском новых источников энергии, а первую очередь – электрической. Основным требованием является увеличение объема ее выработки, но в последнее время на передний план выходят дополнительные условия: энергия должна вырабатываться экологически чистым путем, должна быть возобновляемая. Сегодня усилия многих ученых направлены на развитие «зеленой» энергетики, в которой особенно остро нуждаются Европа и США [1].

Термоэлектрический эффект – генерирование термоэлектродвижущей силы, возникающей из-за

разности температур между двумя соединениями различных металлов или сплавов, образующих часть одной и той же цепи [2]. Данный вид устройств генерации электрической энергии отличается от традиционных генерационных электроэнергетических систем тем, что тепловая энергия непосредственно преобразуется в электрическую энергию, а промежуточное звено в виде механической энергии отсутствует [3].

На данном этапе развития промышленности и прочих подобных сфер невозможно не отметить, что большое количество отработавшей тепловой энергии выбрасывается в окружающую среду без ее дальнейшего использования [4].

Элемент Пельтье – простейший преобразователь тепловой энергии в электрическую посредством термоэлектрического эффекта и, соответ-

© Романов К.В., Моторин А.В., Соломин Е.В., Ковалёв А.А., Дьяченко И.И., Галеев Р.Г., 2018

ственно, потенциально наиболее эффективный инструмент для создания установок утилизации тепловой энергии. Модули Пельтье позволяют осуществить прямое преобразование энергии теплового потока в электрическую энергию (твердотельные генераторы электрической энергии) и наоборот (термоэлектрические холодильники) [5], а их работа в режиме генерации электрической энергии зависит только от наличия перепада температур [6]. Термоэлектрические генераторы (ТЭГ) являются экологически чистым источником электрической энергии, позволяют получить с одного генераторного модуля электрическую энергию мощностью до 40 Вт. Применение термоэлектрических модулей обладает целым рядом преимуществ, таких как отсутствие движущихся и изнашивающихся частей, экологическая чистота, звуковая и электромагнитная бесшумность работы, малый размер и вес, высокая надежность – до 200 000 часов работы, устойчивость к механическим воздействиям, возможность работы в любом пространственном положении. Кроме того, герметичная конструкция теплового насоса на основе термоэлектрических модулей (ТЭМ) позволяет отводить тепло из герметично закрытых объемов [7].

Однако в настоящее время модули Пельтье достаточно широко используются в основном для обратного эффекта – выделения тепловой энергии (охлаждения или нагревания) [8]. На рынке бытового оборудования представлены автохолодильники, рассчитанные на напряжение аккумулятора машины с разницей температур с окружающей средой до 30–40°C. Также модули Пельтье применяют в компьютерной технике для охлаждения электронных компонентов вычислительной техники [9].

Целью данной работы является создание модели и исследование статических режимов работы термоэлектрического модуля Пельтье в программном комплексе ANSYS Workbench. Данное программное обеспечение позволяет производить расчеты различных физических процессов методом разложения составляющих системы на конечные элементы.

Основная задача выполняемого расчета заключается в моделировании процессов генерации электрической энергии. Решение данной задачи позволит установить наиболее эффективные режимы генерации, а также вывести основные требования для повышения КПД преобразования. Исходя из особенностей конструкции модуля Пельтье (рис. 1), рационально произвести моделирование режимов работы элементарной ячейки термоэлектрического генератора.

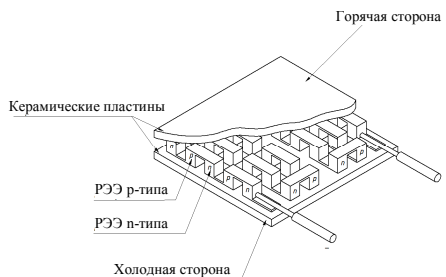


Рис. 1. Модуль Пельтье

Экономическая эффективность данного исследования заключается в повышении коэффициента полезного действия возможного устройства, созданного на базе термоэлектрических элементов Пельтье, по сравнению с мировыми аналогами за счет использования наиболее энергоэффективной технологии, а также в обеспечении энергонезависимости от электрической сети, возможности утилизации излишнего тепла при относительно невысокой стоимости и высокой надежности предлагаемого устройства по сравнению с подобными устройствами в альтернативной энергетике.

Метод построения модели элементарной термоэлектрической ячейки в программном комплексе ANSYS Workbench

Для оценки выходных характеристик энергетического преобразования целесообразно произвести моделирование в программном комплексе ANSYS Workbench. Для этого необходимо произвести следующие обязательные этапы моделирования: постановка задачи (preprocessing), расчет (processing) и анализ результатов расчета (postprocessing). Поскольку модуль Пельтье состоит из нескольких соединенных последовательно элементарных p - n полупроводниковых переходов, то для выполнения расчета достаточно будет смоделировать одну p - n ячейку. Выполнение модели позволит получить энергетические характеристики модуля Пельтье в различных статических режимах работы.

Первый этап подразумевает задание таких основных данных, как выбор и создание материалов для проекта и задание их свойств (Engineering Data). Материалы, необходимые для создания термоэлектрической ячейки, – это два разнородных вещества: полупроводник и p - и n -типа, электрически соединенные медной пластиной. Электротеплофизические свойства заданы в виде зависимостей. На рис. 2 изображены зависимости коэффи-

циента теплопроводности материалов от температуры для меди (а), полупроводника *p*-типа (б) и полупроводника *n*-типа (в).

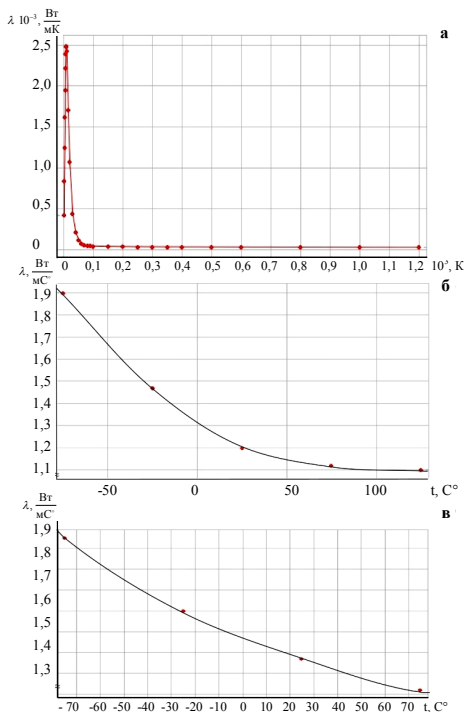


Рис. 2. Зависимости коэффициента теплопроводности материалов от температуры для меди (а), полупроводника *p*-типа (б) и полупроводника *n*-типа (в)

На рис. 3 изображены зависимости удельного сопротивления материалов от температуры для меди (а), полупроводника *p*-типа (б) и полупроводника *n*-типа (в).

На рис. 4 изображены зависимости коэффициента Зеебека от температуры для полупроводников *p*-типа (а) и *n*-типа (б).

Необходимо отметить, что физические свойства материалов берутся из табличных, но с некоторыми поправками, поскольку модель для каждого из модулей Пельтье индивидуальна в силу того, что невозможно создать два и более абсолютно идентичных по характеристикам модуля.

Далее следует разработка геометрической модели (Geometry). Геометрическая модель *p-n* перехода была создана посредством встроенных инструментов для геометрии AnsysDesignModeler и представлена на рис. 5. Также выполнено присвоение физических свойств материалов элементам 3D модели и задание графических условий (Model). Кроме того, был задан метод разбиения модели на сетку конечных элементов (Path Conforming Method).

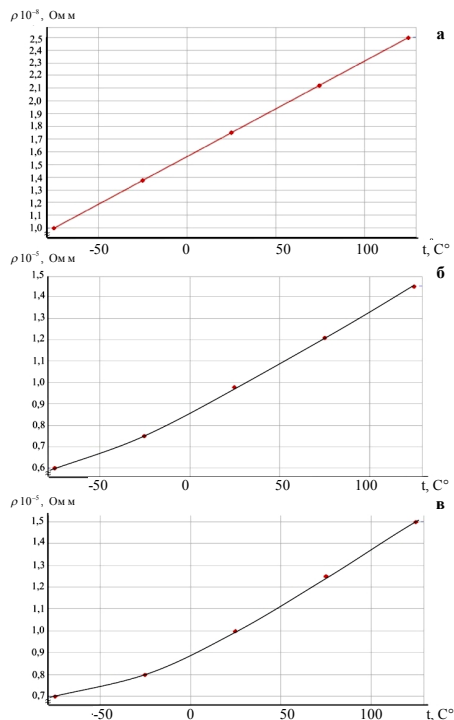


Рис. 3. Зависимости удельного сопротивления материалов от температуры для меди (а), полупроводника *p*-типа (б) и полупроводника *n*-типа (в)

Для каждого элемента данной модели были присвоены указанные ранее материалы, а также были заданы следующие условия: напряжение (задается на концах токоведущих пластин для начального момента времени 0 В), ток (в начальный момент времени также 0 А), температура «горячей» стороны (для примера – 80 $^{\circ}C$), температура «холодной» стороны (20 $^{\circ}C$).

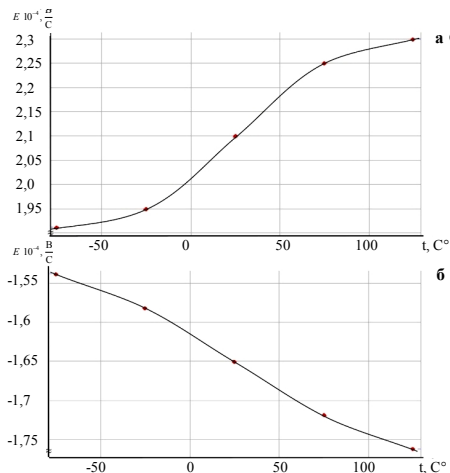


Рис. 4. Зависимости коэффициента Зеебека от температуры для полупроводника р-типа (а) и п-типа (б)

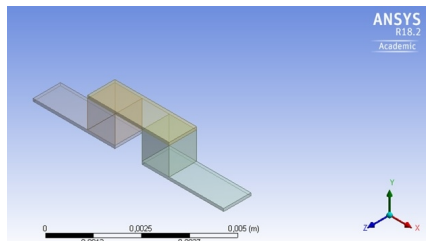


Рис. 5. Геометрия термоэлектрической ячейки

Помимо прочего, для правильной работы программы необходимо идентифицировать физические величины, которые требуется получить в результате расчета данной модели [11]. Основные параметры – это распределение электрического потенциала и картина распределения температуры. Таким образом, данная модель приближена к реальным условиям испытаний.

На последующем этапе программный комплекс автоматически рассчитывает указанные параметры заданным методом. Поскольку рассчитывается статическая 3D задача и количество элементов сетки относительно невысокое, то время расчета небольшое.

Результаты моделирования в программном комплексе ANSYS Workbench

Анализ результатов расчета представляет собой наглядное представление результатов моделирования, изображенное на **рис. 6** для распределения температур и **рис. 7** для потенциалов. Конечный результат может быть представлен в различных вариантах, например, таких как разбиение на сетку конечных элементов, разбиение и выделение зон распространения исследуемой характеристики или же в виде плавных переходов зон заданного параметра.

Полученные данные для температуры горячей стороны 80°C и температуры холодной стороны 20°C свидетельствуют о том, что элементная термоэлектрическая ячейка генерирует около 0,023 В при перепаде температур 60°C.

Поскольку в стандартном модуле Пельтье 127 ячеек, то ЭДС холостого хода модуля Пельтье находится

$$E_{xx} = nE_0, \quad (1)$$

где n – число ячеек;

E_0 – ЭДС холостого хода одной ячейки.

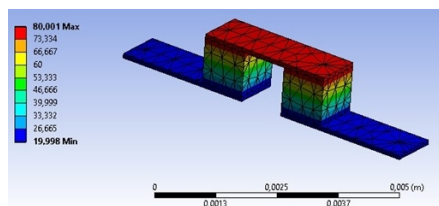


Рис. 6. Результат расчета по распределению температуры

Следовательно, в данном режиме работы модуль Пельтье будет вырабатывать

$$E_{xx} = 127 \cdot 0,023 \approx 3,0 \text{ В}.$$

Результат опыта холостого хода созданной 3D модели и характеристики, снятые ранее с элемента Пельтье ТЕС-060 [10], представлены на **рис. 8**.

Величина аппроксимации полученных в ходе экспериментов характеристик холостого хода и смоделированных составляет не более 1%. Кроме того, из уравнений графиков видно практически абсолютное совпадения экспериментальных исследований и результатов расчета, что говорит о высокой точности моделирования. Различие в коэффициенте тангенса угла наклона объясняется тем, что модель не учитывает тепловое сопротивление керамических пластин [11].

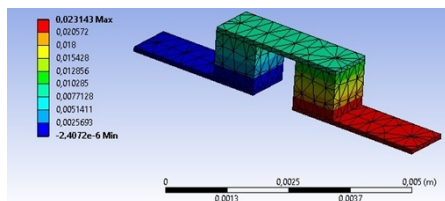


Рис. 7. Результат расчета по распределению потенциала

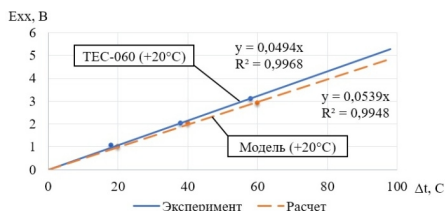


Рис. 8. Расчетные и экспериментальные результаты холостого хода

Для исследования нагрузочных режимов р-п перехода в среде ANSYS дополним геометрию модели перемычкой, как показано на рис. 9.

Для того чтобы перемычка работала как резистор с возможностью изменения величины сопротивления, необходимо производить регулировку величины удельного сопротивления перемычки, не изменяя ее геометрии [12]:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (2)$$

где R – Сопротивление активного проводника, Ом;
 ρ – Удельное сопротивление материала, Ом м;
 l – длина активного проводника, м;
 S – площадь поперечного сечения активного проводника, мм².

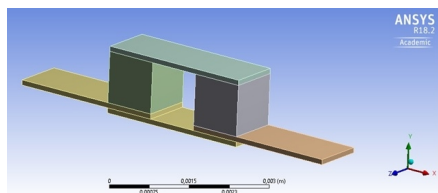


Рис. 9. Геометрия термоэлектрической ячейки с перемычкой

Так, при длине и ширине активного проводника в 1 мм и толщине пластины 0,1 мм зададим удельное сопротивление материала 0,001 Ом·м. Получим:

$$R = \frac{0,001 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}} = 10 \text{ Ом}.$$

Далее выполняем все операции, как при создании предыдущей модели, дополнив список выходных величин общей плотностью тока.

Результаты моделирования при нагрузке в 10 Ом и перепаде температур 60°C для распределения электрического потенциала изображены на рис. 10 и для плотности тока на рис. 11.

Для оценки удельной величины тока I_{y0} , протекающего по активному проводнику, необходимо вычислить ток, протекающий по 0,1 части проводника, от плотности тока на 1 мм², равный 0,02 А/мм². Получим

$$I_{y0} = 0,1 \cdot 0,02 = 0,002 \frac{\text{А}}{\text{мм}}$$

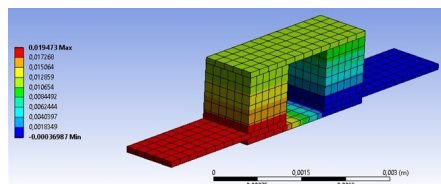


Рис. 10. Расчет электрического потенциала при нагрузке

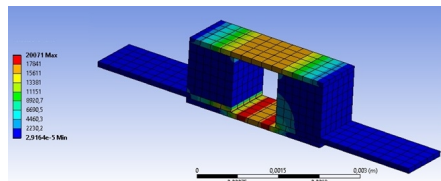


Рис. 11. Расчет плотности тока

Анализируя полученные величины электрического потенциала, равного 0,02 В, и удельной плотности тока, равной 0,002 А/мм, в сравнении с характеристиками холостого хода, можно сделать вывод о правильности расчетов, так как происходит просадка напряжения на нагрузке. Однако для полноценного исследования нагрузочных характеристик необходима более детальная проработка модели и учет таких параметров, как тепловое сопротивление керамических пластин, рассеивание части подведенной тепловой энергии через модуль Пельтье, потери по закону Джоуля-Ленца и прочих параметров.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали рациональность использования термоэлектрических модулей Пельтье для генерации электроэнергии. Наиболее высокого значения КПД возможно добиться при работе на максимально допустимых температурах сторон термоэлектрического модуля. Главные преимущества предлагаемого устройства по сравнению с аналогичными – относительная простота, а соответственно, высокая надежность и длительный срок службы, автономность, универсальность применения, возможность утилизации тепла.

Список литературы

- Шостаковский П.Г. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания // Компоненты и технологии. 2010. Т. 1, №12. С. 131–138.
- ГОСТ 6616-94. Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия. Минск, 1994. 15 с. (Система стандартов по информ., библи. и изд. делу).
- Шостаковский П.Г. Альтернативные источники электрической энергии промышленного применения на основе термоэлектрических генераторов // Controlengineering Россия. 2013. Т. 1, №3. С. 52–56.
- Лебедев Ю.П., Сидоркин А.Ф., Пармоник А.Ю. Оценка применимости и взаимозаменяемости модулей Пельтье // Современные фундаментальные и прикладные исследования. 2011. Т.1, №1. С. 26–28.
- Шостаковский П.Г. Термоэлектрические генераторы промышленного применения. Ч. 2 // Современная электроника. 2016. Т. 1, №1. С. 2–5.
- Шостаковский П.Г. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской и бытовой техники. Ч. 2 // Компоненты и технологии. 2010. Т. 1, №1. С. 130–137.
- Сандалов В.М., Романов К.В. Автономное зарядное устройство на базе модуля Пельтье // Наука ЮУрГУ [Электронный ресурс]. 2017. Т. 1, №1. С. 523–529.
- Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А., Бессонов К.Е., Богаченков А.Г. Отопительно-варочная печь: пат. 138737 России. 2013. Бюл. №8.
- Милин В.И., Калитенков Н.В., Коробко А.Н. Электрогенерирующее отопительно-варочное устройство: пат. 98231 России. 2010. Бюл. №28.
- Шостаковский П.Г. Термоэлектрические генераторы промышленного применения. Ч. 1 // Современная электроника. 2016. Т. 1, №1. С. 2–7.
- Шостаковский П.Г. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской и бытовой техники. Ч. 1 // Компоненты и технологии. 2009. Т. 1, №12. С. 40–46.
- Головкин Д.Б., Скрипник Ю.А., Ментковский Ю.Л., Глазков Л.А., Химичева А.И. Способ определения коэффициента Пельтье неоднородной электрической цепи и устройство для его осуществления: пат. 2124734 России. 1999. Бюл. №2.
- Шостаковский П.Г. Современные термоэлектрические источники питания электронных устройств // Компоненты и технологии. 2015. Т. 1, №1. С. 14–19.
- Штерн Ю.И., Кожеевников Я.С., Никаноров М.Д., Крикун Е.А., Штерн М.Ю. Термоэлектрический модуль: пат. 2007134625 России. 2009. Бюл. №23.
- Бурштейн А.И. Физические основы расчета термоэлектрических устройств. М.: Физматлит, 1962. 136 с.
- Жуйков А.О., Лушников И.Л. Термоэлектрический модуль Пельтье и его применение // Современные проблемы телекоммуникаций: межвуз. сб. науч. тр. Новосибирск: СибГУТИ, 2016. Т. 1. С. 578–582.
- Иванов А.С., Прилепо Ю.П., Чернышова Т.И., Варламов С.А. Монолитная генераторная термоэлектрическая батарея: пат. 93584 России. 2010. Бюл. №12.
- Долгих П.П., Иброгимов Р.И. Перспективы применения термоэлектрических установок для электроснабжения децентрализованных потребителей // Эпоха науки. 2016. Т. 1, №8. С. 281–289.
- Термоэлектрическое охлаждение / А.Ф. Иоффе, Л.С. Стильбанс, Е.К. Иорданшвили, Т.С. Ставицкая. М.; Л.: АН СССР, 1956. 114 с.
- Шостаковский П.Г. Разработка термоэлектрических систем охлаждения и термостатирования с помощью компьютерной программы Kryotherm // Компоненты и технологии. 2010. Т. 1, №8. С. 27–36.
- Шостаковский П.Г. Тепловой контроль объектов на базе термоэлектрических сборок // Компоненты и технологии. 2011. Т. 1, №9. С. 142–150.

Поступила 22.11.18

Принята в печать 03.12.18

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-3-57-64>

SIMULATING THE PELTIER THERMOELECTRIC MODULE IN THE ELECTRICITY GENERATION MODE IN THE ANSYS WORKBENCH ENVIRONMENT

Konstantin V. Romanov – master's student

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia. E-mail: kost.romanov2012@yandex.ru

Alexander V. Motorin – master's student

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia. E-mail: assasins546@yandex.ru

Evgeny V. Solomin – Professor

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia. E-mail: solominev@susu.ru

Anton A. Kovalyov – master's student

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia. E-mail: alpenglowlow305@yandex.ru

Iliia I. Diachenko – master's student

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia. E-mail: djachenkoig@gmail.com.

Rishat G. Galeev – master's student

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia. E-mail: rishat-galeev@mail.ru.

Abstract. In the global community, increasing attention is paid to alternative energy sources. The Peltier module is the simplest converter of thermal energy into electrical energy and vice versa. At this stage of development of industry, technology, electronics and microprocessor technologies, the Peltier thermoelectric elements are mainly used as heat pumps. Due to their simplicity, high reliability, small size, relatively low cost and other advantages, the Peltier thermoelectric modules are considered as obvious sources of electrical energy. The study was made to determine the possibility of using the Peltier thermoelectric modules in the qualitative conversion of thermal energy into electrical energy, as well as to establish the most efficient modes of operation of the Peltier elements as generators of electrical energy. In the course of the research, work was done aimed at creating a model, analyzing various static modes of power generation and studying the Peltier modules in the mode of an electric power generator. The operation modes of the elementary cell of the Peltier thermoelectric module were simulated in the ANSYS Workbench environment. The mathematical analysis of the simulation results was performed. The performance characteristics of the Peltier thermoelectric elements were determined, the results were processed. The conditions of maximum efficiency of conversion of thermal energy into electrical energy by the Peltier thermoelectric module were revealed. The optimal modes should be considered to be heating one of the sides of the Peltier module to a temperature close to the permissible value. The operation modes of thermoelectric elements were determined, the results were processed. A device based on the Peltier thermoelectric modules can be used as a portable accumulator battery charging device for gadgets and television and radio communication facilities.

Keywords: Peltier module, thermoelectric converter, alternative energy, heat and power engineering, thermal energy utilization, electric power industry.

References

- Shostakovskiy P.G. Thermoelectric sources of alternative power supply. *Komponenty i tekhnologii* [Components and Technologies], 2010, vol. 1, no. 12, pp. 131–138. (In Russ.)
- GOST 6616-94 Thermoelectric converters. General specifications. Minsk, 1994. I, 15 p. (System of standards on information, library services, and publishing).
- Shostakovskiy P.G. Alternative sources of electrical energy for the industrial use based on thermoelectric generators. *Control Engineering Russia*, 2013, vol. 1, no. 3, pp. 52–56. (In Russ.)
- Lebedev Yu.P., Sidorkin A.F., Parmonik A.Yu. Evaluation of applicability and interchangeability of Peltier modules. *Mezhdunarodnoe nauchnoe izdanie Sovremennye fundamentalnye i prikladnye issledovaniya* [International scientific journal Modern Fundamental and Applied Research], 2011, vol. 1, no. 1, pp. 26–28. (In Russ.)
- Shostakovskiy P.G. Thermoelectric generators for industrial applications. Part 2. *Sovremennaya elektronika* [Modern Electronics], 2016, vol. 1, no. 1, pp. 2–5. (In Russ.)
- Shostakovskiy P.G. Modern solutions of thermoelectric cooling for radioelectronic, medical and household appliances. Part 2. *Komponenty i tekhnologii* [Components and Technologies], 2010, vol. 1, no. 1, pp. 130–137. (In Russ.)
- Sandalov V.M., Romanov K.V. Peltier module-based portable charger. *Nauka YuUrGU* [Science of SUSU] [Electronic resource], 2017, vol. 1, no. 1, pp. 523–529. (In Russ.)
- Andreev S.A., Sudnik Yu.A., Petrova E.A., Bessonov K.E., Bogachenkov A.G. Heating-cooking oven. Patent RF 138737, no. 2013141054/03, Bul. no. 8. (In Russ.)
- Milkin V.I., Kalitenkov N.V., Korobko A.N. Electric generating heating and cooking device. Patent RF 98231, no. 2010114538/03, Bul. no. 28. (In Russ.)
- Shostakovskiy P.G. Thermoelectric generators for industrial applications. Part 1. *Sovremennaya elektronika* [Modern Electronics], 2016, vol. 1, no. 1, pp. 2–7. (In Russ.)
- Shostakovskiy P.G. Modern solutions of thermoelectric cooling for radioelectronic, medical and household appliances. Part 1. *Komponenty i tekhnologii* [Components and Technologies], 2009, vol. 1, no. 12, pp. 40–46. (In Russ.)
- Golovko D.B., Skripnik Yu.A., Mentkovskii Yu.L., Glazkov L.A., Khimicheva A.I. Method for measuring of Peltier-effect rate on electric circuit with dissimilar conductors and device which implements said method. Patent RU02124734, no.5041443/09, Bul. no. 2. (In Russ.)
- Shostakovskiy P.G. Modern thermoelectric power supplies for electronic devices. *Komponenty i tekhnologii* [Components and Technologies], 2015, vol. 1, no. 1, pp. 14–19. (In Russ.)
- Shtern Yu.I., Kozhevnikov Ya.S., Nikanorov M.D., Krikan E.A., Shtern M.Yu. Thermoelectric module. Patent RF 2007134625, no. 2364803, Bul. no. 23. (In Russ.)
- Burshtein A.I. *Fizicheskie osnovy rascheta termoelektricheskikh ustroystv* [Physical basis for the calculation of thermoelectric devices]. Moscow: Fizmatlit, 1962, 136 p. (In Russ.)
- Zhuikov A.O., Lushnikov I.L. Thermoelectric Peltier module and its application. *Sovremennye problemy telekommunikatsiy: Mezhuuz. sb. nauchn. tr.* [Modern problems of telecommunications: Interuniversity collection of research papers].

- Novosibirsk: SibGUTI, 2016, vol. 1, pp. 578–582. (In Russ.)
17. Ivanov A.S., Prilepo Yu.P., Chernyshova T.I., Varlamov S.A. Monolithic generator thermoelectric battery. Patent RF 93584, no. 2009130652/22, Bul. no. 12. (In Russ.)
18. Dolgikh P.P., Ibragimov R.I. Prospects of application of thermoelectric installations for power supply to decentralized consumers. *Epokha nauki* [The Era of Science], 2016, vol. 1, no. 8, pp. 281–289. (In Russ.)
19. Ioffe A.F., Stilbans L.S., Iordanshvil E.K., Stavitskaya T.S. *Termoelektricheskoe okhlazhdenie* [Thermoelectric cooling]. Moscow, Leningrad: Academy of Sciences of the USSR, 1956, 114 p. (In Russ.)
20. Shostakovskiy P.G. Development of thermoelectric cooling systems and thermostating using the Kryotherm computer program. *Komponenty i tekhnologii* [Components and Technologies], 2010, vol. 1, no. 8, pp. 27–36. (In Russ.)
21. Shostakovskiy P.G. Thermal control of objects based on thermoelectric assemblies. *Komponenty i tekhnologii* [Components and Technologies], 2011, vol. 1, no. 9, pp. 142–150. (In Russ.)

Received 22/11/18
Accepted 03/12/18

Образцы для цитирования

Моделирование термоэлектрического модуля Пельтье в режиме генерации электроэнергии в среде ANSYS Workbench / Романов К.В., Моторин А.В., Соломин Е.В., Ковалёв А.А., Дьяченко И.И., Галеев Р.Г. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2018. Т.16. №4. С. 57–64. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-3-57-64>

For citation

Romanov K.V., Motorin A.V., Solomin E.V., Kovalyov A.A., Diachenko I.I., Galeev R.G. Simulating the Peltier thermoelectric module in the electricity generation mode in the ANSYS Workbench environment. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2018, vol. 16, no. 4, pp. 57–64. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-3-57-64>