

**Для цитирования:** Евдулов Д.В., Исмаилов Т.А., Казумов Р.Ш., Саркаров Т.Э. *Натурные испытания опытного образца термоэлектрической системы, основанной на совместном использовании высокопоточных термоэлектрических батарей и цельнометаллических теплопроводов.* Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45 (3):68-75. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-3-68-75

**For citation:** Evdulov D.V., Ismailov T.A., Kazumov R.S., Sarkarov T.E. *Natural tests of the experimental sample of the thermoelectric system, based on joint use of high-current thermoelectric batteries and all-metal thermal conductors* 2018; 45 (3):68-75. (In Russ.) doi:10.21822/2073-6185-2018-45-3-68-75

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 681.382

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-3-68-75

### НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ОСНОВАННОЙ НА СОВМЕСТНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИЛЬНОТОЧНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БАТАРЕЙ И ЦЕЛЬНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕПЛОПРОВОДОВ

*Евдулов Д.В.<sup>4</sup>, Исмаилов Т.А.<sup>1</sup>, Казумов Р.Ш.<sup>3</sup>, Саркаров Т.Э.<sup>2</sup>*

<sup>1-4</sup> Дагестанский государственный технический университет,

<sup>1-4</sup> 367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

<sup>1</sup>e-mail:dstu@dstu.ru, <sup>2</sup>e-mail: sarkarovta@mail.ru,

<sup>3</sup>e-mail:kazumov.rev@yandex.ru, <sup>4</sup>e-mail:+79634051239@yandex.ru

**Резюме.** Целью статьи является разработка и исследование термоэлектрической системы, основанной на комбинированном использовании высокопоточных термоэлектрических батарей и теплопроводов, изготовленных из высокотеплопроводного материала (например, меди или алюминия), проведение натурных экспериментальных исследований опытного образца ТЭС. **Метод.** Представлена конструкция прибора экспериментального стенда опытного образца на основе комбинированного использования высокопоточных термоэлектрических батарей и теплопроводов, изготовленных из высокотеплопроводного материала. Разработана методика проведения натурных испытаний опытного образца на специально созданном лабораторном стенде с целью подтверждения адекватности полученных результатов ТЭС. **Результат.** Исследовано изменения температуры в различных точках ТЭС при фиксированном и различных токах питания, изменения температуры на конце теплопровода во времени при различных токах питания ТЭБ. Осуществлено сопоставление экспериментальных и расчетных данных опытного образца. **Вывод.** Результаты экспериментальных исследований показали эффективность разработанной термоэлектрической системы для осуществления дистанционного разделения источника холода и объекта охлаждения. Показано, что повысить эффективность термоэлектрической системы возможно при комбинированном использовании высокопоточных батарей и теплопроводов, изготовленных из высокотеплопроводного материала.

**Ключевые слова:** термоэлектрическая система, опытный образец, термоэлектрическая батарея, теплопровод, экспериментальный стенд, натурные испытания

TECHNICAL SCIENCE  
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

NATURAL TESTS OF THE EXPERIMENTAL SAMPLE OF THE THERMOELECTRIC SYSTEM, BASED ON JOINT USE OF HIGH-CURRENT THERMOELECTRIC BATTERIES AND ALL-METAL THERMAL CONDUCTORS

*Denis V. Evdulov<sup>4</sup>, Tagir A. Ismailov<sup>1</sup>, Revshan Sh. Kazumov<sup>3</sup>, Tadjedin E. Sarkarov<sup>2</sup>*

<sup>1-4</sup>Daghestan State Technical University,

<sup>1-4</sup>70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia,

<sup>1</sup>e-mail:dstu@dstu.ru,<sup>2</sup>e-mail: sarkarovta@mail.ru,

<sup>3</sup>e-mail:kazumov.rev@yandex.ru,<sup>4</sup>e-mail:+79634051239@yandex.ru

**Abstract. Objectives** The aim of the article is to develop and study a thermoelectric system based on the combined use of high-current thermoelectric batteries and heat pipelines made of high-heat-conducting material (e.g. copper or aluminum), to conduct full-scale experimental studies of the experimental sample of thermal power plants. **Method.** The design of the device of the experimental stand of the prototype on the basis of the combined use of high-current thermoelectric batteries and heat pipelines made of high-heat-conducting material is presented. The technique of full-scale tests of the prototype on a specially created laboratory bench to confirm the adequacy of the results of thermal power plants. **Result.** Temperature changes in different points of thermal power plants at fixed and different supply currents, temperature changes at the end of the heat pipeline in time at different supply currents of thermal power plants are investigated. The comparison of experimental and calculated data of the prototype is carried out. **Conclusion.** The results of experimental studies have shown the effectiveness of the developed thermoelectric system for remote separation of the cold source and the cooling object. It is shown that it is possible to increase the efficiency of thermal power plants with the combined use of high-current batteries and heat pipelines made of high-heat-conducting material.

**Keywords:** thermoelectric system, prototype, thermoelectric batteries, heat pipe, experimental stand, full-scale tests.

**Введение.** В настоящее время в практике проектирования радиоэлектронной аппаратуры очень часто возникает необходимость отделить источник холода от его потребителя (объекта охлаждения), являющихся составной частью блоков с плотной компоновкой элементов и расположенных в труднодоступных областях [1-4]. При использовании в качестве генератора холода термоэлектрического холодильника, последний, должен быть расположен на поверхности, либо в объеме, подлежащем охлаждению, в соответствии с чем, и система теплосъема термоэлектрической батареи (ТЭБ) должна быть расположена в непосредственной близости от объекта охлаждения [5-10]. Это обстоятельство в некоторой степени ограничивает использование термоэлектрического холодильника, когда вблизи потребителя холода из-за отсутствия места невозможно расположить систему теплосъема.

**Постановка задачи.** Для устранения указанного недостатка авторами предлагается термоэлектрическая система, основанная на совместном использовании высокоточных термоэлектрических батарей слоистого исполнения и теплопроводов изготовленных из высокотеплопроводного материала, например, меди или алюминия с минимальными потерями тепла по их длине [11-17].

**Методы исследования.** В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований ТЭС на основе комбинированного использования высокоточных ТЭБ слоистого исполнения и теплопроводов, изготовленных из высокотеплопроводного материала.

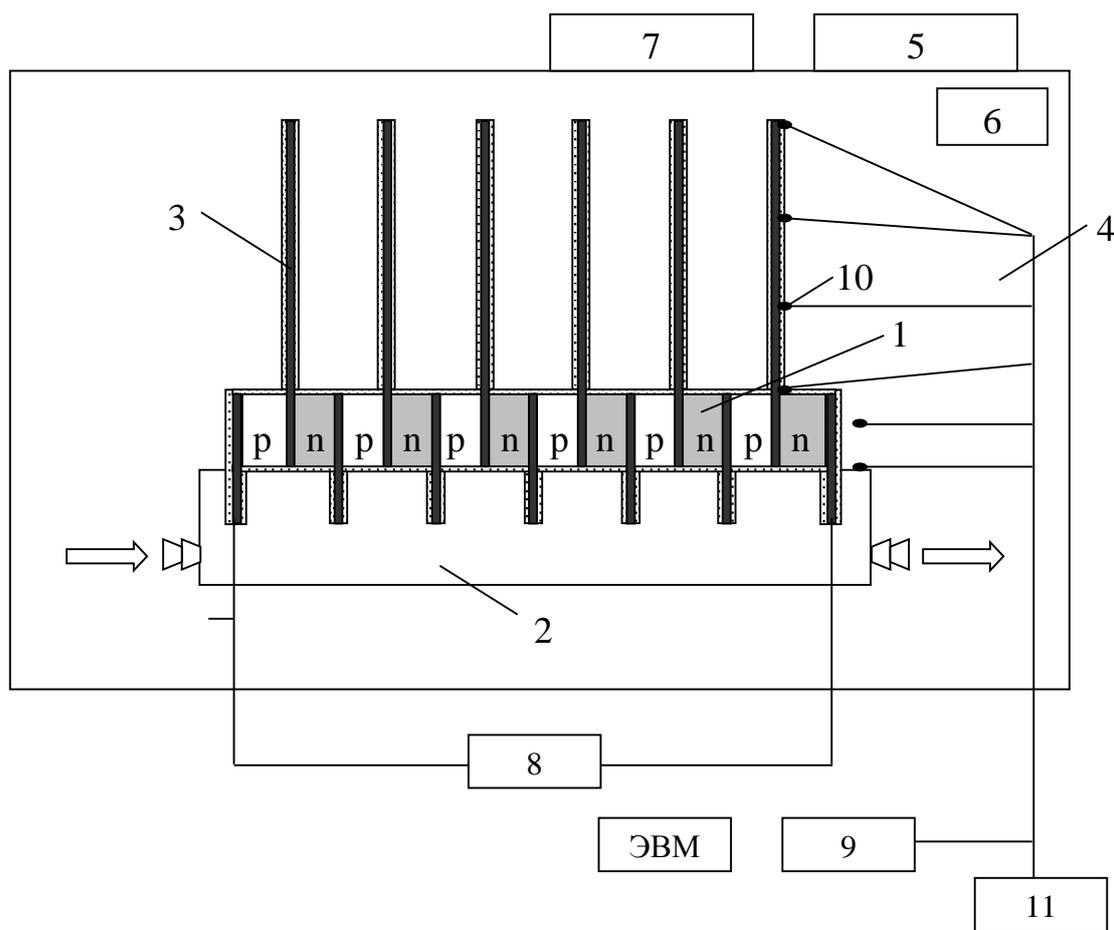


Рис.1 (а) Принципиальная схема экспериментального стенда  
Fig.1. (a) Schematic diagram of the experimental stand



Рис.1. (б) Внешний вид экспериментального стенда  
Fig.1. (b) Appearance of the experimental stand

Для проведения натурных испытаний термоэлектрической системы (ТЭС) был собран экспериментальный стенд, структурная схема которого приведена на рис.1, а, а внешний вид – на рис.1, б.

Объектом экспериментальных исследований являлся опытный образец ТЭС, в котором сопряжение тепловыделяющего элемента и ТЭБ осуществлялось за счет использования теплопроводов, изготовленных из высокотеплопроводного материала. ТЭС включает в себя слоистую ТЭБ 1, выполненную из 8 ТЭ, жидкостный теплообменный аппарат 2 для съема тепла с горячих

коммутационных пластин и теплопроводов 3, изготовленных из высокотеплопроводного материала, например, меди и алюминия.

Структура термоэлемента с геометрическими размерами и наложенной на нее конечно-элементной сеткой приведена на рис. 2 [18].

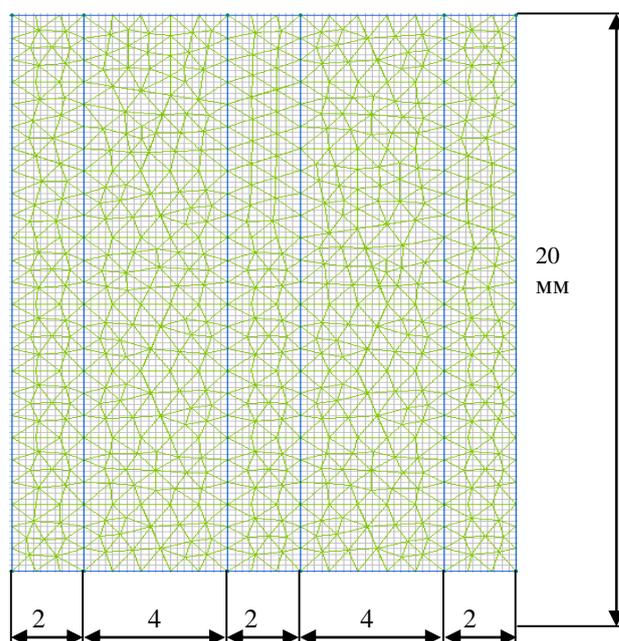


Рис. 2. Эскизный рисунок структуры термоэлемента с геометрическими размерами и, наложенной на нее, конечноэлементной сеткой

Fig. 2. A sketch drawing of a thermoelement structure with geometrical dimensions and a finite-element grid superimposed on it

При проведении экспериментальных исследований лабораторный опытный макет в процессе проведения эксперимента помещали в теплоизолированную климатическую камеру 4, термостатируемый объем которой составляет 120 литров.

Камера обеспечивает поддержание температуры в пределах от 283 до 343 К с точностью 1°C и относительной влажности в пределах 30 % - 98 %.

Заданная температура и относительная влажность в камере регулируются блоком управления 5, который связан с датчиком температуры и влажности 6, показания которого отображаются на цифровом табло 7. Питание ТЭБ осуществлялось высокоамперным регулируемым источником постоянного электрического тока 8 GW Laboratory DC PowerSupply GPR-1850HD.

Сбор экспериментальных данных осуществлялся автоматически с помощью измерителя технологического многоканального ИРТМ 2402/М3 9, который подключался к ПЭВМ и предусматривал возможность одновременного подсоединения до 24 датчиков температуры [19]. Измерения температуры в ходе эксперимента проводилось с помощью медь-константановых термопар 10, опорные спаи которых помещались в сосуд Дьюара 11, а сигнал снимался измерителем ИРТМ 2402/М3.

Напряжение и ток на ТЭБ фиксировались при помощи амперметра и вольтметра, встроенных в источник электрического тока.

В ходе эксперимента определялись напряжения и ток на ТЭБ, температура окружающей среды, температуры на холодных коммутационных пластинах, в различных точках теплопроводов, на входе и выходе жидкостного теплообменного аппарата.

На основе разработанного экспериментального стенда была проведена серия натурных испытаний опытного образца ТЭС, позволяющая судить об ее основных параметрах и характеристиках. Основной задачей при проведении экспериментальных исследований опытного образца являлось определение зависимости температуры в контрольных точках от времени при фиксированном токе.

рованных значениях токов питания ТЭБ. Полученные экспериментальные исследования сравнивались с теоретическими с целью определения расхождений в значениях между экспериментальными и расчетными данными.

**Обсуждение результатов.** Технические требования, предъявляемые к прибору при его работе, в процессе эксперимента задавались следующими исходными данными [20]: изменение тока питания ТЭБ – от 10 до 50 А; температура окружающей среды – от 25 °С; точность поддержания температуры в камере 1 °С; охлаждение горячих коммутационных пластин ТЭБ осуществлялось жидкостным теплообменным аппаратом, где в качестве теплоносителя использовалась вода при ее температуре 23 °С и скорости течения 0,07 л/сек. На рис.3. приведены данные об изменении температуры в различных точках при токе питания ТЭБ, равном 35 А.

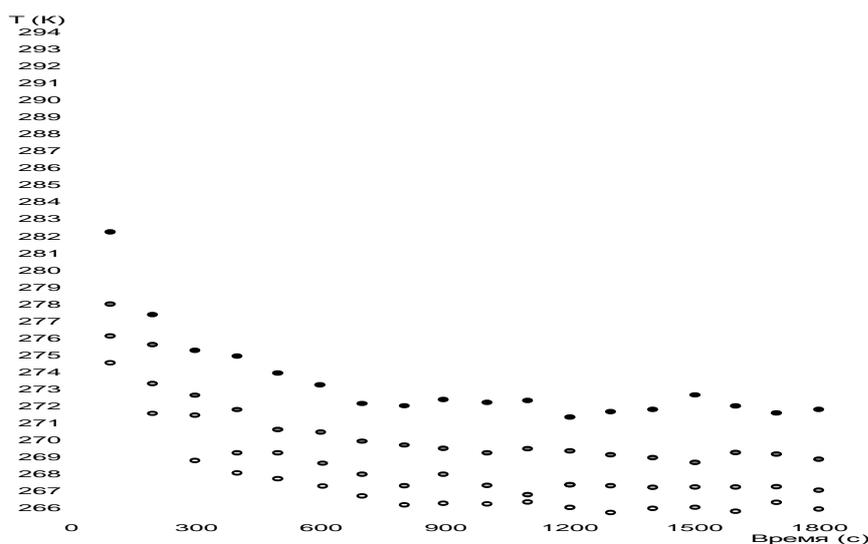


Рис. 3. Изменение во времени температуры в различных точках ТЭС при фиксированном токе питания ТЭБ: 1 – температура холодной коммутационной пластины, 2 – температура теплопровода на расстоянии 150 мм от холодной коммутационной пластины, 3 – температура теплопровода на расстоянии 300 мм от холодной коммутационной пластины, 4 – температура на конце теплопровода

Fig. 3. Temporal variation of temperature at various points of TPPs with a fixed supply of thermopile: 1 - temperature of the cold switching plate, 2 - temperature of the heat pipe at a distance of 150 mm from the cold switching plate, 3 - temperature of the heat pipe at a distance of 300 mm from cold switching plate, 4 - temperature at the end of the heat conductor

Как следует из представленных данных, перепад температур между холодным спаем ТЭБ и концом теплопровода длиной 0,425 м, выполненным из меди, составляет порядка 6 К. При этом данная величина перепада температур имеет примерно то же значение в диапазоне токов питания ТЭБ от 10 до 50 А, что следует из кривых, изображенных на рис.4-5, описывающих изменение температуры холодной коммутационной пластины и конца теплопровода во времени при различных величинах тока питания устройства.

Согласно приведенным данным для опытного образца ТЭС продолжительность выхода на стационарный режим работы составляет 20-25 мин. для различных точек системы. При этом продолжительность выхода на стационарный режим для контрольной точки, расположенной в конце теплопровода несколько выше, чем для холодной коммутационной пластины, и составляет около 25 мин., тогда как для последнего случая эта величина не превышает 20 мин. Данное обстоятельство объясняется удалением контрольной точки на конце теплопровода от источника холода – контакта ветви полупроводника и коммутационной пластины, конечным значением коэффициента теплопроводности материала теплопровода и теплопритоками из окружающей среды.

Максимальное снижение температуры получено при увеличении тока питания ТЭБ до 50 А. При этом температура коммутационной пластины снижалась до 258,5 К, контрольной точки в конце теплопровода – 264 К. Соответственно при последовательном уменьшении питающего

ТЭБ электрического тока до 40, 30, 20 и 10 А температура коммутационной пластины снижалась до 261,5, 267,5, 273 и 280 К, а на конце теплопровода – до 268,5, 273, 279, 285,5 К.

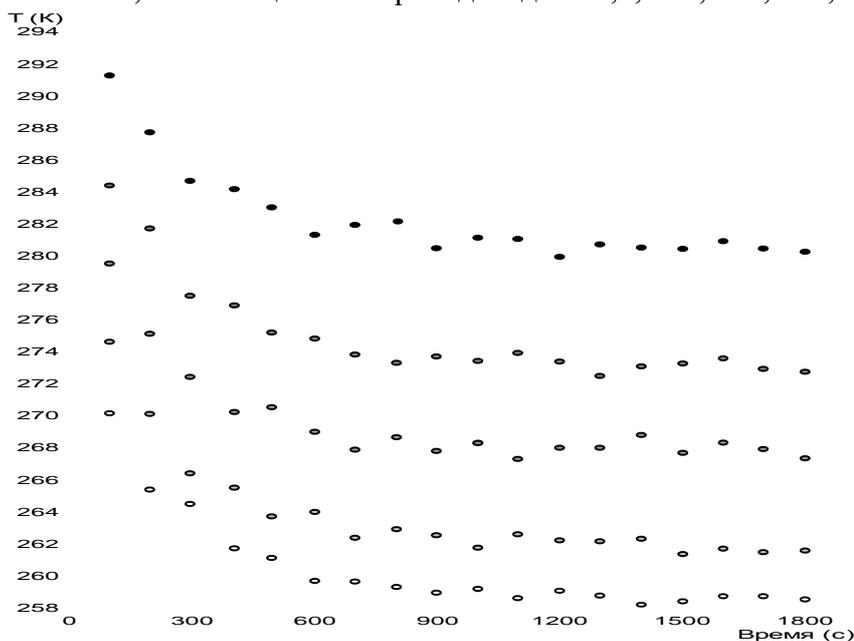


Рис. 4. Изменение температуры холодного спая во времени при различных токах питания ТЭБ: 1 – 50 А, 2 – 40 А, 3 – 30 А, 4 – 20 А, 5 – 10 А

Fig. 4. Temperature variation of the cold junction in time at different currents of the thermopile: 1 - 50 A, 2 - 40 A, 3 - 30 A, 4 - 20 A, 5 - 10 A

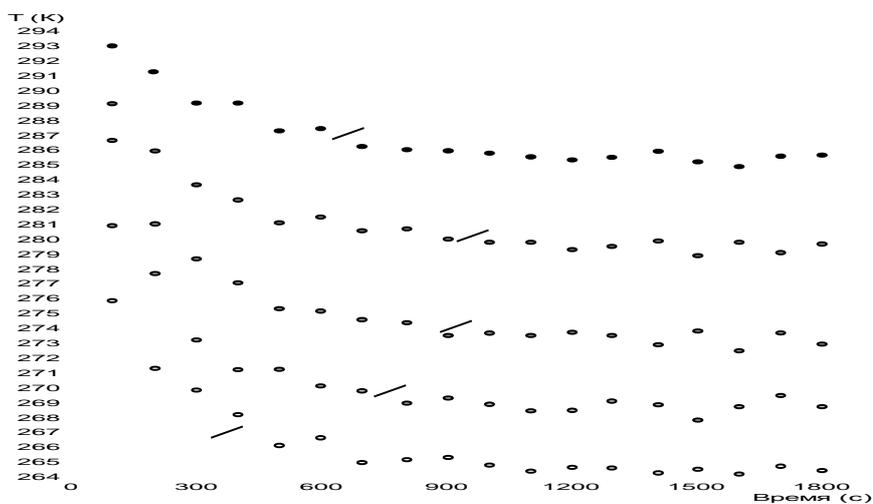


Рис. 5. Изменение температуры на конце теплопровода во времени при различных токах питания ТЭБ: 1 – 50 А, 2 – 40 А, 3 – 30 А, 4 – 20 А, 5 – 10 А

Fig. 5. Temperature change at the end of the heat conductor over time at different thermopile supply currents: 1 - 50 A, 2 - 40 A, 3 - 30 A, 4 - 20 A, 5 - 10 A

**Вывод:** В результате проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы: Результаты экспериментальных исследований показали эффективность разработанной термоэлектрической системы для осуществления дистанционного разделения источника холода и объекта охлаждения. Показано что повысить эффективность ТЭС возможно при совместном использовании сильточных батарей и теплопроводов изготовленных из высоко-теплопроводного материала.

**Библиографический список:**

1. Анатычук Л.И. Термоэлектричество. Термоэлектрические преобразователи энергии. - Киев, Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003.
2. Анатычук Л.И. Элементная база термоэлектричества // Доклады IX Межгосударственного семинара "Термоэлектрики и их применение". - Санкт-Петербург, 2004.

3. Анатычук Л.И. О физических моделях термоэлементов // Термоэлектричество. - 2003, №1.
4. Булат Л.П. Прикладные исследования и разработки в области термоэлектрического охлаждения в России // Холодильная техника, 2009. - № 7.
5. Малкович Б.Е.-Ш. Термоэлектрические модули на основе сплавов теллурида висмута // Доклады XI Межгосударственного семинара "Термоэлектрики и их применение". - Санкт-Петербург, 2008.
6. Ssenoga Twaha, Jie Zhu, Yuying An, Bo Li A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modelling and performance improvement // Renewable and sustainable energy reviews, 2016. - №65.
7. Воронин А.И., Осилков А.С., Горбатовская Т.А. К вопросу о механической прочности ветвей термоэлементов на основе  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  // Доклады XI Межгосударственного семинара "Термоэлектрики и их применение". - Санкт-Петербург, 2008.
8. Korzhuev M. A., Avilov E. S., Nichezina I. Yu. Non-standard Harman response at the separate measurement of stages of multicascade thermoelectric modules // JEMS. - 2011. - v. 40, №5.
9. Yagov V.V. Possible mechanisms of high-intensity heat transfer in cooling of high temperature surfaces // Materials IX International seminar «Heat pipes, heat pumps, refrigeration, power sources». - Minsk. - 2015.
10. Сулин А Б, Богомолов И Н Компрессионно-термоэлектрические термостаты лабораторного назначения // Известия вузов. Приборостроение. - 2008. - №7.
11. Патент РФ № 2380787. Термоэлектрическая батарея / Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Евдулов Д.В., 2010.
12. Патент РФ № 2379790. Термоэлектрическая батарея / Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Евдулов Д.В., 2010.
13. Патент РФ № 2417484. Термоэлектрическая батарея / Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Евдулов Д.В., 2011.
14. Патент РФ № 2338299 . Термоэлектрическая батарея / Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Вердиев М.Г., 2007.
15. Патент РФ № 2338298 . Термоэлектрическая батарея / Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Вердиев М.Г., 2007.
16. Патент РФ № 2314663 . Устройство для охлаждения элементов радиоэлектронной аппаратуры, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений / Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Вердиев М.Г., Менафов А.М., 2005.
17. Патент РФ № 2180161 . Устройство для термостабилизации элементов радиоэлектронной аппаратуры с высокими тепловыделениями/ Евдулов О.В., Исмаилов Т.А., Юсуфов Ш.А., Аминов Г.И., 2000.
18. Евдулов О.В., Евдулов Д.В. Теоретические исследования термоэлектрического элемента слоистой конструкции // Термоэлектричество. – 2015. - № 2.
19. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Махмудова М.М., Евдулов Д.В. Исследование системы охлаждения элементов радиоэлектронной аппаратуры, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. - 2008. - №5.
20. Дульнев Г.Н. Теория тепло- и массообмена. - СПб.: СПбНИУИТМО. - 2012.

#### References:

1. Anatyshuk L.I. Termoelektrichestvo. Termoelektricheskiye preobrazovately energii. - Kiyev, Chernovtsy: Institut termoelektrichestva, 2003. [Anatyshuk L. I. Thermoelectricity. Thermoelectric power converters. - Kyiv, Chernivtsi: Institute of thermoelectricity, 2003.]
2. Anatyshuk L.I. Elementnaya baza termoelektrichestva//Doklady IKH Mezghosudarstvennogo seminar "Termoelektriki i ikh primeneniye". - Sankt-Peterburg, 2004. [Anatyshuk L. I. Element base of thermoelectricity // Reports of IX Interstate seminar "Thermoelectrics and their application". - St. Petersburg, 2004. (In Russ.)]
3. Anatyshuk L.I. O fizicheskikh modelyakh termoelementov // Termoelektrichestvo. - 2003, №1. [Anatyshuk L. I. On the physical models of thermoelements // J. Thermoelectricity. - 2003, №1].
4. Bulat L.P. Prikladnyye issledovaniya i razrabotki v oblasti termoelektricheskogo okhlazhdeniya v Rossii// Kholodil'naya tekhnika, 2009. - № 7. [Bulat L. p. Applied research and development in the field of thermoelectric cooling in Russia/ Refrigeration, 2009. - № 7(In Russ.)]
5. Malkovich B.Ye.-SH. Termoelektricheskiye moduli na osnove splavov tellurida vismuta // Doklady XI Mezghosudarstvennogo seminar "Termoelektriki i ikh primeneniye". - Sankt-Peterburg, 2008 [Malkovich B. E.-S. Thermoelectric modules based on alloys of bismuth telluride // Reports XI Interstate workshop "Thermoelectrics and their application". - St. Petersburg, 2008 (In Russ.)].
6. Ssenoga Twaha, Jie Zhu, Yuying An, Bo Li A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modeling and performance improvement//Renewable and sustainable energy reviews, 2016. - №65.
7. Voronin A.I., Osilkov A.S., Gorbatovskaya T.A. K voprosu o mekhanicheskoy prochnosti vetvey termoelementov na osnove  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  // Doklady KHI Mezghosudarstvennogo seminar "Termoelektriki i ikh primene-niye". - Sankt-Peterburg, 2008. [Voronin A. I., Selkov A. S., T. A. Gorbatovskaya To the question of mechanical strength of the branches of thermoelements based on  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  // Reports XI Interstate workshop "Thermoelectrics and their application". - St. Petersburg, 2008].
8. Korzhuev M. A., Avilov E. S., Nezina I. Yu. Non-standard Harman response at the separate measurement of stages of multicascade thermoelectric modules // JEMS. - 2011. - V. 40, №5.
9. Yagov V. V. Possible mechanisms of high-intensity heat transfer in cooling of high temperature surfaces // Materials of the IX International seminar "Heat pipes, heat pumps, refrigeration, power sources". - Minsk. - 2015.
10. Sulin A B, Bogomolov I N Kompresionno-termoelektricheskiye termostaty laboratornogo naznacheniya // Izvestiya vuzov. Priborostroyeniye. - 2008. - №7 [Sulin And B, Bogomolov And N Compression-thermoelectric thermostats laboratory purposes // proceedings of the universities. Instrument making. - 2008. - №7(In Russ.)]

11. Patent RF № 2380787. Termoelektricheskaya batareya / Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Yevdulov D.V., 2010. [Patent RF № 2380787. Thermoelectric battery / Ismailov T. A., Avdulov O. V., Avdulov D. V., 2010(In Russ.)]
12. Patent RF № 2379790. Termoelektricheskaya batareya / Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Yevdulov D.V., 2010. [Russian patent № 2379790. Thermoelectric battery / Ismailov T. A., Avdulov O. V., Avdulov D. V., 2010(In Russ.)]
13. Patent RF № 2417484. Termoelektricheskaya batareya / Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Yevdulov D.V., 2011. [Russian patent № 2417484. Thermoelectric battery / Ismailov T. A., Avdulov O. V., Avdulov D. V., 2011(In Russ.)]
14. Patent RF № 2338299 . Termoelektricheskaya batareya / Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Verdiyev M.G., 2007. [Patent RF № 2338299 . Thermoelectric battery, T. Ismailov, O. V. Evdulov, M. G., 2007(In Russ.)]
15. Patent RF № 2338298 . Termoelektricheskaya batareya / Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Verdiyev M.G., 2007. [Russian patent № 2338298 . Thermoelectric battery, T. Ismailov, O. V. Evdulov, M. G., 2007 (In Russ.)]
16. Patent RF № 2314663 . Ustroystvo dlya okhlazhdeniya elementov radioelektronnoy apparatury, rabota-yushchikh v rezhime povtorno-kratkovremennykh teplovydeleniy / Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Verdiyev M.G., Menafov A.M., 2005. [Patent RF № 2314663 . A device for cooling elements of electronic equipment working in a mode of intermittent heat / Ismailov T. A., Avdulov O. V. Verdiev M. G., Manafov A. M., 2005 (In Russ.)]
17. Patent RF № 2180161 . Ustroystvo dlya termostabilizatsii elementov radioelektronnoy apparatury s vysokimi teplovydeleniyami/ Yevdulov O.V., Ismailov T.A., Yusufov SH.A., Aminov G.I., 2000. [Patent RF № 2180161 Device for thermal stabilization of elements of radioelectronic equipment with high heat/ Evdulov O. V., Ismailov T. A., Yusufov sh., Aminov G. I., 2000(In Russ.)].
18. Evdulov O.V., Evdulov D.V. Teoreticheskiye issledovaniya termoelektricheskogo elementa sloistoy kon-struktzii // Termoelektrichestvo. – 2015. - № 2 [Avdulov O. V., Avdulov D. V. Theoretical study of the thermoelectric element layered structures // journal of thermoelectricity. - 2015. - № 2(In Russ.)]
19. Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Makhmudova M.M., Yevdulov D.V. Issledovaniye sistemy okhlazhdeniya elementov radioelektronnoy apparatury, rabotayushchikh v rezhime povtorno-kratkovremennykh teplovydeleniy // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy Rossii. Radioelektronika. - 2008. - №5. [Ismayilov T. V., Evdulov O. V., Makhmudova M. M., Evdulov D. V. research of cooling system of the elements of the radio-electronic equipment working in the mode of re-short-term heat dissipation // Izvestiya of higher educational institutions of Russia. Radionics. - 2008. - №5 (In Russ.)]
20. Dul'nev G.N. Teoriya teplo- i massoobmena. - SPb.: SPbNIUITMO. - 2012. [Dul'nev G. N. Theory of heat and mass transfer. - SPb.: NRU ITMO. – 2012(In Russ.)].

#### **Сведения об авторах.**

**Исмаилов Тагир Абдурашидович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и общей электротехники, заслуженный деятель науки РФ.

**Саркаров Таджидин Экберович** – доктор технических наук, профессор, кафедра теоретической и общей электротехники.

**Казумов Ревшан Шихович** – кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической и общей электротехники.

**Евдулов Денис Викторович** – кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра теоретической и общей электротехники.

#### **Information about the authors.**

**Tagir A.Ismailov** – Dr. Sci.(Technical), Prof., Department of Theoretical and General electrical engineering. Honored worker of science of the Russian Federation.

**Tadjedin E.Sarkarov** – Dr. Sci.(Technical), Prof., Department of Theoretical and General electrical engineering.

**Revshan Sh. Kazumov** – Cand. Sci.(Technical), Assoc. Prof., Department of Theoretical and General electrical engineering.

**Denis V. Evdulov**– Cand. Sci.(Technical), Senior lecturer, Department of Theoretical and General electrical engineering.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

**Поступила в редакцию** 30.06.2018.

**Received** 30.06.2018.

**Принята в печать** 25.08.2018.

**Accepted for publication** 25.08.2018.