

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-1-6-13

Оригинальная статья /Original Paper

Экспериментальные исследования системы охлаждения электронных плат

О.В. Евдулов, А.М. Хайбулаев

Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является освещение полученных данных экспериментальных исследований, методики проведения измерений, а также конструкции лабораторного стенда для проведения натурных испытаний термоэлектрической системы (ТЭС) для неравномерного охлаждения электронных плат. **Метод.** Описан экспериментальный стенд и методика проведения измерений лабораторного образца термоэлектрической системы для охлаждения элементов электронных плат. Экспериментальный стенд выполнен на основе измерительного оборудования лаборатории полупроводниковых термоэлектрических приборов и устройств ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет». **Результат.** Получены графики зависимости изменения во времени температуры контрольных точек термоэлектрической системы при различных токах питания термоэлектрической батареи (ТЭБ). Определены температурные зависимости тепловыделяющих элементов имитатора электронной платы при их неравномерном охлаждении от параметров ТЭБ и рабочего вещества, а также изменение во времени температуры оболочки емкости с рабочим агентом. **Вывод.** В результате натурных испытаний прибора установлено, что применение охлаждающей системы уменьшает температуру тепловыделяющих элементов до приемлемых значений, в частности, при суммарной мощности тепловыделений электронной платы 120 Вт температура источников теплоты снижается до 345 К и 344 К (от 428 К и 396 К). При этом также уменьшается температурный фон, создаваемый тепловыделяющими элементами в близлежащих к ним областях имитатора электронной платы. Оценено расхождение между предварительными и экспериментальными результатами расчетов, которое составило 8 %.

Ключевые слова: элемент радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), электронная плата, термоэлектрическая система, термоэлектрическая батарея, экспериментальный стенд, методика измерений, температура, натурные испытания

Для цитирования: О.В. Евдулов, А.М. Хайбулаев. Экспериментальные исследования системы охлаждения электронных плат. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022;49(1):6-13. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-1-6-13

Experimental studies of the electronic board cooling system

O.V. Evdulov, A.M. Khaibulaev

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is to illuminate the obtained experimental research data, measurement technique, as well as the design of a laboratory bench for full-scale tests of thermoelectric system (TES) for uneven cooling of electronic boards. **Method.** The article describes the experimental set-up and measurement procedure of laboratory thermoelectric system for electronic circuit boards cooling. The experimental stand is made on the basis of the measuring equipment of the laboratory of semiconductor thermoelectric devices and devices of Daghestan State Technical University. **Result.** We obtained plots of time dependences of temperature changes in thermoelectric system

checkpoints at different thermoelectric battery (TEB) supply currents. Determined were the temperature dependences of the thermoelectric elements of the electronic board simulator at their non-uniform cooling on the parameters of FEB and working substance as well as the time variation of the temperature of the shell of the vessel with the working agent. **Conclusion.** As a result of full-scale tests of the device it was found that the use of a cooling system reduces the temperature of heat-generating elements to acceptable values. In particular, the temperature of heat sources decreases to 345 K and 344 K (from 428 K and 396 K) if the total heat-generating power of the electronic board is 120 W. At the same time, the temperature background created by the heat-generating elements in the nearby areas of the electronic board simulator also decreases. The discrepancy between the results of calculations carried out beforehand and the experiment was estimated to be 8%.

Keywords: radio-electronic equipment (REA) element, electronic board, thermoelectric system, thermoelectric battery, experimental bench, measurement technique, temperature, full-scale tests

For citation: O.V. Evdulov, A.M. Khaibulaev. Experimental studies of the electronic board cooling system. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2022; 49 (1): 6-13. DOI: 10.21822 /2073-6185-2022-49-1-6-13

Введение. Широкое применение электронных плат в различных радиоэлектронных устройствах дает существенный выигрыш в надежности, габаритах, весе, сроке службы подобной аппаратуры [1-4]. Все это раскрывает большие перспективы дальнейшего улучшения их качественных показателей. Существенным недостатком элементов электронных плат является ограничение их мощности без принятия специальных технических мер. Данное обстоятельство связано с наличием температурного диапазона, при котором обеспечивается оптимальная и стабильная работа радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) [5]. Превышение верхнего значения температуры в этом случае ведет к существенному снижению показателей работы элементов РЭА и повышает вероятность выхода их из строя.

В настоящее время для увеличения мощности электронных плат используются различного рода системы охлаждения. К ним относятся технические средства, реализующие воздушный, жидкостной, испарительный и кондуктивный метод отвода теплоты [6-11]. Каждое из них обладает определенными преимуществами и недостатками. Так, системы воздушного охлаждения просты в эксплуатации и имеют высокую надежность, но дают возможность снижения температуры элементов РЭА только до температуры окружающей среды [12]. Устройства, реализующие жидкостной и испарительный метод отвода теплоты обладают высокой эффективностью, но имеют сложную конструкцию и технологию изготовления [13]. Технические средства, использующие кондуктивную теплопередачу обладают недостаточной эффективностью, но имеют небольшие габаритные размеры и высокий ресурс работы [14]. В данных условиях имеет большое практическое значение и актуальность разработка новых систем и устройств отвода теплоты от электронных плат, характеризующихся улучшенными характеристиками.

Постановка задачи. Целью исследования является освещение полученных данных экспериментальных исследований, методики проведения измерений, а также конструкции лабораторного стенда для проведения натурных испытаний термоэлектрической системы (ТЭС) для неравномерного охлаждения электронных плат.

Методы исследования. Для обеспечения нормальных температурных условий работы элементов электронных плат и их равномерного охлаждения, при котором все тепловыделяющие элементы охлаждаются с одинаковой интенсивностью, является не целесообразным. Более рационально осуществлять неравномерный отвод теплоты [15]. В этом случае радиоэлементы с большей величиной мощности рассеяния будут охлаждаться с большей интенсивностью, а элементы с меньшим уровнем тепловыделений - с меньшей.

Разработана конструкция охлаждающей системы [16], изображенная на рис.1, в которой совместно использованы термоэлектрические батареи (ТЭБ) и плавящиеся рабочие вещества.

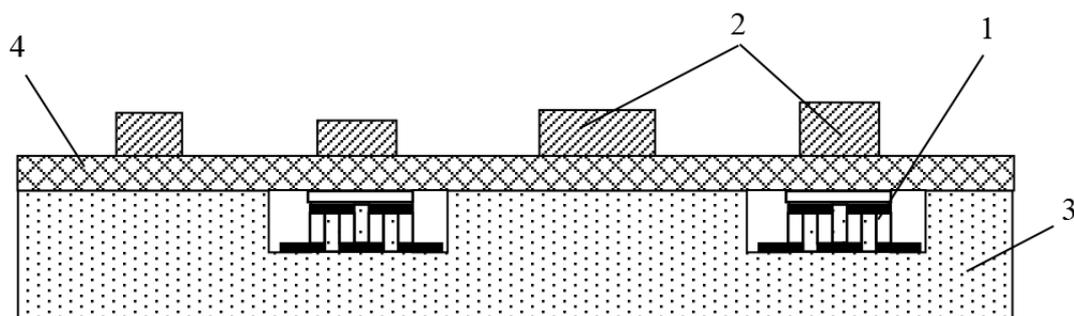


Рис.1. Структурная схема термоэлектрической системы для охлаждения электронных плат
Fig.1. Structural diagram of a thermoelectric system for cooling electronic circuit boards

В данной схеме охлаждения применяются однокаскадные ТЭБ 1, размещаемые в местах установки элементов РЭА 2, наиболее критичных к температурному режиму функционирования или требующих существенного снижения температуры. ТЭБ устанавливаются в углублениях на поверхности металлической емкости 3, заполненной рабочим веществом, имеющим большое значение теплоты плавления и температуру плавления в диапазоне 35-65°C [17], контактирующей с остальной частью электронной платы 4. Конструкция имеет упрощенную технологию изготовления, предусматривает возможность согласования режимов работы отдельных ТЭБ и энергосбережения.

Проведены экспериментальные исследования описанной ТЭС на соответствующем стенде, изображенном на рис.2. Исследования прибора проводились в теплоизолированной климатической камере 1, заданная температура и относительная влажность в которой регулируется блоком управления 2, связанным с датчиком температуры и влажности 3, показания которого регистрируются цифровым табло 4.

Объектом экспериментальных исследований являлся опытный образец системы охлаждения, представляющий емкость 5, заполненную рабочим веществом – парафином. Верхняя поверхность емкости выполнена профилированной с образованием двух пазов, в которых размещены ТЭБ 6 типа DRIFT-08 (производитель ООО «Криотерм», г. Санкт-Петербург) [18]. Место расположения пазов соответствует размещению на имитаторе электронной платы 7 тепловыделяющих элементов 8, в качестве которых применялись плоские нихромовые электронагреватели.

Топология размещения на имитаторе электронной платы тепловыделяющих элементов показана на рис.3 (размеры даны в миллиметрах). Имитатор соответствует проектируемой электронной плате высокочастотного усилителя мощности ОАО «Избербашский радиозавод им. П.С. Плевакова». Для определения основных параметров исследуемого опытного образца при испытаниях замерялись следующие величины: напряжение и ток на ТЭМ; температуры на их спаях; напряжение и ток на нагревателях, температуры в контрольных точках имитатора электронной платы, включая нагреватели, оболочки емкости с рабочим веществом [19].

Температуры на горячей и холодной сторонах ТЭБ, а также в контрольных точках имитатора электронной платы измерялись медь-константановыми термопарами 9, опорные спаи которых находились в сосуде Дьюара 10. Выходные сигналы с термопар через многоканальный переключатель 11 поступали на измерительный комплекс ИРТМ 12, к выходу которого подключалась персональная ЭВМ 13, регистрирующая показания измеряемых температур через заданный промежуток времени.

Питание ТЭМ осуществлялось регулируемым источником постоянного тока 14. Ток, проходящий через ТЭМ, и напряжение на нем контролировались встроенными в блок питания приборами. Для питания имитаторов тепловой нагрузки (электронагревателей) использовался аналогичный источник постоянного тока 15. Основной задачей, стоящей при проведении экспериментальных исследований, являлось определение температурных зависимостей тепловы-

деляющих элементов имитатора электронной платы при их неравномерном охлаждении от параметров ТЭБ и рабочего вещества, а также изменение во времени температуры оболочки емкости с рабочим агентом.

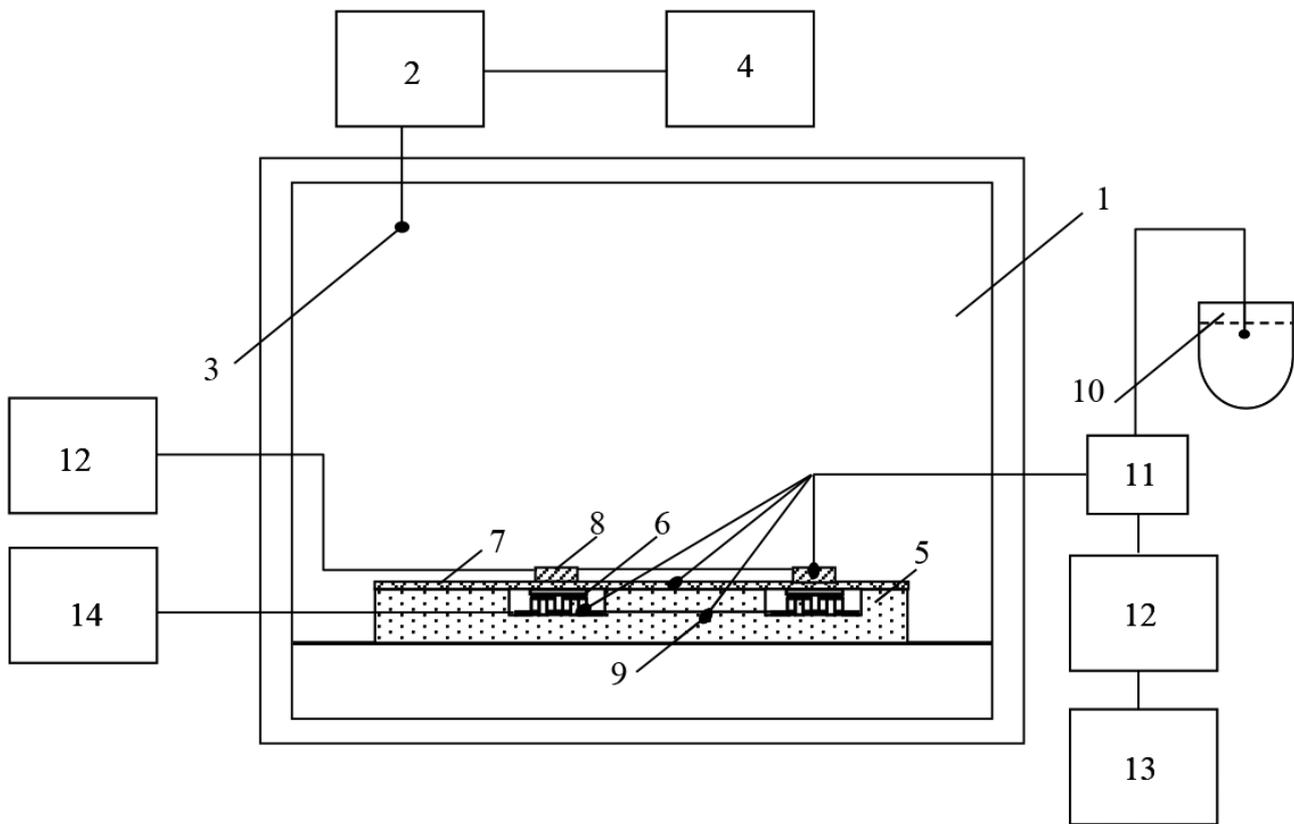


Рис. 2. Принципиальная схема экспериментального стенда
 Fig. 2. Schematic diagram of the experimental stand

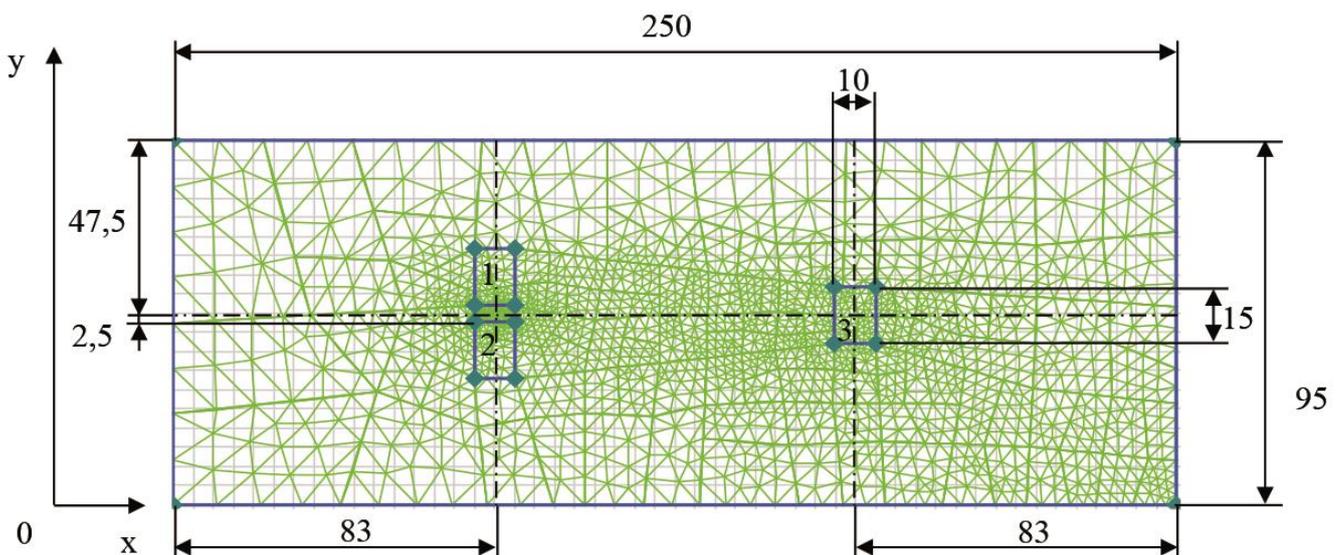


Рис. 3. Топология имитатора электронной платы
 Fig. 3. Board Simulator Topology

Обсуждение результатов. Получены экспериментальные зависимости изменения температуры в контрольных точках имитатора электронной платы во времени без системы охлаждения при различных мощностях. Согласно данным температура тепловыделяющих элементов значительно повышается.

Так, для источника теплоты 1 в стационарном режиме ее значение составляет 428 К при мощности тепловыделений 120 Вт и 410 К при мощности тепловыделений 100 Вт (те же значения температуры и для тепловыделяющего элемента 2), а для источника теплоты 3 соответственно - 396 К и 382 К. При этом также велика температура в областях имитатора электронной платы, близлежащих к источникам теплоты, что говорит о наличии значительного температурного фона, который может сказаться на работе элементов электронной платы – служить причиной выхода их из строя.

На рис.4 приведен график изменения температуры в контрольных точках имитатора электронной платы во времени при использовании опытного образца системы охлаждения. Согласно представленным данным применение охлаждающей системы уменьшает температуру тепловыделяющих элементов до приемлемых значений. Для случая, соответствующего рис.3, температура источников теплоты снижается до 345 К и 344 К. При этом также уменьшается температурный фон, создаваемый тепловыделяющими элементами в близлежащих к ним областях имитатора электронной платы.

Для анализа энергетических характеристик системы охлаждения на рис.5 показано изменение температуры контрольных точек имитатора электронной платы от силы, питающего ТЭБ электрического тока и потребляемой электрической энергии. В соответствии с полученными данными с увеличением силы тока, протекающего через ТЭБ, температура всех контрольных точек уменьшается. При этом ее наименьшее значение для данного случая при мощности источников теплоты 120 Вт составляет 344 К, что соответствует току питания ТЭБ 9 А. Очевидно, что дальнейшее увеличение электрического тока вплоть до оптимального для данного типа ТЭМ значения (11,3 А) даст дальнейшее снижение температуры контрольных точек.

Соответственно, с ростом тока питания ТЭБ увеличивается потребляемая ею электрическая мощность. Для случая, представленного на рис.4 току 9 А соответствует потребляемая мощность 360 Вт. Получены экспериментальные зависимости температуры оболочки в зависимости от времени при плавлении рабочего вещества для различных значений тока питания ТЭБ. Согласно данным, с ростом тока питания увеличивается количество теплоты, подводимого к поверхности емкости в единицу времени (тепловой мощности), что повышает температуру оболочки. Так, при использовании в качестве рабочего агента парафина увеличение тока питания ТЭБ с 3 до 9 А повышает температуру оболочки примерно на 40 К через 1,5.

Соответственно, повышается и скорость плавления вещества. Согласно рис.5, где приведены данные о продолжительности полного плавления веществ при различных значениях тока питания ТЭБ, увеличение электрического тока с 4 до 9 А снижает время полного плавления агентов с 5,1 ч. до 3,3 ч. На практике это может привести к тому, что при соответствующих тепловых нагрузках может нарушиться нормальный режим работы элементов электронной платы. Поэтому указанное обстоятельство следует учитывать при проектировании охлаждающей системы.

По результатам опытов проведено сопоставление теоретических и экспериментальных данных. На рис.4-6 теоретическим данным соответствуют сплошные линии. Полученные экспериментальные значения определяют приемлемую точность расчетной модели и соответствующих теоретических выкладок [20].

Максимальное расхождение расчетных и экспериментальных данных не превышает 8 %. Наибольшее отклонение расчетных данных и опыта наблюдается при измерении температуры оболочки емкости с рабочим веществом, что объясняется наличием в расчетной модели ряда допущений, снижающих точность расчета.

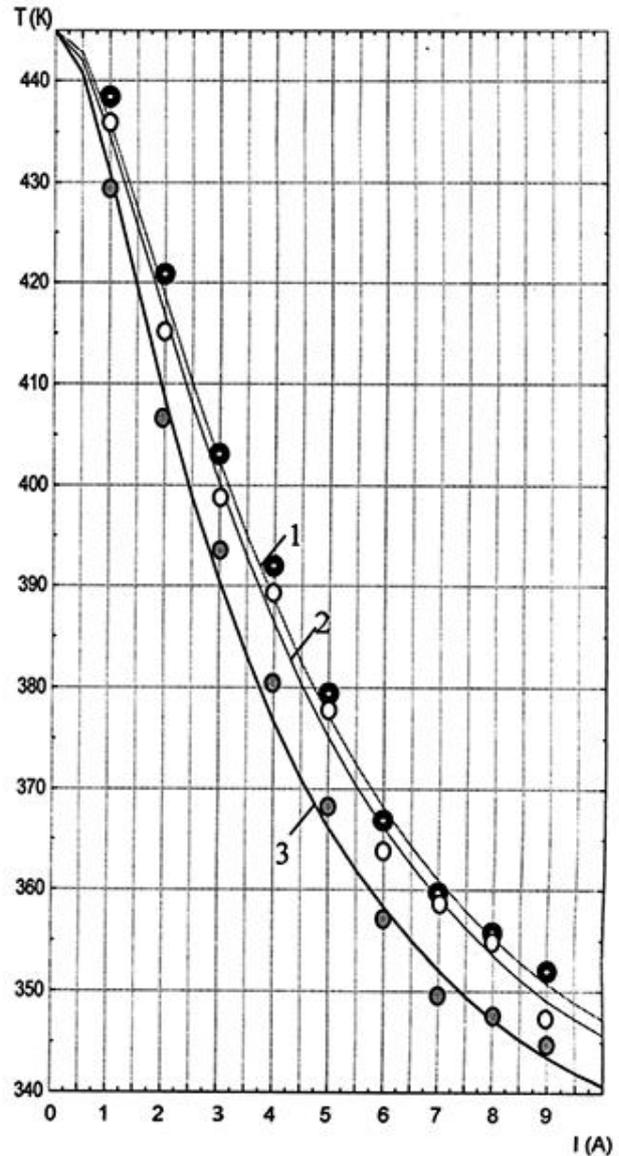
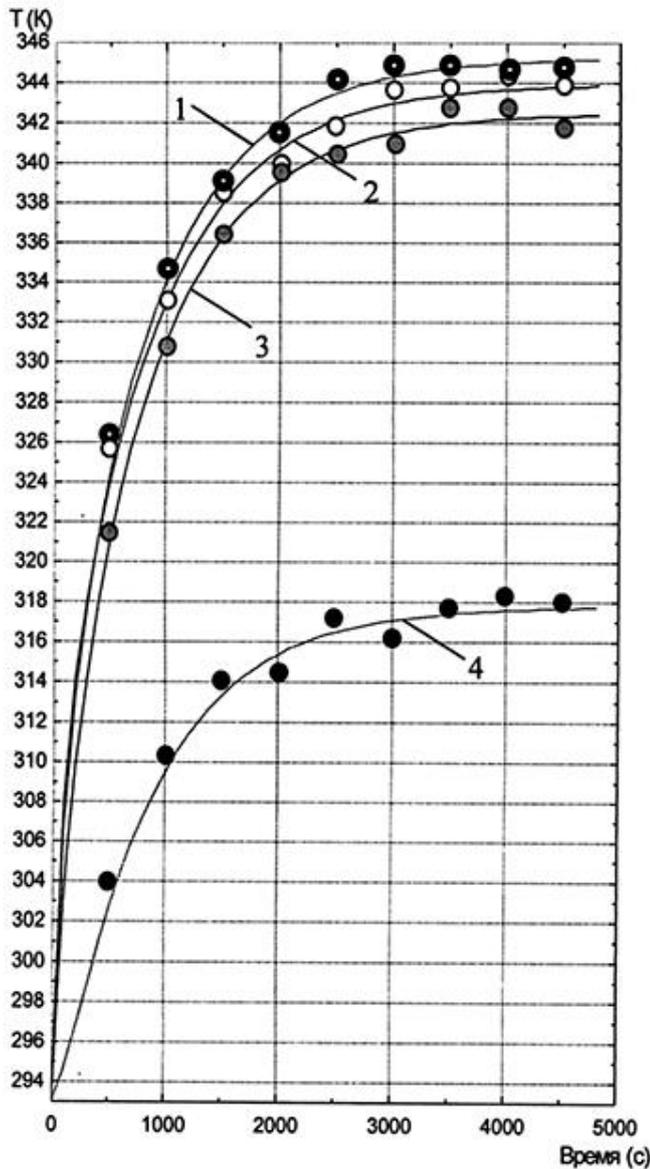


Рис. 4. Изменение температуры различных точек электронной платы во времени при мощности тепловыделяющих элементов 120 Вт и токе питания ТЭБ 10 А

1 – температура источника теплоты 1; 2 – температура источника теплоты 3; 3 – температура при $x=125$ мм, $y=47,5$ мм; 4 – температура при $x=17$ мм, $y=14$ мм

Fig. 4. Change in temperature of various points of the electronic board over time at a power of fuel elements of 120 W and a supply current of a thermopile of 10 A

1 – temperature of heat source 1; 2 – temperature of heat source 3; 3 – temperature at $x=125$ mm, $y=47.5$ mm; 4 – temperature at $x=17$ mm, $y=14$ mm

Рис. 5. Изменение температуры различных точек электронной платы от тока питания ТЭБ в стационарном режиме при мощности тепловыделяющих элементов 120 Вт

1 – температура источника теплоты 1; 2 – температура источника теплоты 3; 3 – температура при $x=125$ мм, $y=47,5$ мм

Fig. 5. Variation of the temperature of various points of the electronic board from the supply current of the thermopile in the stationary mode at the power of the fuel elements of 120 W

1 – temperature of heat source 1; 2 – temperature of heat source 3; 3 – temperature at $x=125$ mm, $y=47.5$ mm

Вывод. Разработан новый тип системы охлаждения радиоэлектронных приборов, выполненных в виде электронных плат. Для организации эффективного отвода теплоты от таких элементов РЭА использована схема неравномерного охлаждения, реализованная на основе совместного использования плавящихся рабочих веществ и ТЭБ.

Проведены экспериментальные исследования разработанной ТЭС, примененной для отвода теплоты от электронной платы высокочастотного усилителя мощности, разработанной

ОАО «Избербашский радиозавод им. П.С. Плешакова».

В результате натурных испытаний прибора установлено, что применение охлаждающей системы уменьшает температуру тепловыделяющих элементов до приемлемых значений, в частности при суммарной мощности тепловыделений электронной платы 120 Вт температура источников теплоты снижается до 345 К и 344 К (от 428 К и 396 К).

При этом также уменьшается температурный фон, создаваемый тепловыделяющими элементами в близлежащих к ним областям имитатора электронной платы. Оценено расхождение между результатами расчетов, осуществленными предварительно, и экспериментально, которое составило 8 %.

Библиографический список:

1. Д.А. Коновалов, И.Н. Лазаренко, И.Г. Дроздов, Д.П. Шматов. Современные подходы к разработке и созданию элементов систем тепловой защиты радиоэлектронных компонентов//Вестник ВГТУ. - 2014. - Т. 10. - № 1. - С. 97-104.
2. В.А. Кораблев, Д.А. Минкин, Л.А. Савинцева, А.В. Шарков. Исследование мощности тепловыделений в элементах электронной и оптоэлектронной техники//Известия Вузов. Приборостроение - 2013. - т. 56, № 3 - С.98-100.
3. Bahman Zohuri Heat pipe design and technology / Zohuri Bahman. New York: Springer international publishing, 2016; 513.
4. Jun Dai, Michael M. Ohadi, [et al.]. Optimum Cooling of Data Centers / New York: Springer-Verlag, 2014; 186.
5. Васильев Е.Н. Расчет и оптимизация режимов термоэлектрического охлаждения теплонагруженных элементов // Журнал технической физики. 2017. -Т.87, № 1. - С. 80-86.
6. Shabany Y. Heat transfer: thermal management of electronics. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010; 471.
7. А. Ю. Меркульев, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков. Системы охлаждения полупроводниковых электрорадиоизделий // Молодой ученый. - 2013. - № 11 (58). - С. 143-145.
8. П.Г. Андреев, И.Ю. Наумова. Защита радиоэлектронных средств от внешних воздействий / Пенза: ПГУ, 2012. - 130 с.
9. Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Д.В. Евдулов. Системы отвода теплоты от элементов РЭА на базе плавящихся тепловых аккумуляторов//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015.- Т. 36.- №1- С.38-44. doi.org/10.21822/2073-6185-2015-36-1-38-44
10. Пат. 2314663, Рос. Федерация: МПК⁷ Н 05 К 7/20, Устройство для охлаждения элементов радиоэлектронной аппаратуры, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, М.Г. Вердиев, А.М. Менафов, № 2005112476; опубл. 10.01.2008, Бюл. №1.
11. Пат. 2338300, Рос. Федерация: МПК⁷ Н 01 L 35/28, Термоэлектрическая батарея / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, М.Г. Вердиев, № 2007122856; опубл. 10.11.2008, Бюл. №31.
12. Etemoglu A.B. A brief survey and economical analysis of air cooling for electronic equipment. International communication in heat and mass transfer. 2007; 34:103-113.
13. В.П. Черепанов, Е.И. Посысаев. Защита радиоэлектронной аппаратуры от перегрузок / М.: РадиоСофт, 2015. - 216 с.
14. Пат. 2604097, Рос. Федерация: МПК⁷ Н05К 7/20, Теплоотводящее основание радиоэлектронного блока / Васильев А.В., Задорожный В.В., Ларин А.Ю., Омельчук И.С., Пойменов Д.Ю., Чернышев М.И., № 2015117505; заявл. 07.05.2015; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34.
15. Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Р.А.-М. Магомадов. Охлаждающие системы на базе сильноточных термоэлектрических полупроводниковых преобразователей / СПб.: Политехника, 2020. 285 с.
16. Пат. 2365071, Рос. Федерация: МПК⁷ Н 05 К 7/20, Устройство для охлаждения электронных плат / Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Евдулов Д.В., Агаев М.У., № 2008129473; заявл. 17.07.2008; опубл. 27.08.2009, Бюл. №24.
17. Алексеев В.А. Основы проектирования тепловых аккумуляторов космических аппаратов/Курск: Наукком, 2016. - 248 с.
18. <http://www.kryotherm.spb.ru> (дата доступа 09.03.2022).
19. В.Л. Ткалич, Р.Я. Лабковская. Обработка результатов технических измерений. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. - 72 с.
20. Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, М.У. Агаев. Математическое моделирование системы неравномерного охлаждения электронных плат при совместном использовании плавящихся рабочих веществ и термоэлектрического метода преобразования энергии /Известия вузов России. Радиоэлектроника. – СПб, 2010. - №6. - С. 51-58.

References:

1. D.A. Konovalov, I.N. Lazarenko, I.G. Drozdov, D.P. Shmatov. Modern approaches to the development and creation of elements of thermal protection systems for radio-electronic components. [Vestnik VGTU] *VGTU Bulletin*. 2014; 10 (1): 97-104. (In Russ)
2. V.A. Korablev, D.A. Minkin, L.A. Savintseva, A.V. Sharkov. Study of the power of heat release in the elements of electronic and optoelectronic equipment. [Izvestiya Vuzov. Priborostroyeniye] *Izvestiya Universities. Instrumentation*. 2013; 56(3): 98-100. (In Russ)
3. Bahman Zohuri. Heat pipe design and technology. New York: *Springer international publishing*, 2016; 513.
4. Jun Dai, Michael M. Ohadi, [et al.] Optimum Cooling of Data Centers. New York: *Springer-Verlag*, 2014; 186.
5. Vasiliev E.N. Calculation and optimization of thermoelectric cooling regimes for heat-loaded elements. [Zhurnal tekhnicheskoy fiziki] *Journal of technical physics*. 2017; 87(1): 80-86. (In Russ)
6. Shabany Y. Heat transfer: thermal management of electronics. Boca Raton: *CRC Press, Taylor & Francis Group*, 2010; 471.
7. A.Yu. Merkuliev, N. V. Goryachev and N. K. Yurkov. Cooling systems for semiconductor electrical and radio products. [Molodoy uchenyy] *Young scientist*. 2013; 11 (58): 143-145. (In Russ)
8. P.G. Andreev, I.Yu. Naumov. Protection of radio-electronic means from external influences. *Penza: PGU*, 2012; 130. (In Russ)

9. T.A. Ismailov, O.V. Evdulov, D.V. Evdulov. Heat removal systems from REA elements based on consumable heat accumulators [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki] *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*. 2015; 36 (1): 38-44. doi.org/10.21822/2073-6185-2015-36-1-38-44 (In Russ)
10. Pat. 2314663, Ros. Federation: MPK7 H 05 K 7/20, Device for cooling elements of radio-electronic equipment operating in the mode of intermittent heat release / T.A. Ismailov, O.V. Evdulov, M.G. Verdiev, A.M. Menafov, No. 2005112476; publ. 01/10/2008, Bull. No. 1. (In Russ)
11. Pat. 2338300, Ros. Federation: MPK7 H 01 L 35/28, Thermoelectric battery / T.A. Ismailov, O.V. Evdulov, M.G. Verdiev, No. 2007122856; publ. November 10, 2008, Bull. No. 31. (In Russ)
12. Etemoglu A.B. A brief survey and economical analysis of air cooling for electronic equipment / A.V. Ete-moglu. *International communication in heat and mass transfer*. 2007; 34:103-113.
13. V.P. Cherepanov, E.I. Posysaev. Protection of electronic equipment from overloads. *M.: Radio-Soft*, 2015; 216. (In Russ)
14. Pat. 2604097, Ros. Federation: MPK7 H05K 7/20, Heat-removing base of the radio-electronic unit / Vasiliev A.V., Zadorozhny V.V., Larin A.Yu., Omelchuk I.S., Poymenov D.Yu., Chernyshev M.I., No. 2015117505; dec. 05/07/2015; publ. 12/10/2016, Bull. No. 34. (In Russ)
15. T.A. Ismailov, O.V. Evdulov, R.A.-M. Magomadov. Cooling systems based on high-current thermoelectric semiconductor converters. *St. Petersburg: Politekhnik*, 2020; 285. (In Russ)
16. Pat. 2365071, Ros. Federation: MPK7 H 05 K 7/20, Device for cooling electronic boards / Ismailov T.A., Evdulov O.V., Evdulov D.V., Agaev M.U., No. 2008129473; dec. 07/17/2008; publ. 27.08.2009, Bull. No. 24. (In Russ)
17. Alekseev V.A. Fundamentals of designing spacecraft heat accumulators. *Kursk: Naukom*, 2016; 248. (In Russ)
18. <http://www.kryotherm.spb.ru> (accessed 03/09/2022). (In Russ)
19. V.L. Tkalich, R.Ya. Labkovskaya. Processing of the results of technical measurements. St. Petersburg: *St. Petersburg State University ITMO*, 2011; 72. (In Russ)
20. T.A. Ismailov, O.V. Evdulov, M.U. Agaev. Mathematical modeling of the system of non-uniform cooling of electronic boards with the joint use of consumable working substances and the thermoelectric method of energy conversion. [Izvestiya vuzov Rossii. Radioelektronika]. *Izvestiya vuzov Rossii. Radioelectronics*. St. Petersburg, 2010; 6: 51-58. (In Russ)

Сведения об авторах:

Евдулов Олег Викторович, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической и общей электротехники, ole-ole-ole@rambler.ru

Хайбулаев Абдурахман Магомедович, аспирант кафедры теоретической и общей электротехники, khaibulaew@mail.ru.

Information about authors:

Oleg V.Evdulov, Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Theoretical and General Electrical Engineering, ole-ole-ole@rambler.ru

Abdurakhman M. Khaibulaev, Post-graduate student of the Department of Theoretical and General Electrical Engineering, khaibulaew@mail.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 12.01.2022.

Одобрена после рецензирования/ Reved 31.01.2022.

Принята в печать/Accepted for publication 01.02.2022.