

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА  
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-4-15-22



Оригинальная статья /Original article

**Термоэлектрическая система для охлаждения и кондиционирования воздуха  
в салоне легкового автотранспорта**

**О.В. Евдулов, М.И. Микаилов, Р.М. Магомедов**

Дагестанский государственный технический университет,  
367015, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия

**Резюме. Цель.** Целью исследования является разработка конструкции термоэлектрической системы (ТЭС) для охлаждения и кондиционирования воздуха в салоне легкового автотранспорта, ее расчет, анализ параметров и электро- и теплофизических характеристик. **Метод.** Исследование основано на методах натурального и вычислительного моделирования систем кондиционирования и жизнеобеспечения с целью поиска оптимальных решений по экономичности, надежности и ресурсу низкотемпературных установок, машин и аппаратов. **Результат.** Произведен расчет ТЭС и определены ее параметры. Получены зависимости, описывающие основные характеристики ТЭС и ТЭМ, входящих в ее состав. Построены графики зависимости: изменения средней температуры в объеме салона автотранспорта, а также теплообменных систем во времени, мощности, холодильного коэффициента, напряжения питания ТЭМ от перепада температур между спаями для различных значений тока питания, вольт-амперная характеристика для различных величин перепада температур между спаями, изменение температуры на холодном спае ТЭМ от тока питания. Графики представлены при температуре горячих спаев ТЭМ 320 К. **Вывод.** Определены параметры установки: количество ТЭМ типа ТВ-199-1,4-1,5 - 18 шт, рабочий диапазон мощностей единичного ТЭМ - от 17 до 40 Вт при среднем перепаде температур между спаями 50 К, ток питания - от 2 до 6 А при потребляемой мощности от 40 до 130 Вт, холодильный коэффициент - от 0,17 до 0,7.

**Ключевые слова:** легковой автотранспорт, охлаждение, кондиционирование воздуха, термоэлектрическая система, термоэлектрический кондиционер, термоэлектрический модуль, температура, расчет

**Для цитирования:** О.В. Евдулов, М.И. Микаилов, Р.М. Магомедов. Термоэлектрическая система для охлаждения и кондиционирования воздуха в салоне легкового автотранспорта. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(4):15-22. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-15-22

**Thermoelectric system for cooling and air conditioning in passenger cars**

**O.V. Evdulov, M.I. Mikailov, R.M. Magomedov**

Daghestan State Technical University,  
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367015, Russia

**Abstract. Objective.** The aim of the study is to develop a design of a thermoelectric system (TES) for cooling and air conditioning in the passenger compartment of a car, its calculation, analysis of parameters and electrical and thermal characteristics. **Method.** The study is based on the methods of natural and computational modeling of air conditioning and life support systems in order to find optimal solutions for efficiency, reliability and service life of low-temperature installations, machines and devices. **Result.** The TES has been calculated and its parameters have been determined. Dependencies describing the main characteristics of the TES and the TEM included in its composition have been obtained. The following dependence graphs have been constructed: changes in the average temperature in the volume of the vehicle cabin, as well as heat exchange systems over time, power, coefficient of performance, TEM supply voltage

from the temperature difference between junctions for different values of the supply current, volt-ampere characteristic for different values of the temperature difference between junctions, change in temperature at the cold junction of the TEM from the supply current. The graphs are presented at a temperature of hot junctions of the TEM of 320 K. **Conclusions.** The parameters of the installation are defined: the number of TEM type TB-199-1.4-1.5 - 18 pcs., the operating power range of a single TEM is from 17 to 40 W with an average temperature difference between the junctions of 50 K, the supply current is from 2 to 6 A with a power consumption of 40 to 130 W, the cooling coefficient is from 0.17 to 0.7.

**Keywords:** passenger cars, cooling, air conditioning, thermoelectric system, thermoelectric air conditioner, thermoelectric module, temperature, calculation

**For citation:** O.V. Evdulov, M.I. Mikailov, R.M. Magomedov. Thermoelectric system for cooling and air conditioning in passenger cars. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(4):15-22. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-15-22

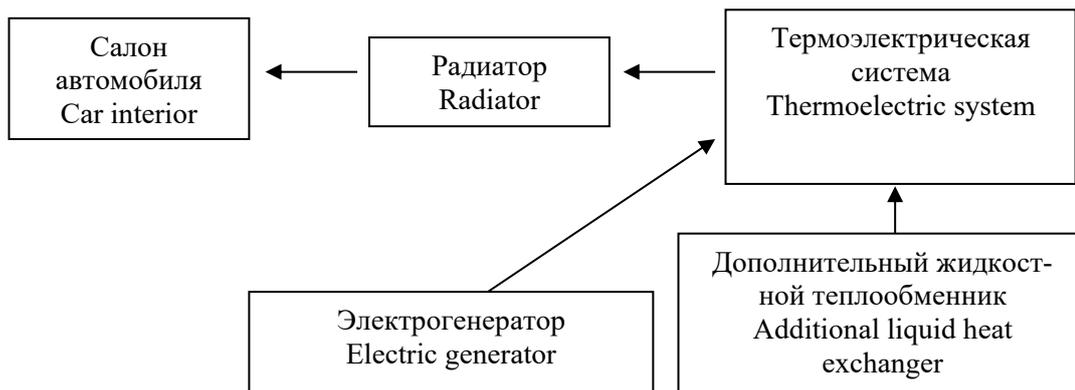
**Введение.** В настоящее время одной из важных задач при проектировании различных транспортных систем является обеспечение комфортных условий в зоне нахождения человека. В легковом автотранспорте данная задача решается путем использования специальных средств создания микроклимата и кондиционирования воздуха в салоне автомобиля. В большинстве случаев данные системы реализуются на основе фреоновых охлаждающих агрегатов компрессионного типа, несмотря на относительно высокий коэффициент полезного действия, имеющих недостаточную экологичность и во многих случаях надежность при чрезвычайных ситуациях (сбой в работе двигателя автомобиля, авария). В этих условиях в последнее время уделяется большое внимание проектированию термоэлектрических систем охлаждения и кондиционирования воздуха и их эффективному использованию для транспортных средств [1-5]. Данное обстоятельство связано с рядом преимуществ термоэлектрического метода преобразования энергии, к которым, прежде всего, относится его высокая экологичность, надежность при эксплуатации, бесшумность, возможность быстрого перехода из режима охлаждения в режим нагрева и, наоборот, значительный ресурс работы, малая инерционность [6-9].

В виду невысокого коэффициента полезного действия термоэлектрических преобразователей энергии наиболее рациональной областью применения термоэлектрических систем кондиционирования воздуха являются малогабаритные транспортные средства (в основном легковые автомобили), где величина холодопроизводительности термоэлектрического модуля (ТЭМ) не будет превышать 1 кВт [10-12].

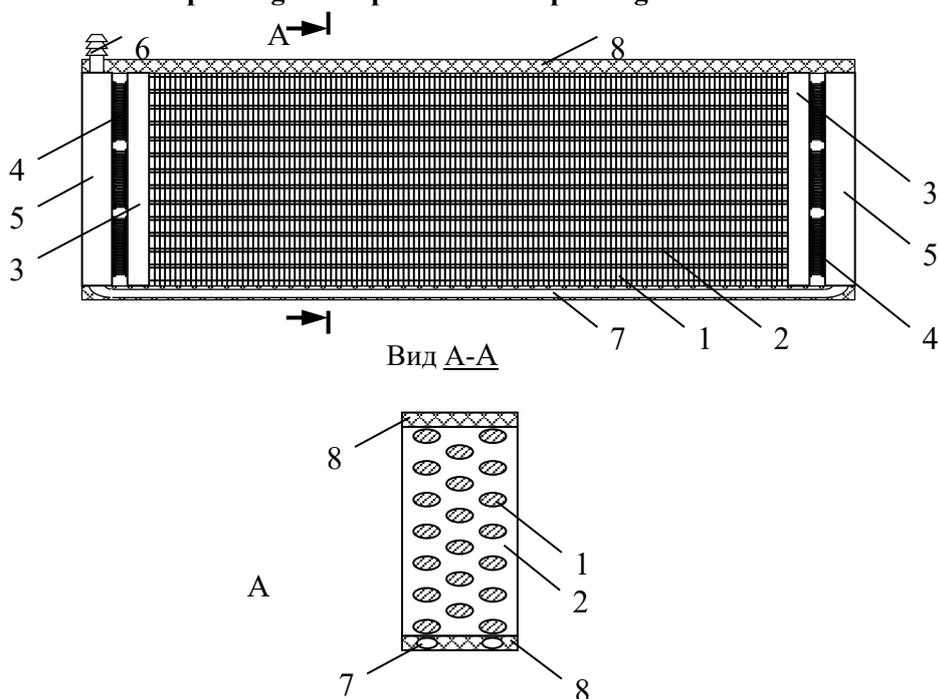
**Постановка задачи.** Целью настоящей работы является разработка конструкции термоэлектрической системы для охлаждения и кондиционирования воздуха в салоне легкового автотранспорта, ее расчет, анализ параметров и электро- и теплофизических характеристик.

**Методы исследования.** Авторами разработана термоэлектрическая система (ТЭС) для охлаждения и кондиционирования воздуха в салоне легкового автотранспорта, не требующая серьезного изменения системы воздухопроводов и посадочных мест в машине, что расширяет возможности ее использования для конструкций автомобилей, которые в серийной комплектации не предусматривают установки специальной системы контроля и регулирования микроклимата.

Конструкция ТЭС изображена на рис. 1. Установка содержит радиатор, компрессор, термоэлектрический кондиционер (ТЭК) и электрогенератор. Кроме этого в состав системы входит дополнительный жидкостной теплообменник, устанавливаемый перед штатным радиатором автотранспорта. От него теплоотводящая жидкость прокачивается с помощью компрессора через ТЭК, омывая горячие спаи ТЭМ.



**Рис. 1. Блок-схема термоэлектрической системы для охлаждения и кондиционирования воздуха в салоне легкового автотранспорта**  
**Fig. 1. Block diagram of a thermoelectric system for cooling and air conditioning in the passenger compartment of a passenger vehicle**



**Рис. 2. Конструкция термоэлектрического кондиционера**  
**Fig. 2. Construction of a thermoelectric air conditioner**

Термоэлектрический кондиционер содержит теплообменник, представляющий собой наборную конструкцию, состоящую из алюминиевых штырей 1, расположенных в шахматном порядке, на которые с небольшим зазором плотно надеты тонкие алюминиевые пластины 2.

Концы алюминиевых штырей 1 запрессованы в две контактные пластины 3, выполненные из алюминия. Со сторон, противоположных алюминиевым штырям 1, контактные пластины 3 находятся с рабочими спаями ТЭМ ТЭК 4. Отвод теплоты с опорных спаев ТЭМ осуществляется с помощью жидкостных теплоотводов 5.

Для циркулирования теплоотводящей жидкости один из теплоотводов 5 снабжен штуцерами 6 и соединяется с другим теплоотводом при помощи трубки 7. Для исключения теплоперетоков кондиционер по бокам изолирован теплоизоляцией 8.

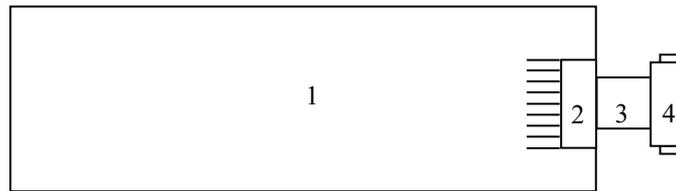
В рабочем режиме ТЭМ 4 охлаждает контактные пластины 3 и, соответственно, алюминиевые штыри 1. Тонкие алюминиевые пластины 2 играют роль ребер радиатора, которые обдуваются штатным вентилятором печки обогрева салона автотранспорта. Охлажденный воздух поступает в салон по штатным воздуховодам. Отвод тепла от горячих спаев ТЭМ осуществляется теплоотводящей жидкостью, омывающей жидкостные

теплоотводы 5. Так как данная система кондиционирования потребляет значительное количество электроэнергии, для ее компенсации на коллектор автомобильного двигателя устанавливается дополнительный электрогенератор (в том числе термоэлектрический). Принудительная циркуляция жидкости обеспечивается компрессором.

Для инженерного расчета ТЭК использована система дифференциальных уравнений, позволяющая оценить в первом приближении динамические характеристики устройства (соответствующая расчетная схема приведена на рис.3) [13]:

$$\begin{cases} \frac{dT_c}{d\tau} = \frac{1}{m_c c_c} [\alpha_c (T_{p1} - T_c) + Q_{вн} + \alpha_{cp} (T_{cp} - T_c)] \\ \frac{dT_{p1}}{d\tau} = \frac{1}{m_{p1} c_{p1}} \left[ nS \left[ -ejT_{p1} + \frac{1}{2} j^2 \rho h + \frac{\lambda}{h} (T_{p2} - T_{p1}) \right] + \alpha_{cp} (T_{cp} - T_{p1}) \right], \\ \frac{dT_{p2}}{dt} = \frac{1}{m_{p2} c_{p2}} \left[ nS \left[ ejT_{p1} + \frac{1}{2} j^2 \rho h - \frac{\lambda}{h} (T_{p2} - T_{p1}) \right] - \alpha_{ж} (T_{p2} - T_{ж}) \right] \end{cases}$$

где  $T_c$  – температура внутри салона автотранспорта,  $\tau$  – время,  $m_c$ ,  $m_{p1}$ ,  $m_{p2}$  и  $c_c$ ,  $c_{p1}$ ,  $c_{p2}$  – массы и теплоемкости соответственно салона автотранспорта, теплообменника и жидкостных теплоотводов,  $Q_{вн}$  – удельная мощность объемных источников теплоты внутри салона автотранспорта,  $T_{cp}$  – температура окружающей среды,  $T_{p1}$ ,  $T_{p2}$  – средние температуры теплообменника и жидкостных теплоотводов,  $\alpha_c$  – коэффициент теплоотдачи от теплообменника в салон автотранспорта,  $\alpha_{cp}$  – коэффициент теплоотдачи в окружающую среду,  $\alpha_{ж}$  – коэффициент теплоотдачи от жидкости к жидкостным теплоотводам,  $n$  – количество термоэлементов в ТЭМ,  $S$  – площадь поперечного сечения ветви термоэлемента,  $e$  – коэффициент термо-э.д.с. термоэлементов в ТЭМ,  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление ТЭМ,  $h$  – высота термоэлементов в ТЭМ,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности ветвей термоэлементов,  $j$  – плотность электрического тока, протекающего через ТЭМ.



**Рис. 3. Расчетная схема кондиционирования воздуха в салоне автотранспорта**

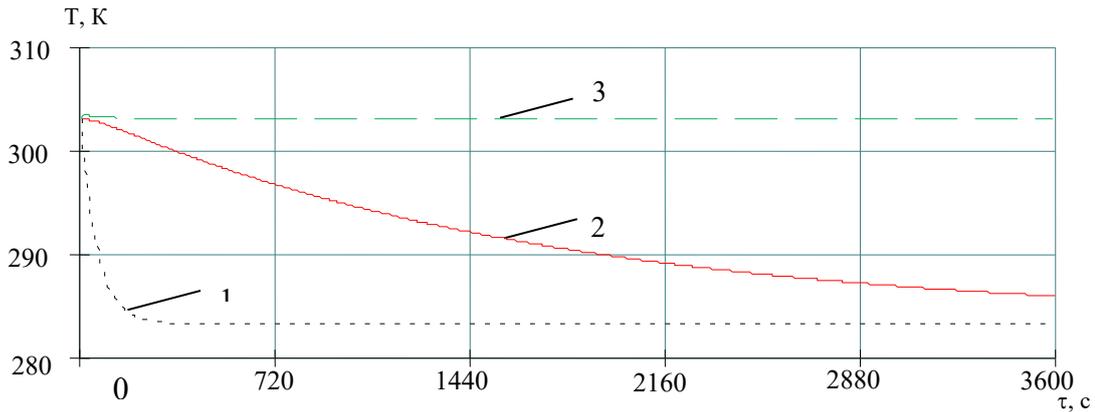
1 – салон, 2 – теплообменник, 3 – ТЭМ, 4 – жидкостной теплоотвод

**Fig. 3. Calculation scheme of air conditioning in the passenger compartment of a vehicle**

1 – passenger compartment, 2 – heat exchanger, 3 – TЭМ, 4 – liquid heat sink

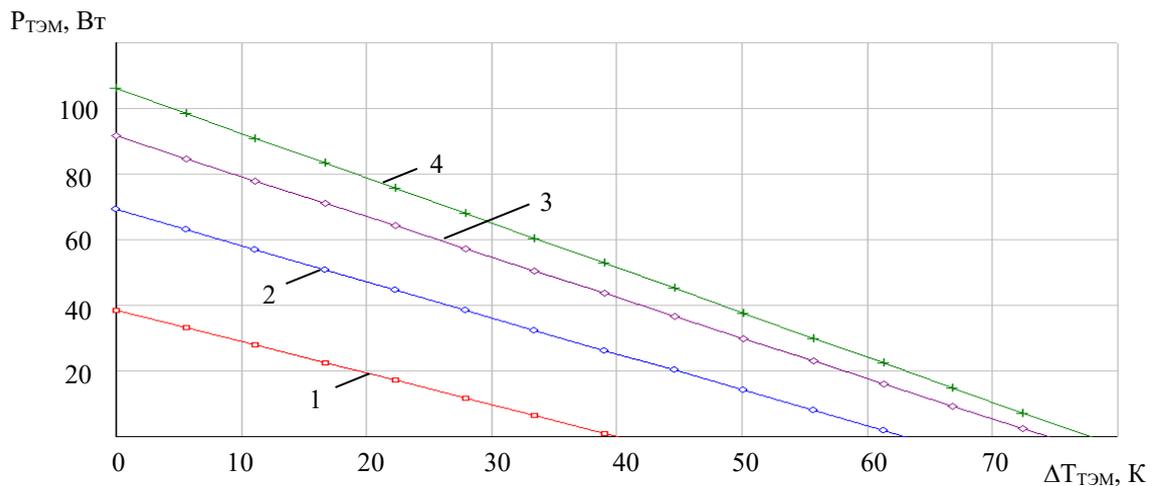
**Обсуждение результатов.** Результаты расчетов температурного поля в салоне автотранспорта представлены на рис. 4 в виде зависимости изменения средней температуры в объеме салона автотранспорта, а также теплообменных систем (теплообменник и жидкостные теплоотводы) во времени.

Расчет производился при следующих исходных данных:  $e = 350 \cdot 10^{-6}$  В/К;  $h = 0,002$  м;  $\lambda = 1,5$  Вт/м·К;  $\rho = 0,0001$  Ом·м;  $S = 3 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>,  $n = 120$ ,  $I = 5$  А,  $c_{p1,2} = 380$  Дж/кг·К;  $c_c = 1000$  Дж/кг·К,  $T_{cp} = 298$  К,  $T_{ж} = 298$  К. Значения  $\alpha_c$ ,  $\alpha_{cp}$ ,  $\alpha_{ж}$  определялись по известным соотношениям, приведенным, например в [14].



**Рис. 4. Изменение во времени контрольных точек системы ТЭК - салон автотранспорта во времени: 1- средняя температура теплообменника, 2 - средняя температура в салоне, 3 - средняя температура жидкостного теплоотвода**  
**Fig. 4. Change in time of control points of the fuel and energy complex system - vehicle interior in time: 1 - average temperature of the heat exchanger, 2 - average temperature in the interior, 3 - average temperature of the liquid heat sink**

Составлены графики зависимости: изменение мощности, холодильного коэффициента, напряжения питания ТЭМ от перепада температур между спаями для различных значений тока питания (рис.5-7).

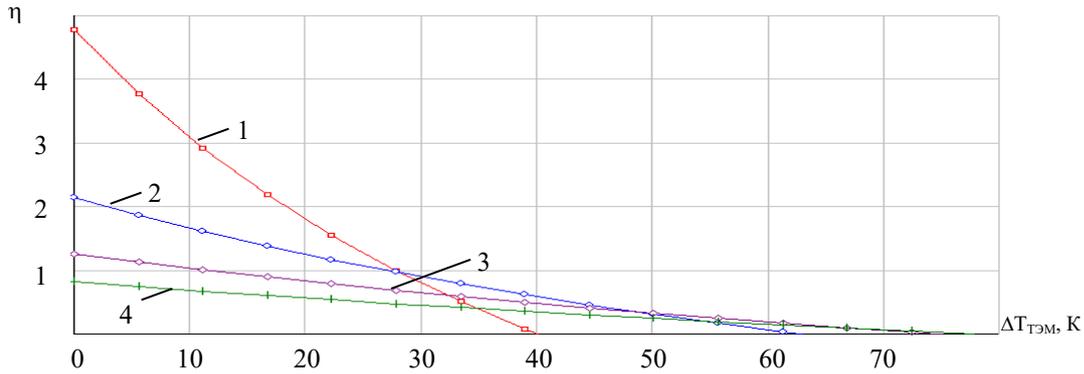


**Рис. 5. Зависимость изменения мощности ТЭМ от изменения перепада температур между спаями при различных значениях силы тока питания:**  
**1 -  $I_{ТЭМ}=1,5$  А, 2 -  $I_{ТЭМ}=3$  А, 3 -  $I_{ТЭМ}=4,6$  А, 4 -  $I_{ТЭМ}=6,1$  А**  
**Fig. 5. Dependence of the change in the power of the TEM on the change in the temperature difference between the junctions at different values of the supply current:**  
**1 -  $I_{ТЭМ} = 1.5$  А, 2 -  $I_{ТЭМ} = 3$  А, 3 -  $I_{ТЭМ} = 4.6$  А, 4 -  $I_{ТЭМ} = 6.1$  А**

На рис. 5-8 изображены характеристики, используемых в составе ТЭК ТЭМ в количестве 18 шт, типа ТВ-199-1,4-1,5, производитель ООО «Криотерм» (г. Санкт-Петербург) [15].

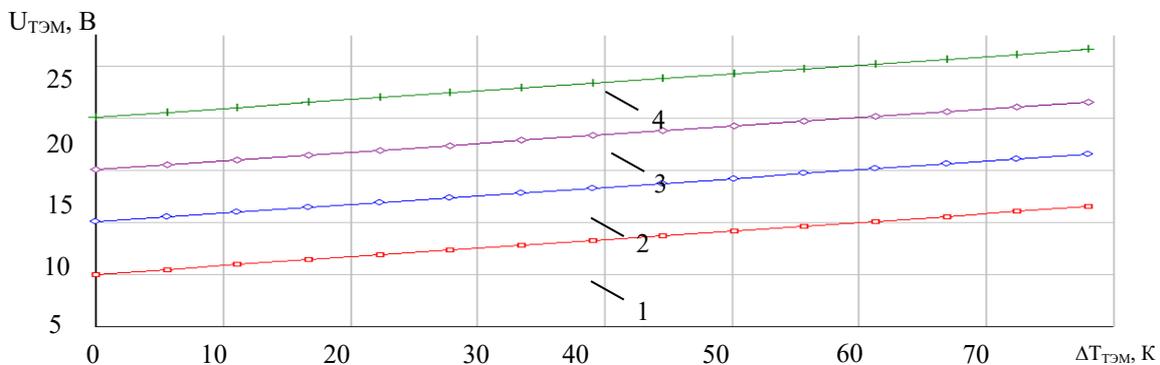
Данные представлены для температуры горячего спая 320 К, максимальных величинах тока питания  $I_{ТЭМ.max}=6,1$  А, мощности одного термомодуля  $P_{ТЭМ.max}=94$  Вт, напряжения питания  $U_{ТЭМ.max}=24,9$  В, максимального перепада температур  $\Delta T_{ТЭМ.max}=70$  К, электрического сопротивления одного термомодуля  $R_{ТЭМ}=3,2$  Ом.

Вольт-амперная характеристика для различных величин перепада температур между спаями приведена на рис. 8.



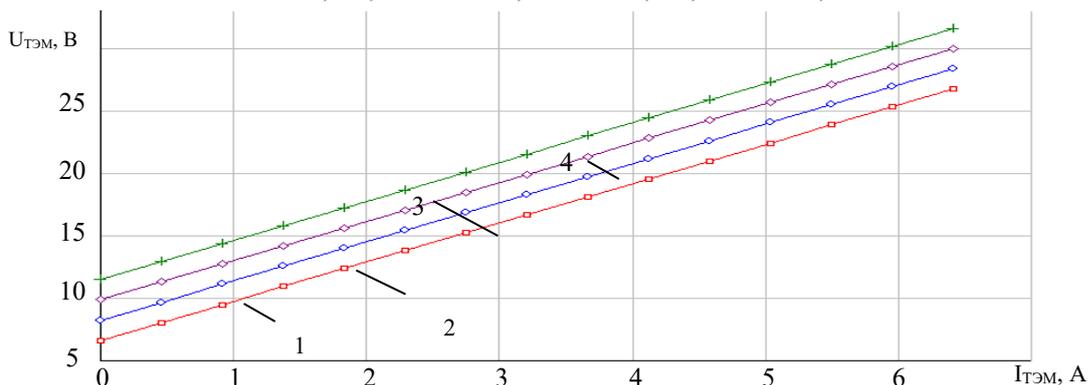
**Рис. 6. Зависимость изменения холодильного коэффициента ТЭМ от изменения перепада температур между спаями при различных значениях силы тока питания:**  
 1-  $I_{ТЭМ}=1,5$  А, 2-  $I_{ТЭМ}=3$  А, 3 -  $I_{ТЭМ}=4,6$  А, 4 -  $I_{ТЭМ}=6,1$  А

**Fig. 6. Dependence of the change in the refrigeration coefficient of the TEM on the change in the temperature difference between the junctions at different values of the supply current:**  
 1 -  $I_{TEM}=1.5$  A, 2 -  $I_{TEM}=3$  A, 3 -  $I_{TEM}=4.6$  A, 4 -  $I_{TEM}=6.1$  A



**Рис. 7. Зависимость изменения напряжения питания ТЭМ от изменения перепада температур между спаями при различных значениях силы тока питания:**  
 1-  $I_{ТЭМ}=1,5$  А, 2-  $I_{ТЭМ}=3$  А, 3 -  $I_{ТЭМ}=4,6$  А, 4 -  $I_{ТЭМ}=6,1$  А

**Fig. 7. Dependence of the change in the supply voltage of the TEM on the change in the temperature difference between the junctions at different values of the supply current:**  
 1-  $I_{TEM}=1.5$  A, 2-  $I_{TEM}=3$  A, 3 -  $I_{TEM}=4.6$  A, 4 -  $I_{TEM}=6.1$  A



**Рис. 8. Зависимость изменения напряжения ТЭМ от изменения величины тока питания при различных значениях перепада температур между спаями:**

1-  $\Delta T_{ТЭМ} = 20$  К, 2-  $\Delta T_{ТЭМ} = 39$  К, 3 -  $\Delta T_{ТЭМ} = 59$  К, 4 -  $\Delta T_{ТЭМ} = 78$  К

**Fig. 8. Dependence of the change in the TEM voltage on the change in the supply current at different values of the temperature difference between the junctions:**

1 -  $\Delta T_{TEM} = 20$  K, 2 -  $\Delta T_{TEM} = 39$  K, 3 -  $\Delta T_{TEM} = 59$  K, 4 -  $\Delta T_{TEM} = 78$  K

Согласно полученным данным в салоне транспортного средства объемом примерно  $2,7 \text{ м}^3$  при использовании ТЭК температура с  $303 \text{ К}$  опускается до величины  $293 \text{ К}$  примерно за 24 мин. Значение температуры теплообменника стабилизируется примерно за 5 мин и составляет около  $284 \text{ К}$ . Рабочий диапазон мощностей единичного ТЭМ,

входящего в состав ТЭЖ, будет находиться в пределах от 17 до 40 Вт при среднем перепаде температур между спаями 50 К. Ток питания будет составлять 2-6 А при потребляемой мощности от 40 до 130 Вт. Холодильный коэффициент изменяется в пределах от 0,17 до 0,7.

**Вывод.** Разработана ТЭС для охлаждения и кондиционирования воздуха в салоне легкового автотранспорта. Прибор содержит радиатор, компрессор, ТЭЖ и электрогенератор. Кроме этого, в состав системы входит дополнительный жидкостной теплообменник, устанавливаемый перед штатным радиатором автотранспорта. От него теплоотводящая жидкость прокачивается с помощью компрессора через ТЭЖ, омывая горячие спаи ТЭМ. Произведен расчет параметров ТЭС, состоящий в расчете температурного поля в салоне автотранспорт, представленные в виде зависимости изменения средней температуры в объеме салона автотранспорта, а также теплообменных систем во времени, параметров ТЭМ, входящих в состав системы. Определены параметры установки: количество ТЭМ типа ТВ-199-1,4-1,5 - 18 шт, рабочий диапазон мощностей единичного ТЭМ - от 17 до 40 Вт при среднем перепаде температур между спаями 50 К, ток питания - от 2 до 6 А при потребляемой мощности от 40 до 130 Вт, холодильный коэффициент - от 0,17 до 0,7.

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00130, <https://rscf.ru/project/23-29-00130/>.

**Acknowledgments.** The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-29-00130, <https://rscf.ru/project/23-29-00130/>.

#### Библиографический список:

1. Shi X.-L. J., Zou J., Chen Z.-G. Advanced thermoelectric design: from materials and structures to devices // Chemical reviews. 2020. Vol. 15. P.7399-7515.
2. Snyder G.J., LeBlanc S., Crane D. Distributed and localized cooling with thermoelectrics, [et al.] // Future energy. 2021. Vol. 5. P. 748-51.
3. Vasil'ev E.N. The effect of thermal resistances on the coefficient of performance of a thermoelectric cooling system // Technical Physics. 2021. Vol. 66. P. 720-724.
4. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Магомедов Р.А.-М. Охлаждающие системы на базе сильноточных термоэлектрических полупроводниковых преобразователей. СПб.: Политехника, 2020. 285 с.
5. Драбкин И.А., Ершова Л.Б. Гибридные режимы работы термоэлектрических модулей // Физика и техника полупроводников. 2022. № 1. С.13-17.
6. Kuzichkin O.R., Vasilyev G.S., Surzhik D.I. Method for modeling dynamic modes of nonlinear control system for thermoelectric modules. *Advances in Dynamical Systems and Applications* 2020; 15(2):187-197.
7. Абоуеллаиль А.А., Чан Ц., Солдатов А.И., Солдатов А.А., Костина М.А., Борталевич С.И., Солдатов Д.А. Лабораторное обоснование термоэлектрического метода контроля переходного сопротивления контактов //Дефектоскопия. 2022. № 12. С. 70-78.
8. Евдулов О.В., Магомедова С.Г., Миспахов И.Ш., Набиев Н.А., Насрулаев А.М. Термоэлектрическая система для извлечения инородных объектов из тела человека // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019. т. 46, № 1. С. 32-41.
9. Ибрагимова А.М., Евдулов О.В. Термоэлектрические полупроводниковые устройства для отвода теплоты от элементов РЭА//Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: статья в сборнике научных трудов X Международной научно-технической конференции (Санкт-Петербург, 27–29 окт. 2021 г.). СПб., 2021. С.12-15.
10. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Казумов Р.Ш. Экспериментальные исследования термоэлектрических теплообменных аппаратов проточного типа с тепловыми мостиками // Вестник Международной академии холода. 2010. № 4. С. 5-7.
11. Исмаилов Т.А., Евдулов Д.В., Евдулов О.В. Системы отвода теплоты от элементов РЭА на базе плавающих тепловых аккумуляторов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015. № 1 (36). С. 38-44.
12. Goldsmid H.J. Thermoelectric refrigeration, New York: Springer, 2013. 240 p.
13. Васильев Е.Н. Расчет и оптимизация теплообменников термоэлектрического блока охлаждения // Теплофизика и аэромеханика. 2022. т. 29, № 3. С.419-430.
14. Теория тепломассообмена / Под. ред. А.И. Леонтьева. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 464 с.
15. <http://www.kryotherm.ru/> (дата доступа 15.09.2024).

### References:

1. Shi X.-L. J., Zou J., Chen Z.-G. Advanced thermoelectric design: from materials and structures to devices. *Chemical reviews*. 2020;15:7399-7515.
2. Snyder G.J., LeBlanc S., Crane D. Distributed and localized cooling with thermoelectrics, [et al.] *Future en-ergy*. 2021; 5:748-51.
3. Vasil'ev E.N. The effect of thermal resistances on the coefficient of performance of a thermoelectric cooling system. *Technical Physics*. 2021;66:720-724 (In Russ)
4. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Magomadov R.A.-M. Cooling systems based on high-current thermoelectric semiconductor converters. SPb.: Politekhnik, 2020;285(In Russ)
5. Drabkin I.A., Ershova L.B. Hybrid operating modes of thermoelectric modules. *Physics and Engineering of Semiconductors*. 2022;1:13-17(In Russ)
6. Kuzichkin O.R., Vasilyev G.S., Surzhik D.I. Method for modeling dynamic modes of nonlinear control system for thermoelectric modules. *Advances in Dynamical Systems and Applications*. 2020;15(2):187-197.
7. Abouelail A.A., Chan Ts., Soldatov A.I., Soldatov A.A., Kostina M.A., Bortalevich S.I., Soldatov D.A. Laboratory substantiation of the thermoelectric method for monitoring the transition resistance of contacts . *Defectoscopy*. 2022;12:70-78.
8. Evdulov O.V., Magomedova S.G., Mispakhov I.Sh., Nabiev N.A., Nasrulaev A.M. Thermoelectric system for extracting foreign objects from the human body. *Herald of the Dagestan State Technical University. Technical sciences*. 2019; 46(1): 32-41. (In Russ)
9. Ibragimova A.M., Evdulov O.V. Thermoelectric semiconductor devices for heat removal from electronic equipment elements // Low-temperature and food technologies in the 21st century: article in the collection of scientific papers of the X International Scientific and Technical Conference (St. Petersburg, October 27-29, 2021). SPb., 2021;12-15. (In Russ)
10. Ismailov TA, Evdulov OV, Kazumov R.Sh. Experimental studies of flow-type thermoelectric heat exchangers with thermal bridges. *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*. 2010; 4:5-7. (In Russ)
11. Ismailov T.A., Evdulov D.V., Evdulov O.V. Systems for heat removal from electronic equipment elements based on melting heat accumulators. *Herald of the Dagestan State Technical University. Technical sciences*. 2015;1 (36):38-44. (In Russ)
12. Goldsmid H.J. Thermoelectric refrigeration, New York: Springer, 2013. 240 p.
13. Vasiliev E.N. Calculation and optimization of heat exchangers of a thermoelectric cooling unit. *Thermal physics and aeromechanics*. 2022;29(3): 419-430. (In Russ)
14. Theory of heat and mass transfer / Ed. A.I. Leontiev. - Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2018; 464. (In Russ)
15. <http://www.kryotherm.ru> (access date 09/15/2024).

### Сведения об авторах:

Евдулов Олег Викторович, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической и общей электротехники; [ole-ole-ole@rambler.ru](mailto:ole-ole-ole@rambler.ru)

Микаилов Мурад Ильгамович, аспирант кафедры теоретической и общей электротехники; [zcodor@yandex.ru](mailto:zcodor@yandex.ru).

Магомедов Рамазан Магомедович, старший преподаватель кафедры информационной безопасности; [indiansbobi@gmail.com](mailto:indiansbobi@gmail.com).

### Information about authors:

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

Murad I. Mikailov, Postgraduate student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering; [zcodor@yandex.ru](mailto:zcodor@yandex.ru).

Ramazan M. Magomedov, Senior lecturer, Department of Information Security; [indiansbobi@gmail.com](mailto:indiansbobi@gmail.com).

### Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 02.09.2024.

Одобрена после/рецензирования Revised 17.10.2024.

Принята в печать/ Accepted for publication 17.10.2024.