

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.315.592

DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-4-6-15

Оригинальная статья /Original Paper

**Расчет термоэлектрического блока в составе системы для проведения
тепловых физиотерапевтических процедур**

О.В. Евдулов, М.А. Хазамова, У.И. Абдулхакимов, И.Ю. Гамзалова, И.А. Габитов

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

Резюме. Цель. Целью исследования является рассмотрение методики расчета термоэлектрического блока в составе термоэлектрической системы (ТЭС), предназначенной для теплового воздействия в медицинской практике, а также результатов осуществленного по ней численного эксперимента. **Метод.** Описана расчетная модель термоэлектрического блока, входящего в состав системы для проведения тепловых физиотерапевтических процедур. Модель построена на основе стандартных выражений для расчета электрических и геометрических параметров термоэлектрических модулей (ТЭМ) в зависимости от тепло- и электрофизических параметров материалов термоэлементов (ТЭ), величин тепло- и холодопроизводительности, характеристик систем отвода теплоты от горячих спаев ТЭ. **Результат.** По расчетной модели произведен расчет термоэлектрического блока, входящего в состав системы для проведения тепловых косметологических процедур, разработанной в лаборатории полупроводниковых термоэлектрических приборов и устройств Дагестанского государственного технического университета. Получены графики зависимости изменения холодопроизводительности ТЭМ, холодильного коэффициента, напряжения питания от перепада температур между спаями для различных значений тока питания, а также зависимость напряжения на ТЭМ от величины тока питания при различных значениях перепада температур между спаями, изменение температуры на холодном спае и мощности ТЭМ от тока питания. Графики рассчитаны при температуре горячего спая 320 К. **Вывод.** Установлено, что рабочий диапазон мощностей ТЭМ типа ТВ-127-1,4-2,5 находится в пределах от 8 до 17 Вт при среднем перепада температур между спаями 45 К. При этом ток питания будет составлять 1,5-3,5 А при потребляемой мощности от 20 до 80 Вт. Холодильный коэффициент изменяется в пределах от 0,1 до 0,5. В соответствии с решаемыми задачами в термоэлектрический блок прибора должно входить четыре ТЭМ данного типа.

Ключевые слова: термоэлектрический блок, термоэлектрический модуль, тепловое воздействие, физиотерапия, расчет, численный эксперимент, температура

Для цитирования: О.В. Евдулов, М.А. Хазамова, У.И. Абдулхакимов, И.Ю. Гамзалова, И.А. Габитов. Расчет термоэлектрического блока в составе системы для проведения тепловых физиотерапевтических процедур. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022;49(4):6-15. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-4-6-15

**Calculation of a thermoelectric unit as part of a system for conducting thermal
physiotherapy procedures**

O.V. Evdulov, M.A. Khazamova, U.I. Abdulkhakimov, I.Yu. Gamzalova, I.A. Gabitov

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

Abstract. Objective. The aim of the study is to consider the methodology for calculating a thermoelectric unit as part of a thermoelectric system (TPS) intended for thermal exposure in medical practice, as well as the results of a numerical experiment carried out using it. **Method.** The calculation model of the thermoelectric block, which is part of the system for conducting thermal physiotherapy procedures, is described. The model is built on the basis of standard expressions for calculating the

electrical and geometric parameters of thermoelectric modules (TEM) depending on the thermal and electrical parameters of thermoelement (FC) materials, heat and cooling capacity values, and characteristics of heat removal systems from FC hot junctions. **Result.** According to the calculation model, the thermoelectric unit was calculated, which is part of the system for conducting thermal cosmetic procedures, developed in the laboratory of semiconductor thermoelectric devices and devices of the Daghestan State Technical University on the temperature difference between the junctions for different values of the supply current, as well as the dependence of the voltage on the TEM on the magnitude of the supply current at different values of the temperature difference between the junctions, the change in temperature at the cold junction and the power of the TEM on the supply current. The graphs are calculated at a hot junction temperature of 320 K. **Conclusion.** As a result of calculations, it was found that the operating power range of TEMs of the TV-127-1.4-2.5 type is in the range from 8 to 17 W with an average temperature difference between the junctions of 45 K. In this case, the supply current will be 1.5-3.5 A with a power consumption of 20 to 80 watts. The refrigerating coefficient varies from 0.1 to 0.5. In accordance with the tasks to be solved, the thermoelectric unit of the device should include four TEMs of this type.

Key words: thermoelectric unit, thermoelectric module, thermal effect, physiotherapy, calculation, numerical experiment, temperature

For citation: O.V. Evdulov, M.A. Khazamova, U.I. Abdulkhakimov, I.Yu. Gamzalov, I.A. Gabitov. Calculation of a thermoelectric unit as part of a system for conducting thermal physiotherapy procedures. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2022;49(4):6-15. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-4-6-15

Введение. В настоящее время в медицинской практике все большее распространение получают тепловые физиотерапевтические процедуры [1-5], действие которых связано с расширением кровеносных и лимфатических сосудов, что улучшает кровообращение в органах и тканях, стимулирует окисление жира, очищение организма от токсинов, улучшает энергетический баланс.

Тепловое воздействие применяется для лечения заболеваний мышц и суставов, желудочно-кишечного тракта, почечнокаменной болезни, неврозов, артрозов и артритов, фарингитов и тонзиллитов, синдрома хронической усталости; в онкологии; для посттравматического восстановления и т. д. [6, 7]. Так, для проведения физиотерапевтических процедур, связанных с нагревом и охлаждением отдельных зон человеческого организма применяются нагретые (охлажденные) компрессы, примочки и припарки из лечебных грязей, парафина, озокерита, нафталана, глины, песка, термопакеты, лучистая энергия, жидкой азот, парокомпрессионные и абсорбционные машины, термоэлектрические устройства [8-12].

Использование перечисленных методов развивается по двум основным направлениям. Во-первых, охлаждение либо нагрев сравнительно больших по площади областей тела человека. Во-вторых, воздействие на участки, имеющие существенно меньшие площади, характеризующиеся, в том числе, патологическими изменениями.

При этом если в первом случае для охлаждения (нагрева) больших по размерам зон организма используются мощные холодильные и тепловые машины, работающие на основе цикла Карно, то для локального теплового воздействия на отдельные небольшие области могут быть применены системы с меньшей холодо- и теплопроизводительностью, использующие другие принципы преобразования энергии.

В этих условиях для реализации теплового воздействия на незначительные площади организма человека в лечебных целях перспективным является применение специальных ТЭС [13-17], отличающихся высокой надежностью, функциональностью, экологичностью, бесшумностью и значительным ресурсом, а также возможностью простого перехода от режима охлаждения к режиму нагрева и наоборот, т. е. универсальностью.

Постановка задачи. Основным исполнительным элементом в ТЭС (источником тепло-

ты) является блок термоэлектрических модулей (ТЭМ). От его энергетических возможностей и эффективности работы напрямую зависит качество проведения тепловых физиотерапевтических процедур [18].

Поэтому представляет интерес разработка методик подбора и расчета ТЭМ для соответствующих систем, позволяющих оптимизировать его параметры (энергетические, массогабаритные, динамические) в зависимости от решения требуемых задач, связанных с тепловым воздействием на отдельные области человеческого организма.

Целью исследования является рассмотрение методики расчета термоэлектрического блока в составе ТЭС, предназначенной для теплового воздействия в медицинской практике, а также результатов осуществленного по ней численного эксперимента.

Методы исследования. Как правило в качестве исходных данных для расчета ТЭМ в составе ТЭС выступают величины их холодо- и теплопроизводительности, определенные на первом этапе задачи моделирования системы для теплового воздействия исходя из конкретно решаемых медицинских задач.

К исходным параметрам также относятся тепло- и электрофизические характеристики применяемых в ТЭМ материалов. Искомые величинами в данном случае являются геометрические размеры термоэлементов (ТЭ), входящих в состав ТЭМ, значения питающего электрического тока и напряжения, потребляемая электрическая энергия, величина холодильного и отопительного коэффициента.

Так как коэффициент полезного действия ТЭ относительно невысок, важным является использование таких режимов работы ТЭМ, при которых возможна наибольшая экономия энергии (данное обстоятельство актуальнее всего при работе ТЭС в качестве охладителя).

К таким режимам относится режим максимального холодильного коэффициента, поэтому нижеприведенная методика расчета ТЭМ рассмотрена именно для этого случая.

Последовательность вычислений следующая. Пусть имеется ТЭМ, состоящий из m ТЭ. Тогда его мощность, приходящаяся на холодные спаи, будет определяться из соотношения:

$$Q_{ТЭМ} = mGT_{ТЭМх} \frac{s}{\ell} \frac{t-1}{t+1} (M-t), \quad (1)$$

где $M = \sqrt{1 + 0,5Z(T_{ТЭМх} + T_{ТЭМг})}$, $T_{ТЭМх}$ – температура холодного спая ТЭ, $T_{ТЭМг}$ –

температура горячего спая ТЭ, $t = \frac{T_{ТЭМг}}{T_{ТЭМх}}$, $Z = \frac{e^2}{(\sqrt{\lambda_p \rho_p} + \sqrt{\lambda_n \rho_n})^2}$ – добротность ТЭ, e –

коэффициент термо-э.д.с. ТЭ, $G = \frac{2M}{M-1} \frac{\sqrt{\lambda_p \rho_p} + \sqrt{\lambda_n \rho_n}}{\sqrt{\lambda_p \rho_n} + \sqrt{\lambda_n \rho_p}} \sqrt{\lambda_n \lambda_p}$, $\lambda_p, \rho_p, \lambda_n, \rho_n$ – удельные теп-

лопроводности и сопротивления ветвей ТЭ р- и n-типа соответственно, s, ℓ – площадь поперечного сечения и длина ветвей ТЭ.

Аналогичным образом определяется мощность ТЭМ, приходящаяся на его горячие спаи:

$$Q_{ТЭМг} = mGT_{ТЭМх} \frac{s}{\ell} \frac{t-1}{t+1} (tM-1). \quad (2)$$

Величина электрического тока, питающего ТЭМ, рассчитывается по формуле:

$$I_{ТЭМ} = \frac{(M^2-1)Q_{ТЭМ}}{eM(MT_{ТЭМг} - T_{ТЭМх})}. \quad (3)$$

Геометрические размеры ТЭ, входящих в состав ТЭМ (высота и площадь поперечного се-

чения) рассчитываются из ранее заданного отношения $\frac{s}{\ell}$, а также по известной величине питающего электрического тока:

$$\frac{\ell}{s} = \frac{e(T_{TЭM_T} - T_{TЭM_X})\sigma_p}{I_{TЭM}(M-1)\left(1 + \frac{\sigma_p s_p}{\sigma_n s_n}\right)}, \quad (4)$$

$$\frac{\ell/s_p}{\ell/s_n} = \sqrt{\frac{\lambda_p \sigma_p}{\lambda_n \sigma_n}}, \quad (5)$$

где σ_p, σ_n – удельные электрические проводимости ветвей ТЭ р-типа и n-типа соответственно.

Потребляемая электроэнергия определяется из соотношения

$$W_{TЭM} = I_{TЭM}^2 R_{TЭM}, \quad (6)$$

где $R_{TЭM} = n(\rho_n \frac{\ell}{s_n} + \rho_p \frac{\ell}{s_p})$ – электрическое сопротивление ТЭМ.

Важной составляющей частью расчета ТЭМ является определение характеристик системы теплоотвода.

Применительно к ТЭС рассматриваемого типа такая система может быть реализована на основе воздушного и жидкостного метода отвода теплоты.

В общем случае, как для воздушной, так и жидкостной системы теплоотвода отводимая мощность для обеспечения требуемой температуры горячих спаев ТЭ определяется из выражения [19]:

$$Q_{TЭM_T} = \alpha_{cp}(T_{TЭM_T} - T_{cp})\psi, \quad (7)$$

где α_{cp} – коэффициент теплопередачи от горячих спаев ТЭ к теплоотводящей среде, ψ – коэффициент эффективности оребрения поверхности (для гладкой теплоотдающей поверхности $\psi = 1$), T_{cp} – температура теплоотводящей среды.

Основной задачей в данном случае является определение значения α_{cp} , которое в общем случае определяется из выражения:

$$\alpha_{cp,k} = \frac{Nu\lambda_{cp}}{\ell_0}, \quad (8)$$

где Nu – число Нуссельта; λ_{cp} – коэффициент теплопроводности теплоотводящей среды; ℓ_0 – определяющий размер.

Выражения для определения числа Нуссельта в зависимости от вида системы теплоотвода имеют следующий вид [20]:

1. Воздушный теплоотвод, плоская не оребренная поверхность

$$Nu = \begin{cases} 0,58 Re^{0,5} & \text{при } Re > 4 \cdot 10^4 \\ 0,032 Re^{0,8} & \text{при } Re \geq 10^4 \end{cases}, \quad (9)$$

2. Воздушный теплоотвод, ребристая поверхность

$$Nu = \begin{cases} 1,4 \left[\sqrt{1 + 0,443 \frac{Grb_{p.to}}{2D_{p.to}}} - \left(1 + 0,113 \frac{Grb_{p.to}}{2D_{p.to}} \right) \right] \text{ при } \frac{Grb_{p.to}}{2D_{p.to}} < 7 \\ 0,64 + 0,023 \frac{Grb_{p.to}}{2D_{p.to}} \text{ при } 7 \leq \frac{Grb_{p.to}}{2D_{p.to}} < 20 \\ 0,5 \frac{Grb_{p.to}}{2D_{p.to}} \text{ при } \frac{Grb_{p.to}}{2D_{p.to}} \geq 20 \end{cases}, \quad (10)$$

3. Воздушный теплоотвод, штыревая радиаторная система

$$Nu = 0,21 Re^{0,65}, \quad (11)$$

где Re – число Рейнольдса, $D_{p.to}$ – длина ребра; $b_{p.to}$ – расстояние между ребрами; Gr – число Грасгофа; Pr – число Прандтля,

4. Жидкостной теплоотвод, вязкостный режим в транспортной зоне

$$Nu = 1,55 \left(\frac{1}{Pe} \frac{\ell}{d} \right)^{-\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_c}{\mu_{ж}} \right)^{-0,14} \phi_{\ell}, \quad (12)$$

где ϕ_{ℓ} – поправка на гидродинамический начальный участок,

$$\phi_{\ell} = 0,6 \left(\frac{1}{Re} \frac{\ell}{d} \right)^{-\frac{1}{7}} \left(1 + 2,5 \frac{1}{Re} \frac{\ell}{d} \right), \text{ } Pe - \text{число Пекле,}$$

5. Жидкостной теплоотвод, вязкостно-гравитационный режим в транспортной зоне

$$Nu = 0,35 \left(Pe \frac{\ell}{d} \right)^{0,3} \left(Gr Pr \frac{\ell}{d} \right)^{0,18}, \quad (13)$$

6. Жидкостной теплоотвод, турбулентный режим в транспортной зоне

$$Nu = 0,023 Re_{ж}^{0,8} Pr_{ж}^{0,43} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c} \right)^{0,25}. \quad (14)$$

По соотношениям (1)-(14) может быть произведен расчет ТЭМ с определением его основных параметров. Численный эксперимент осуществлен для термоэлектрического блока, входящего в состав системы для проведения тепловых косметологических процедур, разработанной в лаборатории полупроводниковых термоэлектрических приборов и устройств ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» [21].

Обсуждение результатов. Произведен расчет параметров стандартного ТЭМ типа ТВ-127-1,4-2,5 (производитель ООО «Криотерм», г. Санкт-Петербург).

На рис.1-6 представлены полученные зависимости изменения холодопроизводительности ТЭМ $Q_{ТЭМ}$, холодильного коэффициента η , напряжения питания $U_{ТЭМ}$ от перепада температур между спаями для различных значений тока питания $I_{ТЭМ}$, а также зависимость напряжения на ТЭМ от величины тока питания при различных значениях перепада температур между спаями $\Delta T_{ТЭМ}$, изменение температуры на холодном спае $T_{ТЭМх}$ и мощности ТЭМ от тока питания. Графики рассчитаны при температуре горячего спая 320 К. Стабилизация температуры горячих спаев ТЭМ осуществляется посредством жидкостной теплоотводящей системы. В соответствии с представленными расчетными данными установлено, что рабочий диапазон мощностей ТЭМ типа ТВ-127-1,4-2,5 находится в пределах от 8 до 17 Вт при среднем перепаде температур между спаями 45 К.

При этом ток питания будет составлять 1,5-3,5 А при потребляемой мощности от 20 до 80 Вт. Холодильный коэффициент изменяется в пределах от 0,1 до 0,5. В соответствии с решаемыми задачами в термоэлектрический блок прибора должно входить четыре ТЭМ данного типа.

$Q_{ТЭМ}$, Вт

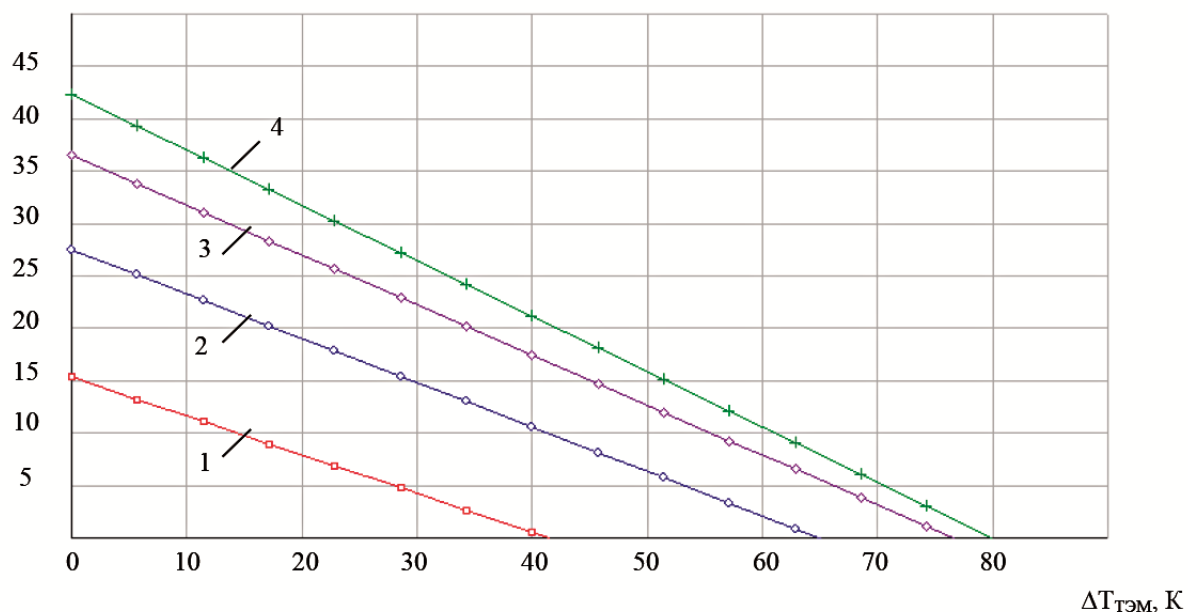


Рис.1. Зависимость мощности ТЭМ от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания 1- $I_{ТЭМ}=1$ А, 2- $I_{ТЭМ}=2$ А, 3 - $I_{ТЭМ}=2,9$ А, 4 - $I_{ТЭМ}=3,9$ А

Fig.1. Dependence of the TEM power on the temperature difference between the junctions at different values of the supply current 1- $I_{ТЭМ}=1$ А, 2- $I_{ТЭМ}=2$ А, 3 - $I_{ТЭМ}=2,9$ А, 4 - $I_{ТЭМ}=3,9$ А

η

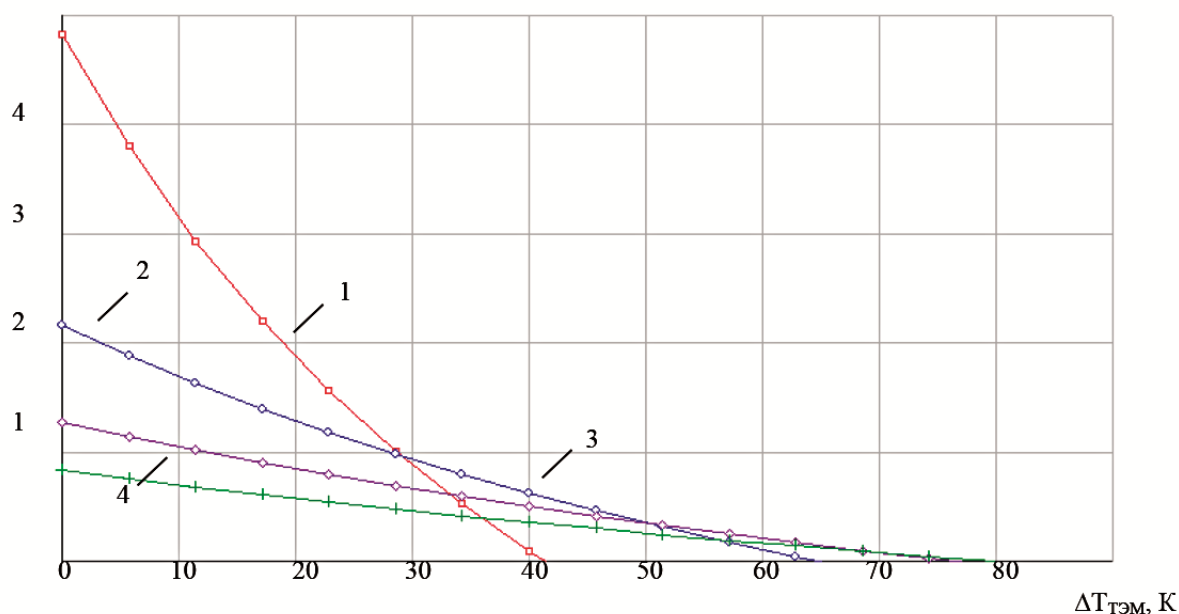


Рис.2. Зависимость холодильного коэффициента ТЭМ от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания 1- $I_{ТЭМ}=1$ А, 2- $I_{ТЭМ}=2$ А, 3 - $I_{ТЭМ}=2,9$ А, 4 - $I_{ТЭМ}=3,9$ А

Fig.2 Dependence of the coefficient of performance of TEM on the temperature difference between the junctions at various values of the supply current 1- $I_{ТЭМ}=1$ А, 2- $I_{ТЭМ}=2$ А, 3 - $I_{ТЭМ}=2,9$ А, 4- $I_{ТЭМ}=3,9$ А

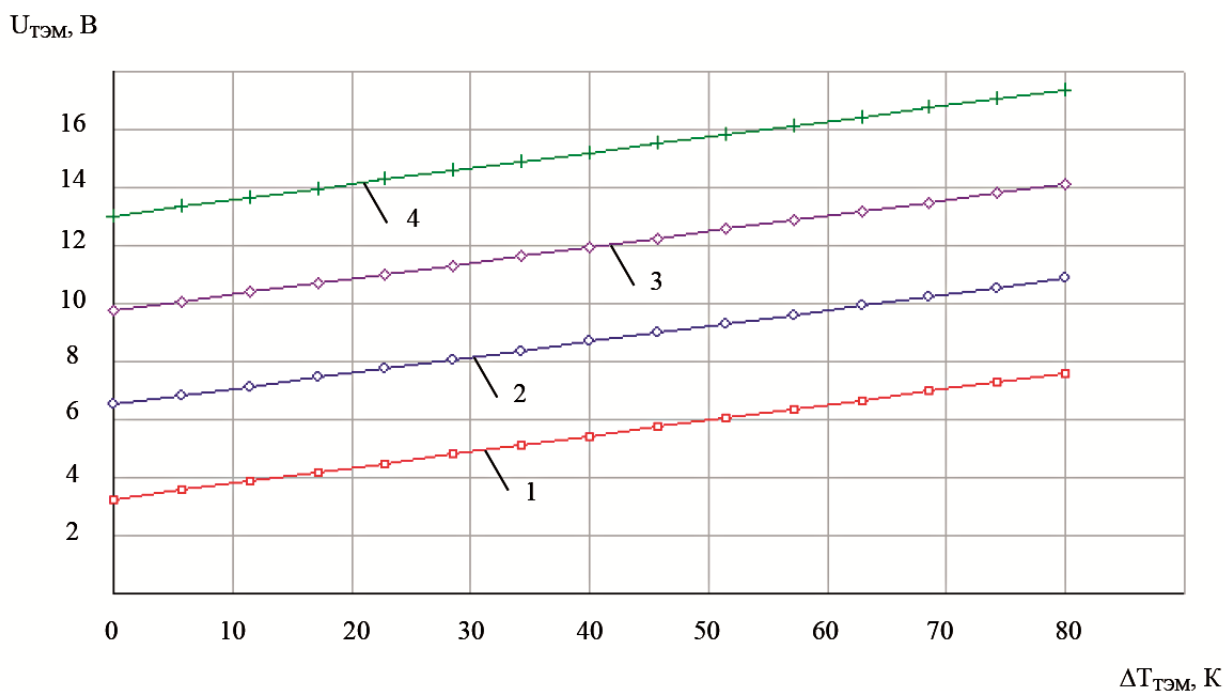


Рис.3. Зависимость напряжения питания ТЭМ от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания 1- $I_{\text{ТЭМ}}=1$ А, 2- $I_{\text{ТЭМ}}=2$ А, 3 - $I_{\text{ТЭМ}}=2,9$ А, 4 - $I_{\text{ТЭМ}}=3,9$ А
 Fig.3. Dependence of the supply voltage of the TEM on the temperature difference between the junctions at different values of the supply current

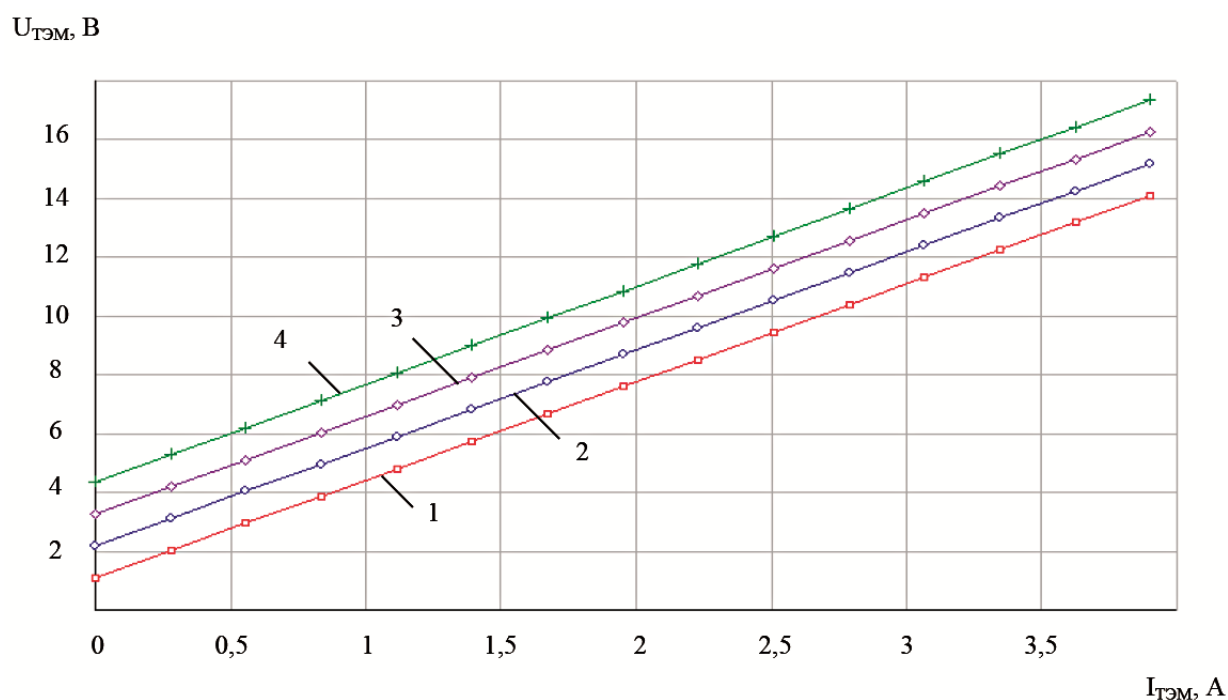


Рис.4. Зависимость напряжения ТЭМ от величины тока питания при различных значениях перепада температур между спаями 1- $\Delta T_{\text{ТЭМ}}=20$ К, 2- $\Delta T_{\text{ТЭМ}}=40$ К, 3 - $\Delta T_{\text{ТЭМ}}=60$ К, 4 - $\Delta T_{\text{ТЭМ}}=80$ К
 Fig.4. Dependence of the TEM voltage on the magnitude of the supply current at various values of the temperature difference between the junctions 1- $\Delta T_{\text{ТЭМ}}=20$ К, 2- $\Delta T_{\text{ТЭМ}}=40$ К, 3 - $\Delta T_{\text{ТЭМ}}=60$ К, 4 - $\Delta T_{\text{ТЭМ}}=80$ К

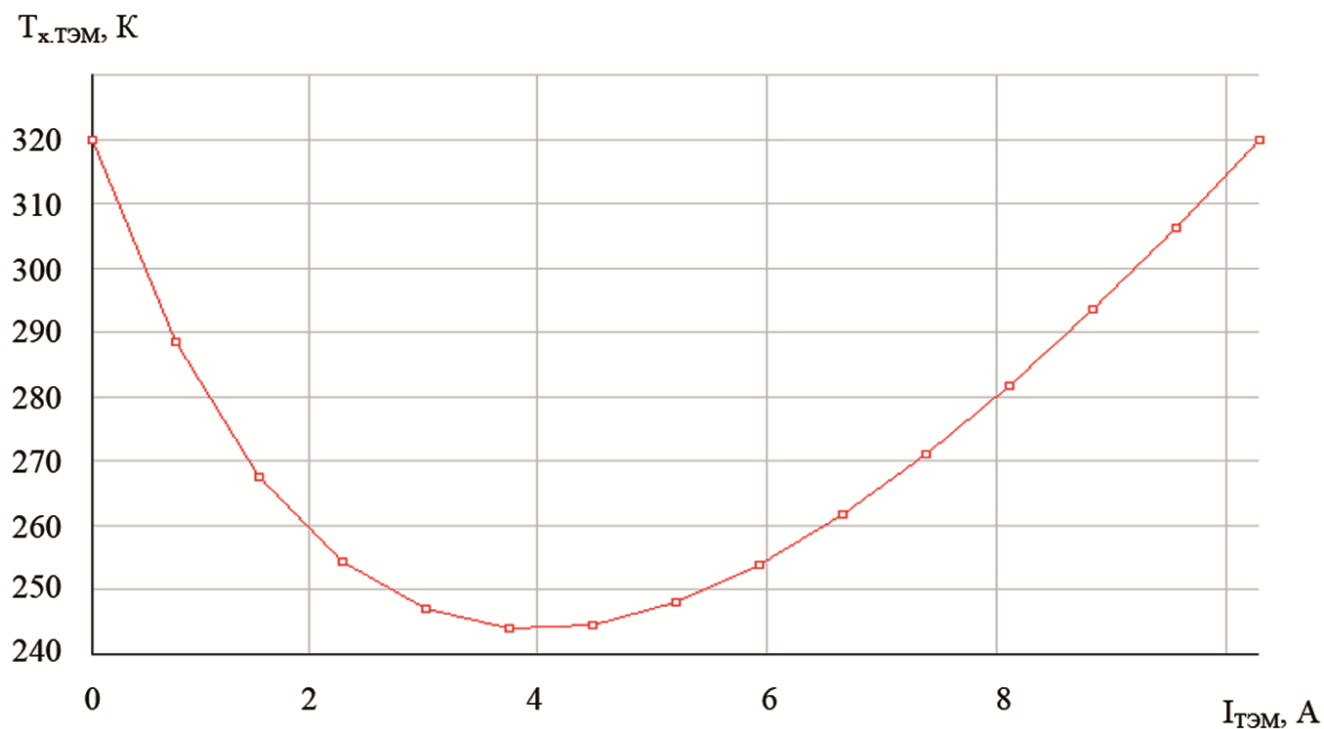


Рис.5. Зависимость температуры на холодном спае ТЭМ от тока питания
Fig.5. Dependence of the temperature at the cold junction of the TEM on the supply current

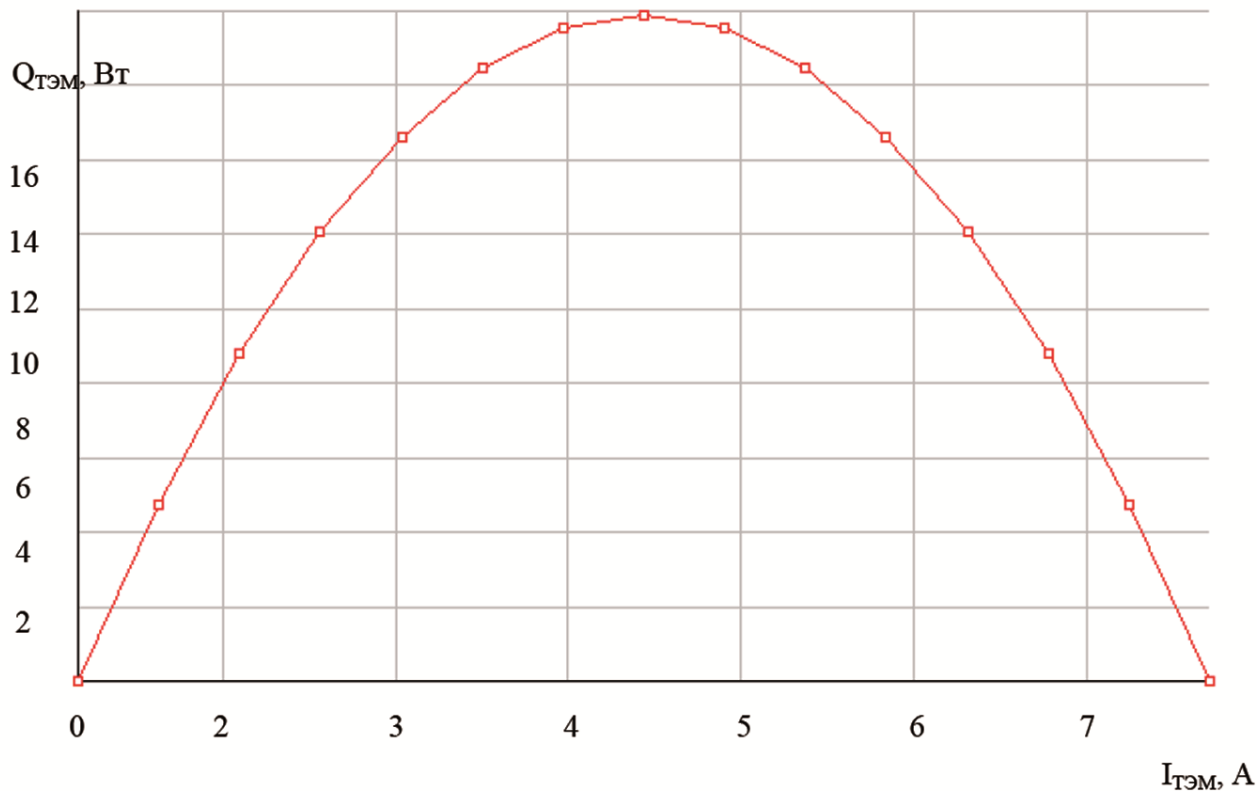


Рис.6. Зависимость мощности ТЭМ от тока питания
Fig.6. Dependence of TEM power on supply current

Вывод. Разработана расчетная модель термоэлектрического блока, входящего в состав системы для проведения тепловых физиотерапевтических процедур.

Модель построена на основе стандартных выражений для расчета электрических и геометрических параметров ТЭМ в зависимости от тепло- и электрофизических параметров материалов ТЭ, величин тепло- и холодопроизводительности, характеристик систем отвода теплоты от горячих спаев ТЭ.

В качестве примера рассмотрен расчет характеристик термоэлектрического блока, выполненного на основе стандартного ТЭМ типа ТВ-127-1,4-2,5, входящего в состав системы для проведения тепловых косметологических процедур.

Расчеты показали, что данный тип модуля соответствует требованиям проведения лечебных процедур.

Библиографический список:

1. Боголюбов, В.М. Техника и методики физиотерапевтических процедур / В.М. Боголюбов, [и др.]. - М.: Бином, 2017. - 464 с.
2. Баранов, А.Ю. Выбор альтернативного криоагента для покрытия тепловой нагрузки в установке для общего криотерапевтического воздействия / А.Ю. Баранов, А.В. Василенок, Е.В. Соколова, С.Д. Чубова, А.М. Зиявидинов // Вестник Международной академии холода. - 2022. - № 1. - С.76-82.
3. Ежов, В.В. Физиотерапия и физиопрофилактика как методы и средства сохранения и восстановления здоровья / В.В. Ежов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2011. - № 4. - С.33-36.
4. Зубкова, С.М. Роль тепловой компоненты в лечебном действии физических факторов / С.М. Зубкова // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2011. - № 6. - С.3-10.
5. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual / P. Pasquali. - New York: Springer, 2015. - 441 p.
6. Давыдкин, Н.Ф. Применение физиотерапии в комплексном лечении переломов трубчатых костей / Н.Ф. Давыдкин // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2013. - № 3. - С.27-34.
7. Боголюбов, В.М. Физиотерапия в реабилитации больных ревматоидным артритом / В.М. Боголюбов, В.Д. Сидоров // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2012. - № 2. - С.3-9.
8. Цыганов Д.И. Криомедицина: процессы и аппараты М.: САЙНС-ПРЕСС, 2011. - 304 с.
9. Ежов, В.В. Применение сопочных вод и пелитов грязевых вулканов в санитарно-курортной практике / В.В. Ежов, В.И. Васенко, В.И. Мизин, А.Ю. Царев, Л.Ш. Дудченко, Т.Б. Игнатова // Вестник физиотерапии и курортологии. - 2020. - т.26, № 1. - С.72.
10. Будрик, В.В. Основы криотерапии, криохирургии и криоконсервации / В.В. Будрик. - М.: Лика, 2014. - 190 с.
11. Анатычук, Л.И. Об использовании термоэлектрического охлаждения в дерматологии и косметологии / Л.И. Анатычук, О.И. Денисенко, Р.Р. Кобылянский, Т.Я. Каденюк // Термоэлектричество. - 2015. - № 3. - С.57-71.
12. Пономаренко, Г.Н. Восстановительная медицина: фундаментальные основы и перспективы развития / Г.Н. Пономаренко // Физическая и реабилитационная медицина. - 2022. - т. 4, № 1. - С.8-20.
13. Yevdulov, O.V. Investigation of thermoelectric system for local freezing of tissues of the larynx / O.V. Yevdulov, T.A. Ragimova // Journal of Thermoelectricity. - 2015. - № 2. - P. 86-94.
14. Hu, B. Thermoelectrics for medical applications: progress, challenges and perspectives / B. Hu, X.-L. Shi, Z.-G. Chen., J. Zou // Chemical engineering journal. - 2022. - Vol. 437. - P.135268.
15. Zaferani, S.H. Thermoelectric coolers as thermal management systems for medical application: design, optimization and advancement / S.H. Zaferani, R. Ghomashchi, M.W. Sams, Z.-G. Chen // Nano energy. - 2021. - Vol. 90. - P. 106572.
16. Исмаилов, Т.А. Термоэлектрическое устройство для остановки кровотечения / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Набиев Н.А., Т.А. Рагимова // Медицинская техника. - 2019. - №2. - С. 12-14.
17. Евдулов, О.В. Термоэлектрическая система для извлечения инородных объектов из тела человека / О.В. Евдулов, С.Г. Магомедова, И.Ш. Миспахов, Н.А. Набиев, А.М. Насрулаев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2019. - Т. 46, № 1. - С. 32-41.
18. Goldsmid, H.J. Thermoelectric refrigeration / H.J. Goldsmid. - New York: Springer, 2013. - 240 p.
19. Теория тепломассообмена / Под. ред. А.И. Леонтьева. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. - 464 с.
20. Крайнов, А.Ю. Конвективный теплоперенос и теплообмен / А.Ю. Крайнов, К.М. Моисеева. Томск: СТУ, 2017. 80 с.
21. Исмаилов, Т.А. Термоэлектрическая система для проведения тепловых косметологических процедур на лице / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, У.И. Абдулхакимов, Д.В. Евдулов // Медицинская техника. - 2017. - № 4. - С.38-42.

References:

1. Bogolyubov V.M. Technique and methods of physiotherapeutic procedures[i. etc.]. M.: Binom, 2017; 464. (In Russ)
2. Baranov, A.Yu. Choice of an alternative cryoagent to cover the heat load in the installation for general cryotherapeutic exposure / A.Yu. Baranov, A.V. Vasilenok, E.V. Sokolova, S.D. Chubova, A.M. Ziyavidinov. *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*. 2022; 1:76-82. (In Russ)
3. Ezhov, V.V. Physiotherapy and physioprophyllaxis as methods and means of preserving and restoring health / V.V. Yezhov. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2011; 4: 33-36. (In Russ)
4. Zubkova, S.M. The role of the thermal component in the therapeutic effect of physical factors / S.M. Zubkova. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2011; 6:3-10. (In Russ)
5. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual / P. Pasquali. New York: Springer, 2015; 441.
6. Davydkin, N.F. The use of physiotherapy in the complex treatment of fractures of tubular bones / N.F. Davydkin . *Physiother-*

- apy, balneology and rehabilitation. 2013; 3: 27-34. (In Russ)
7. Bogolyubov, V.M. Physiotherapy in the rehabilitation of patients with rheumatoid arthritis / V.M. Bogolyubov, V.D. Sidorov. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2012; 2:3-9. (In Russ)
 8. Tsyganov D.I. Cryomedicine: processes and devices. M.: SCIENCE-PRESS, 2011; 304. (In Russ)
 9. Ezhov, V.V. The use of hill waters and pelites of mud volcanoes in sanitary-resort practice / V.V. Ezhov, V.I. Vasenko, V.I. Mizin, A.Yu. Tsarev, L.Sh. Dudchenko, T.B. Ignatova. *Bulletin of physiotherapy and balneology*. 2020; 26:1; 72. (In Russ)
 10. Budrik, V.V. Fundamentals of cryotherapy, cryosurgery and cryopreservation. M: Lika, 2014; 190. (In Russ)
 11. Anatyshuk, L.I. On the use of thermoelectric cooling in dermatology and cosmetology / L.I. Anatyshuk, O.I. Denisenko, R.R. Kobylansky, T.Ya. Kadenyuk. *Thermoelectricity*. 2015; 3: 57-71.
 12. Ponomarenko G.N. Restorative medicine: fundamental foundations and development prospects. *Physical and rehabilitation medicine*. 2022; 4(1):8-20. (In Russ)
 13. Yevdulov, O.V. Investigation of thermoelectric system for local freezing of tissues of the larynx / O.V. Yevdulov, T.A. Ragimova. *Journal of Thermoelectricity*. 2015; 2: 86-94.
 14. Hu, B. Thermoelectrics for medical applications: progress, challenges and perspectives / B. Hu, X.-L. Shi, Z.-G. Chen., J. Zou. *Chemical engineering journal*. 2022; 437:135268.
 15. Zaferani, S.H. Thermoelectric coolers as thermal management systems for medical application: design, optimization and advancement / S.H. Zaferani, R. Ghomashchi, M.W. Sams, Z.-G. Chen. *Nano energy*. 2021; 90: 106572.
 16. Ismailov, T.A. Thermoelectric device to stop bleeding / T.A. Ismailov, O.V. Evdulov, Nabiev N.A., T.A. Ragimova. *Medical technology*. 2019; 2:12-14. (In Russ)
 17. Evdulov, O.V. Thermoelectric system for extracting foreign objects from the human body / O.V. Evdulov, S.G. Magomedova, I.Sh. Mispakhov, N.A. Nabiev, A.M. Nasrulaev. *Herald of the Dagestan State Technical University. Technical Science*. 2019; 46(1): 32-41. (In Russ)
 18. Goldsmid, H.J. Thermoelectric refrigeration / H.J. Goldsmid. New York: Springer. 2013; 240.
 19. Theory of heat and mass transfer / Ed. ed. A.I. Leontiev. M.: N.E. Bauman MSTU . 2018; 464. (In Russ)
 20. Krainov A.Yu. Convective heat transfer and heat exchange / A.Yu. Krainov, K.M. Moiseev. *Tomsk: STT*, 2017; 80 (In Russ)
 21. Ismailov T.A. Thermoelectric system for conducting thermal cosmetic procedures on the face / T.A. Ismailov, O.V. Evdulov, U.I. Abdulkhakimov, D.V. Evdulov. *Medical technology*. 2017; 4:38-42 (In Russ)

Сведения об авторах:

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

Хазамова Мадина Абдулаевна, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой теоретической и общей электротехники; ktioe@dstu.ru;

Абдулхакимов Умар Ильманович, соискатель кафедры теоретической и общей электротехники; pobeda66-66@mail.ru.

Гамзалова Ирина Юрьевна, аспирант кафедры теоретической и общей электротехники; ira.gamzalova@mail.ru.

Габитов Ильдар Азатович, старший преподаватель кафедры теоретической и общей электротехники; gabitovia@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

Madina A. Khazamova, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Head of the Department of Theoretical and General Electrical Engineering; ktioe@dstu.ru;

Umar I. Abdulkhakimov, Competitor of the Department of Theoretical and General Electrical Engineering; pobeda66-66@mail.ru.

Irina Yu. Gamzalova, Postgraduate Student of the Department of Theoretical and General Electrical Engineering; ira.gamzalova@mail.ru.

Ildar A. Gabitov, Senior Lecturer of the Department of Theoretical and General Electrical Engineering; gabito-via@mail.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 12.10.2022.

Одобрена после рецензирования/ Revised 29.10.2022.

Принята в печать/Accepted for publication 29.10.2022.