

Для цитирования: Хазамова М.А., Магомедов Д.А., Кобзаренко Д.Н. Моделирование работы термоэлектрического устройства для теплового воздействия на стопу в нестационарных условиях. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019; 46 (3): 43-52. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-3-43-52

For citation: M.A. Khazamova, D.A. Magomedov, D.N. Kobzarenko. Modelling the effect of a Thermoelectric Device on the Foot under Ambulatory conditions. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2019; 46 (3): 43-52. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-3-43-52

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.3

DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-3-43-52

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТОПУ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

Хазамова М.А.¹, Магомедов Д.А.¹, Кобзаренко Д.Н.²

¹Дагестанский государственный технический университет,

¹367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

²Институт проблем геотермии,

²367000, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 39А, Россия

Резюме. Целью исследования является изучение теплофизических процессов, происходящих при тепловом воздействии на рефлекторные зоны человеческого организма, в частности рефлексогенные зоны стопы человека, в условиях нестационарного режима. **Метод** Разработана модель теплового воздействия на рефлекторные зоны человеческого организма на основе полупроводникового термоэлектрического устройства. Предложена упрощенная физическая модель, не рассматривающая теплообмен в термоэлектрических батареях (ТЭБ) и элементах сопряжения ТЭБ с отдельными рефлекторными зонами. **Результат** Получены графики распределения температуры по толщине ступни при различных значениях теплового потока, графики изменения температуры во времени. Влияние теплового воздействия ТЭБ, приведенной в тепловой контакт с противоположной поверхностью стопы, незначительно, что является следствием низкой теплопроводности тканей стопы, а также незначительными тепловыми потоками на ее поверхности (для процедур используются малоомощные ТЭБ). **Вывод** Разработанная модель полупроводникового термоэлектрического устройства для воздействия на рефлекторные зоны человеческого организма, в частности на область стопы, позволяет исследовать теплофизические процессы, происходящие при тепловом воздействии на биологически активные точки подошвы стопы человека. Установлено, что при локальном температурном воздействии на биологический объект не наблюдается существенного перепада температуры по его толщине.

Ключевые слова: термоэлектричество, термоэлектрическое устройство, рефлексогенные зоны, тепловое воздействие, стопа, модель, нестационарный

MODELLING THE EFFECT OF A THERMOELECTRIC DEVICE ON THE FOOT UNDER AMBULATORY CONDITIONS

M.A. Khazamova¹, D.A. Magomedov¹, D.N. Kobzarenko²

¹Daghestan State Technical University,

¹70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²Institute of Geothermal Problems,

²39 A I. Shamilya Ave., Makhachkala 367000, Russia

Abstract Objectives This work was devoted to the research of thermal processes that occur in the reflex areas of the human body, in particular, in reflexogenic areas of the human foot, under the thermal influence under ambulatory conditions. **Method** A model of thermal impact on the reflex areas of the human body was developed on the basis of a semiconductor thermoelectric device. A simplified physical model was studied, which does not consider heat exchange in thermoelectric batteries (TEBs) and elements of TEBs pairing with separate reflex zones. **Results** Diagrams for temperature distribution throughout the foot at different values of heat flow and diagrams of temperature changes over time were obtained. The thermal influence of a TEB brought in thermal contact with the opposite surface of the foot is negligible in this case; this is due to the low thermal conductivity of foot tissues, as well as insignificant thermal flows on its surface (low-power TEBs were used for such procedures). **Conclusion** The developed model of a semiconductor thermoelectric device for treating the reflex areas of the human body – in particular, the foot – allows an investigation of thermal processes occurring during the thermal treatment of biologically active points of the human sole. It is established that local temperature impact on a biological object does not result in significant temperature difference over its thickness.

Keywords: thermoelectricity, thermoelectric device, reflexogenic zones, thermal impact, foot, model, ambulation

Введение. Одним из отличительных свойств современной медицины является непрерывное появление новых лекарственных средств. Однако, это, в общем, положительное явление имеет и обратную сторону, так как мало кто из врачей анализирует отдаленные негативные последствия их применения, к которым следует отнести различные аллергические реакции. В настоящее время широко известны примеры негативного побочного действия синтетических лекарств, в связи с чем, возрастает роль немедикаментозных методов лечения, которые становятся все более и более востребованными пациентами, обращающимися за медицинской помощью. Немедикаментозные лечебные воздействия занимают достойное место среди других методов и приобретают особую актуальность в современных условиях, когда отмечается повышенная частота непереносимости многих лекарственных веществ, а иногда и их недоступность. Среди немедикаментозных методов особое место занимают естественные физические факторы, обладающие адаптогенным, успокаивающим, болеутоляющим, антисептическим действием [4,5,9,15].

Одним из наиболее широко применяемых средств является локальное тепловое воздействие, как эффективный метод медицинской реабилитации. Факторы теплового воздействия применяются в период реконвалесценции для стимуляции жизнедеятельности организма, травматических поражениях опорно-двигательного аппарата, в период заживления ран, при артритах, заболеваниях суставов и т.п. Преимущество методик в медицинской реабилитации, связанной с тепловым воздействием, состоит в том, что они стимулируют собственные силы организма, то есть процессы саногенеза, практически не имеют противопоказаний и не приводят к осложнениям при применении [7,9].

Особенно эффективно тепловое воздействие на рефлекторные зоны человеческого организма. К таким зонам относятся ладонная поверхность кисти, подошвенная поверхность стопы, ушная раковина, зона области носа и т.д. [1]. Лечебная эффективность теплового воздействия на стопу обусловлена тем, что на ее подошве сконцентрирована масса кожных рецепторов с нервными окончаниями, через которые организм связан с внешней средой [13,19]. Стимуляция этих зон приводит к определённым реакциям со стороны внутренних органов. Именно поэтому разработка и исследование термоэлектрической системы для контрастного теплового воздействия на рефлекторные зоны, преимущественно на область подошвы стопы, является актуальной.

Постановка задачи. Наиболее результативным терапевтическим фактором, применяемым в рефлексотерапии, является воздействие теплом и холодом на кожные рецепторы. Использование контрастного теплового воздействия способствует усилению лечебных эффектов, направляет кровоток то к коже, то в глубь организма, улучшает микроциркуляторные процессы [1,2,6,14,15]. Это можно реализовать в термоэлектрических устройствах для воздействия на стопу человека, в которых ТЭБ, выступая в качестве основного исполнительного элемента, работает в режиме нагрева или охлаждения [3,8].

Целью данной статьи является моделирование теплофизических процессов, происходящих при проведении теплового воздействия на область стопы человека посредством термоэлектрического устройства (ТЭУ) в нестационарном режиме.

Методы исследования. В НИИ «Полупроводниковые термоэлектрические приборы и устройства» при ФГБОУ ВО «ДГТУ» разработан ряд ТЭУ для теплового воздействия на область стопы человека [16-18].

Наиболее общая конструктивная схема воздействия реализована в приборе, изображенном на рис.1. В данном случае тепловому воздействию подвергается не только подошва стопы, но и ее тыльная поверхность, также содержащая кожные рецепторы, что усиливает эффективность проводимых процедур.

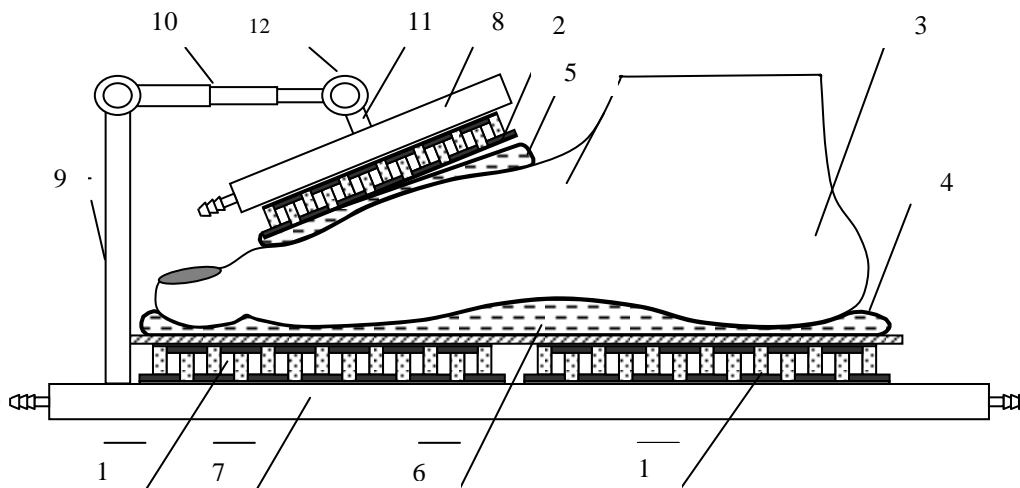


Рис. 1. Структурная схема термоэлектрического устройства для локального теплового воздействия на стопу человека

Fig. 1. The structural diagram of a thermoelectric device for local thermal effects on the foot of a person

Устройство содержит две ТЭБ 1 и 2, первыми спаями, находящиеся в тепловом контакте со стопой человека 3 через прослойки, выполненные в виде герметичных тонкостенных эластичных емкостей из высокотеплопроводного материала 4 и 5, заполненных жидкостью с высоким коэффициентом теплопроводности 6. Отвод тепла со вторых спаев ТЭБ 1 и 2 производится жидкостными теплообменниками 7 и 8 соответственно.

ТЭБ 1 первыми спаями сопряжена через тонкостенную эластичную емкость 4 с нижней поверхностью стопы человека. ТЭБ 2 посредством стойки, состоящей из секций 9, 10, 11, соединенных между собой шарнирами 12, прилегает через тонкостенную эластичную емкость 5 к

верхней поверхности стопы человека. Секция 10 стойки выполнена телескопически. Управление режимами работы ТЭБ 1 и 2 осуществляется двухканальным программируемым источником электрической энергии (на рис.1 не указан). Независимое управление работой ТЭБ 1 осуществляется по одному каналу, ТЭБ 2 – по другому.

Для расчета нестационарной тепловой задачи упрощенной физической модели, не рассматривающей теплообмен в термоэлектрических батареях (ТЭБ) и элементах сопряжения ТЭБ с отдельными зонами конечностей использовалась тепловая схема, приведенная на рис. 2.



Рис. 2. Тепловая схема термоэлектрического устройства для локального теплового воздействия на стопу человека

Fig. 2. Thermal diagram of a thermoelectric device for local thermal effects on the foot of a person

Данная модель (рис. 2) представляет собой систему, состоящую из объекта воздействия (стопа), на нижнюю и верхнюю поверхность которой оказывается температурное воздействие [12]. Биологический объект рассматривается в качестве необходимого условия при исследовании нестационарного режима работы термоэлектрического устройства, что определяется необходимостью попеременного воздействия «тепло» - «холод».

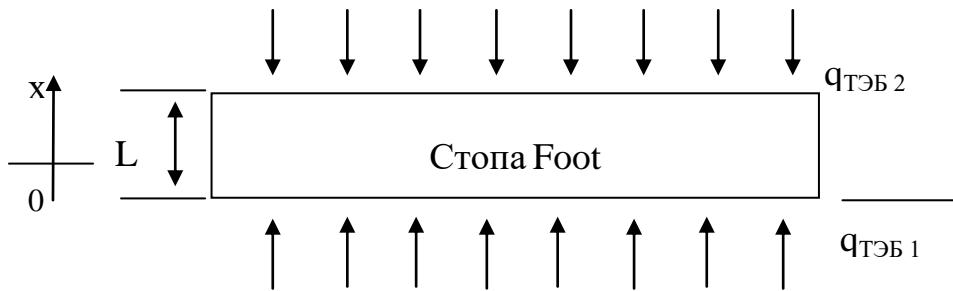


Рис. 3. Физическая модель термоэлектрического устройства для локального теплового воздействия на стопу человека

Fig. 3. Physical model of a thermoelectric device for local thermal effects on the human foot

математическая формулировка задачи имеет следующий вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q_{ТЭБ1}, \quad (1)$$

здесь $q_{ТЭБ1} = \frac{q_{вн}}{c\rho}$; $a = \frac{\lambda}{c\rho}$,

с граничными условиями

$$T|_{x=0} = T_1, \quad (2)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} |_{x=L} = q_{ТЭБ2}, \quad (3)$$

и начальным условием

$$T(x)|_{t=0} = T_0, \quad (4)$$

где $q_{ТЭБ2}$ - тепловой поток на внутренних саях ТЭБ, возникающий вследствие поглощения (выделения) теплоты Пельтье; λ - коэффициент теплопроводности стопы; c - теплоемкость

ступни; ρ - плотность объекта воздействия, T_0 - температура участка человеческого организма при отсутствии воздействия (в большинстве случаев $36,6^{\circ}\text{C}$); T_1 - температура на верхней поверхности стопы (предусматривается интенсивный теплообмен с окружающей средой), L - толщина ступни.

Для решения данной задачи воспользуемся методом интегральных преобразований [20]. Для этого произведем следующую замену:

$$T(x, s) = \int_0^{\infty} e^{-st} T(x, t) dt \quad (5)$$

Тогда выражения (1) - (4) переписутся в виде:

$$sT(x, s) - T_0 = a \frac{d^2 T(x, s)}{dx^2} + \frac{q_{TЭБ1}}{s} \quad (6)$$

$$T(x = 0, s) = \frac{T_1}{s} \quad (7)$$

$$\lambda \frac{dT(x, s)}{dx} \Big|_{x=L} = \frac{q_{TЭБ2}}{s}$$

$$\frac{d^2}{dx^2} T(x, s) - \frac{sT(x, s)}{a} + \frac{1}{a} T_0 + \frac{q_{TЭБ1}}{as} = 0 \quad (8)$$

или введя замену

$$\tilde{T}(x, s) = T(x, s) - \frac{1}{s} T_0 - \frac{q_{TЭБ1}}{s^2} \quad (9)$$

$$\frac{d^2 \tilde{T}(x, s)}{dx^2} - \frac{s}{a} \tilde{T}(x, s) = 0 \quad (10)$$

$$\tilde{T}(0, s) = \frac{T_1 - T_0}{s} - \frac{q_{TЭБ1}}{s^2} \quad (11)$$

$$\lambda \frac{d\tilde{T}(x, s)}{dx} \Big|_{x=L} = \frac{q_{TЭБ2}}{s} \quad (12)$$

Решение уравнения (10) выглядит следующим образом:

$$\tilde{T}(x, s) = A e^{-\sqrt{\frac{s}{a}} x} + B e^{\sqrt{\frac{s}{a}} x}, \quad (13)$$

где коэффициенты А и В определяются из граничных условий (11)- (12):

$$\left\{ \begin{array}{l} A + B = \frac{T_1 - T_0}{s} - \frac{q_{TЭБ1}}{s^2} \\ -A e^{-\sqrt{\frac{s}{a}} L} + B e^{\sqrt{\frac{s}{a}} L} = \frac{q_{TЭБ2}}{\lambda} \cdot \frac{\sqrt{a}}{s\sqrt{s}} \end{array} \right. \quad (14)$$

$$\tilde{T}(x, s) = \frac{sh\sqrt{\frac{s}{a}} x}{ch\sqrt{\frac{s}{a}} L} \frac{q_{TЭБ2}}{L} \frac{\sqrt{a}}{s^{3/2}} + \frac{ch\sqrt{\frac{s}{a}}(x-L)}{ch\sqrt{\frac{s}{a}} L} \left(\frac{T_1 - T_0}{s} - \frac{q_{TЭБ1}}{s^2} \right) \quad (15)$$

Окончательно после соответствующих преобразований получим:

$$T(x, s) = \frac{T_0}{s} + \frac{q_{TЭБ1}}{s^2} + \frac{q_{TЭБ2} \sqrt{a}}{\lambda} \frac{sh \sqrt{\frac{s}{a}} x}{s^{3/2} ch \sqrt{\frac{s}{a}} L} + \frac{T_1 - T_0}{s} \frac{ch \sqrt{\frac{s}{a}} (x-L)}{ch \sqrt{\frac{s}{a}} L} - \frac{q_{TЭБ1}}{s^2} \frac{ch \sqrt{\frac{s}{a}} (x-L)}{ch \sqrt{\frac{s}{a}} L} \quad (16)$$

По найденному изображению (16) найдем оригинал по формулам:

$$\frac{1}{s} \div 1 \quad (17)$$

$$\frac{1}{s^2} \div t \quad (18)$$

Представим функцию в виде

$$\frac{sh \sqrt{\frac{s}{a}} x}{\sqrt{\frac{s}{a}} sch \sqrt{\frac{s}{a}} L} = \frac{\phi(s)}{\psi(s)} \quad (19)$$

При этом

$$\phi(s) = \frac{sh \sqrt{\frac{s}{a}} x}{\sqrt{\frac{s}{a}}} = \frac{\sqrt{\frac{s}{a}} x + \frac{1}{3!} (\sqrt{\frac{s}{a}} x)^3 + \frac{1}{5!} (\sqrt{\frac{s}{a}} x)^5}{\sqrt{\frac{s}{a}}} = x + \frac{1}{3!} (\sqrt{\frac{s}{a}} x)^2 + \frac{1}{5!} (\sqrt{\frac{s}{a}} x)^4 + \dots \quad (20)$$

а

$$\psi(s) = sch \sqrt{\frac{s}{a}} L \quad (21)$$

Найдем корни функции $\psi(s)$.

$$\begin{aligned} \psi'(s) &= ch \sqrt{\frac{s}{a}} L + s \left(\sqrt{\frac{s}{a}} \right)' L sh \sqrt{\frac{s}{a}} L = ch \sqrt{\frac{s}{a}} L + \frac{1}{2} \frac{s}{\sqrt{sa}} L sh \sqrt{\frac{s}{a}} L = \\ &= ch \sqrt{\frac{s}{a}} L + \frac{L}{2} \sqrt{\frac{s}{a}} sh \sqrt{\frac{s}{a}} L \end{aligned} \quad (22)$$

После всех соответствующих преобразований окончательно оригинал изображения (16) имеет вид:

$$\begin{aligned} T(x, t) &= T_0 + q_1 t + \frac{q_2}{\lambda} \left[x - L \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot (-1)^{n+1}}{\mu_n^2} \text{Sin} \left(\mu_n \frac{x}{L} \right) e^{-\mu_n^2 \frac{at}{L^2}} \right] + \\ &+ (T_1 - T_0) \left[1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot (-1)^{n+1}}{\mu_n} \text{Cos} \left(\mu_n \frac{x-L}{L} \right) e^{-\mu_n^2 \frac{at}{L^2}} \right] - \\ &- q_1 \left[t + \frac{x^2 - 2xL}{2a} + \frac{L^2}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot (-1)^{n+1}}{\mu_n^3} \text{Cos} \mu_n \frac{x-L}{L} e^{-\mu_n^2 \frac{at}{L^2}} \right] = \\ &= T_0 + q_1 t + \frac{q_2}{\lambda} x + (T_1 - T_0) - q_1 t - q_1 \frac{x^2 - 2xL}{2a} - \\ &- \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot (-1)^{n+1}}{\mu_n} e^{-\mu_n^2 \frac{at}{L^2}} \\ &\left[\frac{q_2 L}{\lambda \mu_n} \text{Sin} \mu_n \frac{x}{L} + (T_1 - T_0) \text{Cos} \left(\mu_n \frac{x-L}{L} \right) + \frac{q_1 L^2}{a \mu_n^2} \text{Cos} \mu_n \frac{x-L}{L} \right] \end{aligned} \quad (23)$$

После соответствующих преобразований:

$$T(x, t) = T_1 + \frac{q_{TЭБ2}}{\lambda} x - q_{TЭБ1} \frac{x^2 - 2xL}{2a} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot (-1)^{n+1}}{\mu_n} e^{-\mu_n^2 \frac{at}{L^2}} \left\{ \frac{q^2 L}{\lambda \mu_n} \sin \mu_n \frac{x}{L} + (T_1 - T_0 + \frac{q_1 L^2}{a \mu_n^2}) \cos \mu_n \frac{x-L}{L} \right\} \quad (24)$$

Обсуждение результатов. На основе предложенной математической модели произведен численный эксперимент. Расчеты проводились в пакете прикладных программ MATHCAD 11 при следующих исходных данных: $\lambda = 0,4$ Вт/(м·К), $L = 0,04$ м, $q_1 = 10^{-6}$ Вт/кг, $q_2 = 1000$ Вт/м², $a = 0,1 \cdot 10^{-6}$ м²/(К·с), $T_1 = 285$ К; $T_0 = 310$ К, $t = 0 \dots 600$ с. $x = 0 \dots 0,04$.

На рис. 4-6 представлены графики распределения температуры по толщине ступни при разных значениях $q_{TЭБ2}$.

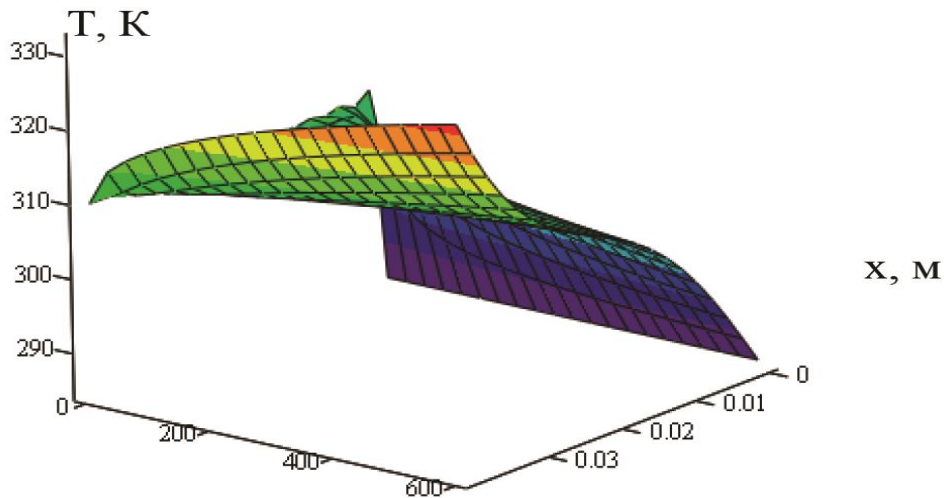


Рис. 4. Распределение температуры по толщине стопы (охлаждение с одной стороны, нагрев - с другой) при $q_2=1000$, $T_1=285$ К, $T_0=310$ К
 Fig. 4. Temperature distribution over the thickness of the foot (cooling on the one hand, heating on the other) at $q_2 = 1000$, $T_1 = 285$ К, $T_0 = 310$ К

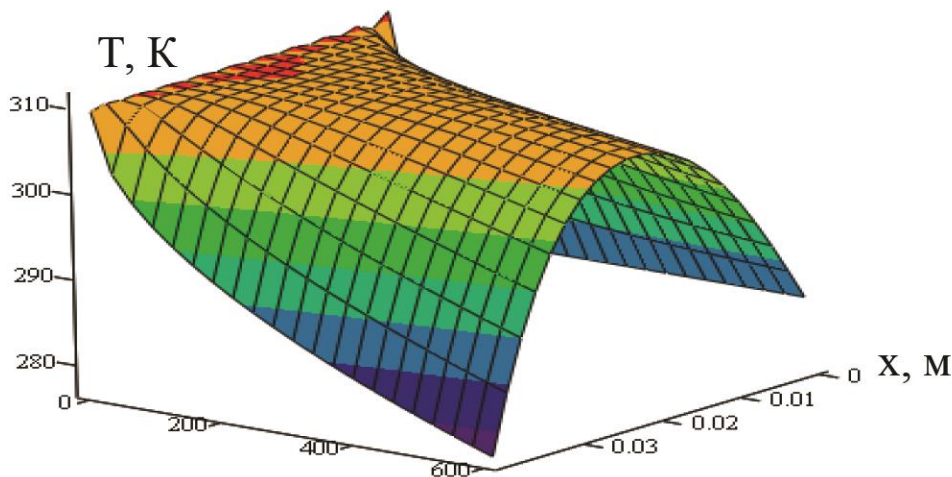


Рис. 5. Распределение температуры по толщине стопы (охлаждение) при $q_2=-1500$, $T_1=285$ К, $T_0=310$ К
 Fig. 5. Temperature distribution over the thickness of the foot (cooling) at $q_2 = -1500$, $T_1 = 285$ К, $T_0 = 310$ К

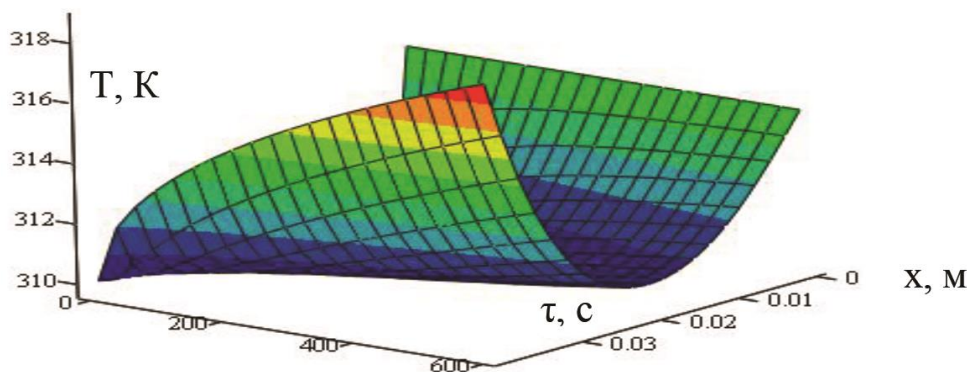


Рис. 6. Распределение температуры по толщине стопы (нагрев) при $q_2=400$, $T_1=315\text{K}$, $T_0=310\text{K}$
Fig. 6. Temperature distribution over the thickness of the foot (heating) at $q_2 = 400$, $T_1 = 315\text{K}$, $T_0 = 310\text{K}$

Согласно приведенным данным, взаимное влияние изменения температуры на противоположных поверхностях стопы незначительно. Понижение (повышение) температуры участков стопы, близлежащих к поверхности (кожного покрова), зависит только от холодопроизводительности (теплопроизводительности) ТЭБ, непосредственно контактирующей с ними. Влияние теплового воздействия ТЭБ, приведенной в тепловой контакт с противоположной поверхностью стопы, незначительно, что является следствием низкой теплопроводности тканей стопы, а также незначительными тепловыми потоками на ее поверхности (для процедур используются маломощные ТЭБ).

Вывод. Приведенные зависимости позволяют произвести количественную оценку интенсивности теплового воздействия при определенных значениях теплового потока на поверхность биологического объекта и определить продолжительность выхода на режим системы: прибор - объект воздействия. Анализ результатов численного эксперимента показал целесообразность и перспективность использования ТЭБ в качестве источников тепла и холода. Термоэлектрическое полупроводниковое устройство для теплового воздействия на стопу человека при различных величинах холодопроизводительности ТЭБ, обладает допустимой инерционностью, что является немаловажным фактором, позволяющим повысить эффективность при проведении терапевтических процедур и применении данного устройства в реабилитационных отделениях и лечебно-профилактических учреждениях широкого профиля [10, 11, 16].

Библиографический список:

1. Krukowska J., Lukasiak A., Czernicki J. Impact of magneto stimulation on nerve and muscle electrical excitability in patients with increased muscle tone. Polish annals of medicine. 2012;19:15-20
2. Ping Y. Approach on thermoelectricity reliability of board - level backplane based on the orthogonal experiment design // International journal of materials and structural integrity. - 2010. - №4.
3. Rowe D.M. Thermoelectrics and its energy harvesting, materials, preparation and characterization. BocaRaton: CRC Press. – 2012.
4. SennogaTwaha, Jie Zhu, Yuying an, Bo Li A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modelling and performance improvement / Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 65, November 2016. - P. 698-726.
5. Tiffany Field Massage therapy research review / Complementary Therapies in Clinical Practice, Volume 24, August 2016. pp. 19-31.
6. Tiffany Field, Miguel Diego, Gladys Gonzalez, C.G. Funk Neck arthritis pain is reduced and range of motion is increased by massage therapy / Complementary Therapies in Clinical Practice, Volume 20, Issue 4, November 2014. pp. 219-223.
7. Verhagen John. Massage therapy has short-term benefits for people with common musculoskeletal disorders compared to no treatment: a systematic review / Journal of Physiotherapy.2015. No.61. pp.106-116.
8. Анатычук Л.И. Термоэлектричество. Термоэлектрические преобразователи энергии. – Киев, Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003.
9. Белик В.Д., Урюков Б.А., Фролов Г.А. Ткаченко Г.В. Численно-аналитический метод решения нелинейного нестационарного уравнения теплопроводности // Инженерно-физический журнал. - 2008. №6.

10. Боголюбов В.М., Улащик В.С. Комбинирование и сочетание лечебных физических факторов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2004. - № 5 –С.39-45.
11. Евдулов О.В., Кадилова Д.К., Магомедова С.Г., Рагимова Т.А., Хазамова М.А. Модель термоэлектрического устройства для теплового воздействия на стопу человека. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45(1). С. 60-72.
12. Евдулов О.В., Хазамова М.А. Математическая модель полупроводникового термоэлектрического устройства для теплового воздействия на стопу человека // Известия вузов. Приборостроение. - 2004. - №7. - С. 43-49. 20. Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена. Пер. с англ. М.: Мир. - 1988. - 544 с.
13. Епифанов В. А. Восстановительная медицина [Текст] : учебник / В. А. Епифанов. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012. - 304 с.
14. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Хазамова М.А. Расчет температурного поля зоны человеческого организма при локальном тепловом воздействии устройством на базе полупроводниковых термоэлектрических преобразователей // Вестник МАХ. 2010. № 1.
15. Олефиренко В.Т. Водотеплолечение. М.:Медицина, 1986. 288с.
16. Патент №2245693 РФ. Полупроводниковое термоэлектрическое устройство для локального температурного воздействия на стопу человека / Исмаилов Т.А., Аминов Г.И., Евдулов О.В., Хазамова М.А.- № 2002125785; Оpubл. 10.02.2005, Бюл. № 4 – 3с.
17. Патент №2245694 РФ. Полупроводниковое термоэлектрическое устройство для локального температурного воздействия на стопу человека / Исмаилов Т.А., Аминов Г.И., Зарат А., Евдулов О.В., Хазамова М.А.- № 2002125786; Оpubл. 10.02.2005, Бюл. № 4 – 3с.
18. Патент №2299711 РФ. Термоэлектрическое полупроводниковое устройство для локального температурного воздействия на рефлексогенные зоны ноги человека / Исмаилов Т.А., Аминов Г.И., Юсуфов Ш.А., Хазамова М.А.- № 2003113991; Оpubл. 27.05.2007, Бюл. № 15 – 4с.
19. Физическая реабилитация /под общ. ред. проф. Попова С.М. 2 изд. Ростов н/Д:Феникс, 2004.608 с.
20. Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена. Пер. с англ. М.: Мир. 1988. 544 с.

References:

1. Krukowska J., Lukasiak A., Czernicki J. the Impact of magneto stimulation on nerve and muscle electrical excitability in patients with increased muscle tone. Polish annals of medicine. 2012;19:15-20
2. Ping Y. Approach on thermoelectricity realibility of board - level backplane based on the orthogonal experiment design // International journal of materials and structural integrity. 2010. No. 4.
3. Rowe, D. M. Thermoelectrics and its energy harvesting, materials preparation and characterization. BocaRaton: CRC Press. 2012.
4. SennogaTwhaha, Jie Zhu, Yuying an, Bo Li A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modelling and performance improvement / Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 65, November 2016. pp. 698-726.
5. Tiffany Field Massage therapy research review / Complementary Therapies in Clinical Practice, Volume 24, August 2016. pp. 19-31.
6. Tiffany Field, Miguel Diego, Gladys Gonzalez, C. G. Funk Neck arthritis pain is reduced and range of motion is increased by massage therapy / Complementary Therapies in Clinical Practice, Volume 20, Issue 4, November 2014. pp. 219-223.
7. John Verhagen. Massage therapy has short-term benefits for people with common musculoskeletal disorders compared to no treatment: a systematic review // Journal of Physiotherapy. 2015. No. 61. pp. 106-116.
8. Anatychuk L. I. Thermoelectricity. Thermoelectric energy converters. Kyiv, Chernivtsi: Institute of thermoelectricity, 2003.
9. Belik V.D., Uryukov B.A., Frolov G.A. Tkachenko G.V. Chislenno-analiticheskiy metod resheniya nelineynogo nestatsionarnogo uravneniya teploprovodnosti // Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal. - 2008. - №6. [Belik V. D., uryukov B. A., Frolov G. A. Tkachenko G. V. Numerical-analytical method for solving nonlinear unsteady heat equation // Engineering physics journal. 2008. No. 6.
10. Bogolyubov V.M., Ulashchik V.S. Kombinirovaniye i sochetaniye lechebnykh fizicheskikh faktorov // Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya. - 2004. - № 5 –С.39-45. [Bogolyubov V. M., ulaschik V. S. Combination and combination of the therapeutic physical factors // Physiotherapy, balneology and rehabilitation. 2004. No. 5 pp. 39-45. (In Russ)]
11. Yevdulov O.V., Kadirova D.K., Magomedova S.G., Ragimova T.A., Khazamova M.A. Model' Vestnika Dagestansko-go gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki. 2018; 45 (1). S. 60-72. [Evdulov O. V., Kadirova D. K., Magomedova S. G., Ragimova T. A., M. A. Hazamova/ Model of a thermoelectric device for thermal exposure on a human foot. // Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2018; 45(1). pp. 60-72. (In Russ)]
12. Yevdulov O.V., Khazamova M.A. Matematicheskaya model' poluprovodnikovogo termoelektricheskogo ustroystva dlya teplovogo vozdeystviya na stopu cheloveka // Izvestiya vuzov. Priborostroyeniye. - 2004. №7.

- S. 43-49. 20. Shi D. Chislennyye metody v zadachakh teploobmena. Per. s angl. M.: Mir. 1988. 544 s. [Evdulov O. V., Hazamova M. A. Mathematical model of a semiconductor thermoelectric device for thermal exposure on the foot of the person // *Izvestiyavuzov. Instrument making.* 2004. No. 7. pp 43-49. 20. Shi D. Numerical methods in heat transfer problems. Per. from English. M: World. 1988. 544 p. (In Russ)]
13. Yepifanov V. A. Vosstanovitel'naya meditsina [Tekst]: uchebnyk / V. A. Yepifanov. - M.: GEOTAR-Media, 2012. - 304 s. [Epifanov V. A. Regenerative medicine [Text]: Textbook / V. A. Epifanov. Moscow: GEOTAR-Media, 2012. 304 p. (In Russ)]
14. Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Khazamova M.A. Raschet temperaturnykh poley chelovecheskogo organizma pri lokal'nom teplovom vozdeystvii na baze poluprovodnikovyykh termo-kofeynykh preobrazovateley // *Vestnik MAKH.* - 2010. - № 1. [T. A. Ismailov, O. V. Evdulov, Hazamova M. A. Calculation of the temperature field of the area of the human body under local thermal stimulation device based on semiconductor thermoelectric converters // *Journal of MACH.* 2010. No. 1. (In Russ)]
15. Olefirenko V.T. Vodoteplolecheniye. M.: Meditsina, 1986. - 288s. [Olefirenko V. T. Vodoteplosnab. M.: Medicine, 1986. 288c. (In Russ)]
16. Patent №2245693 RF. Poluprovodnikovoye termoelektricheskoye ustroystvo dlya lokal'nogo temnogo i peraturnogo vozdeystviya na cheloveka / Ismailov T.A., Aminov G.I., Yevdulov O.V., Khazamova M.A.- № 2002125785; Opubl. 10.02.2005, Byul. № 4 - 3s. [Patent No. 2245693 of the Russian Federation. Thermoelectric semiconductor device for local temperature influence on the human foot / Ismailov T. A., Aminov G. I., Evdulov O. V., Hazamova M. A. No. 2002125785; Publ. 10.02.2005, Bull. No. 4 – 3. (In Russ)]
17. Patent №2245694 RF. Ismailov T.A., Aminov G.I., Zarat A., Yevdulov O.V., Khazamova M.A.- № 2002125786; Poluprovodnikovoye termoelektricheskoye ustroystvo dlya lokal'nogo temnogo i peraturnogo vozdeystviya na cheloveka. Opubl. 10.02.2005, Byul. № 4 - 3s. [Patent No. 2245694 of the Russian Federation. Thermoelectric semiconductor device for local temperature influence on the human foot / Ismailov T. A., Aminov G. I., Zarat A., Evdulov O. V., Hazamova M. A. No. 2002125786; Publ. 10.02.2005, Bull. No. 4 – 3. (In Russ)]
18. Patent №2299711 RF. Ismailov T.A., Aminov G.I., Yusufov S.H.A., Khazamova M.A.- № 2003113991; Termoelektricheskoye poluprovodnikovoye ustroystvo dlya lokal'nogo temnogo i peraturnogo vozdeystviya na refleksogennyye zony nog cheloveka. Opubl. 27.05.2007, Byul. № 15 - 4s. [Patent No. 2299711 of the Russian Federation. Thermoelectric semiconductor device for local temperature effects on the reflex zones of the feet / Ismailov T. A., Aminov G. I. Yusufov S. A., Hazamova M. A. No. 2003113991; Publ. 27.05.2007, Bull. No. 15 – 4. (In Russ)]
19. Fizicheskaya rehabilitatsiya / pod obshch. red. prof. Popova S.M. 2 izd. - Rostov n / D: Feniks, 2004. - 608 s. [Physical rehabilitation / under the General editorship of Professor Popova, S. M. 2nd ed. Rostov n/ A: Phoenix, 2004. – 608 p.(In Russ)]
20. Shi D. Chislennyye metody v zadachakh teploobmena. Per. s angl. M.: Mir. 1988. 544 s. [Shi D. Numerical methods in heat transfer problems. Per. from English. M: World. 1988. 544 p. (In Russ)]

Сведения об авторах:

Хазамова Мадина Абдулаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники; e-mail: kaftoe2016@yandex.ru

Магомедов Давуд Ахмеднабиевич, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнические и медицинские аппараты и системы; e-mail: admi52@mail.ru

Кобзаренко Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, профессор; e-mail: kobzarenko_dm@mail.ru

Information about the authors:

Madina A. Khazamova, Cand.Sci. (Technical), Assoc.Prof., Department of Theoretical and General Electrical Engineering; e-mail: kaftoe2016@yandex.ru

Davud A. Magomedov, Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Biotechnical and Medical Devices and Systems; e-mail: admi52@mail.ru

Dmitry N. Kobzarenko, Dr. Sci. (Technical), Prof.; e-mail: kobzarenko_dm@mail.ru

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 16.07.2019.

Принята в печать 10.09.2019.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 16.07.2019.

Accepted for publication 10.09.2019.