

Для цитирования О.В. Евдулов, А.М. Насрулаев. Температурное поле термоэлектрической системы для извлечения инородных объектов при ее введении в тело человека. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020;47 (4):27-36. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-27-36

For citation: O. V. Evdulov, A. M. Nasrulaev. Temperature field of a thermoelectric system for extracting foreign objects when introducing into the human body Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020;47(4):27-36.(In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-27-36

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК 629.5.035.5

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-4-27-36

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНО- РОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ЕЕ ВВЕДЕНИИ В ТЕЛО ЧЕЛОВЕКА

О.В. Евдулов, А.М. Насрулаев

Дагестанский государственный технический университет

367026, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является создание расчетной модели термоэлектрической системы (ТЭС) для извлечения инородных объектов (ИО) из тела человека методом примораживания при ее введении в полость, а также исследование происходящих в ней теплофизических процессов. **Метод.** Разработана расчетная модель ТЭС для извлечения ИО из тела человека методом примораживания при ее введении в полость, основанная на решении задачи теплопроводности с учетом теплофизических характеристик биологического объекта, ИО, термоэлектрического модуля (ТЭМ). **Результат.** В результате численного эксперимента получены графики изменения температуры в различных точках ТЭС при введении ее в организм человека для извлечения инородных объектов в зависимости от мощности ТЭС, параметров материалов модуля, внешних условий. Определено, что в устройстве может быть использован стандартный ТЭМ холодопроизводительностью от 4500 Вт/м² до 7000 Вт/м² при продолжительности выхода на режим системы 6-7 мин. **Вывод.** Установлено, что подбор параметров ТЭМ должен ориентироваться на ограничения по эксплуатации прибора, а также медицинские нормы и стандарты во избежание процесса обморожения прилежащих тканей, что в предложенной конструкции обеспечивается в полной мере. Предложен способ повышения эффективности системы, согласно которому используется предварительное охлаждение ТЭС внешним источником холода, а также применением форсированных режимов работы ТЭМ.

Ключевые слова: извлечение инородных объектов, примораживание, термоэлектрическая система, математическое моделирование, теплофизические процессы, численный эксперимент

TEMPERATURE FIELD OF A THERMOELECTRIC SYSTEM FOR EXTRACTING FOREIGN OBJECTS WHEN INTRODUCING INTO THE HUMAN BODY

O.V. Evdulov, A. M. Nasrulaev

Daghestan State Technical University,

70 I. Shamil Ave., Makhachka 367026, Russia

Abstract. Objective. The objective of the article is to create a design model of a thermoelectric system for extracting foreign objects from the human body by freezing when introduced into the cavity, as well as to study the internal thermophysical processes. **Methods.** A design model of a thermoelectric system for extracting foreign objects from the human body by freezing the thermoelectric system introduced into the cavity is developed, based on solving the problem of thermal conductivity, taking into account the thermophysical characteristics of a biological object, foreign object, and a thermoe-

lectric module. **Results.** As a result of the numerical experiment, the authors obtained graphs of temperature changes at various points of the thermoelectric system when introduced into the human body to extract a foreign object, depending on the power of the thermoelectric system, the parameters of the module materials, and external conditions. It is determined that the device can use a standard thermoelectric module with a cooling capacity from 4500 W/m^2 to 7000 W/m^2 with a duration of 6-7 minutes for entering the system mode. **Conclusion.** It is established that the selection of thermoelectric module parameters must be guided by the limitations of the device operation, as well as medical norms and standards to avoid the process of cold injury of adjacent tissues, which is fully provided in the proposed design. A method for improving the efficiency of the system is proposed, according to which the thermoelectric system is pre-cooled using an external cold source, and forced modes of thermoelectric module operation are used.

Keywords: foreign objects extraction, freezing, thermoelectric system, simulation modeling, thermophysical processes, numerical experiment

Введение. Организм человека представляет собой чрезвычайно сложную систему. Каждая его часть находится в определенном месте и выполняет строго определенную функцию. Извне в организм человека должны поступать только жизненно необходимые вещества, например, пища, вода, воздух. Посторонние предметы, случайно попавшие в организм человека, могут нанести ему непоправимый вред и нарушить его функции. Поэтому операции по извлечению инородных объектов (ИО) из тела человека являются важными и ответственными мероприятиями, качество и оперативность проведения которых напрямую влияет на здоровье и жизнь человека.

Проведенный литературный обзор [1-7] показал, что в настоящее время извлечение ИО из тела человека производится в основном хирургическим методом с использованием различного оборудования, в состав которого входят разнообразные механические приспособления. В случае извлечения ферромагнитных ИО могут быть также применены намагниченные зонды [8].

Методики проведения операций по извлечению посторонних тел также могут быть разнообразными [9-12]. Они зависят от местоположения ИО объекта, его формы, размеров и состава и включают в себя такие мероприятия, как отыскание местоположения ИО, приведение его в наиболее удобное для извлечения положение и непосредственно выем из тела человека.

Анализируя данные методики по извлечению ИО из тела человека и технические средства для их реализации необходимо отметить их недостаточную надежность, связанную, прежде всего, с качеством фиксации постороннего объекта в приспособлении, зависимость от квалификации персонала, проводящего операцию, болезненность и продолжительность процедуры. Поэтому представляет интерес разработка новых технических средств для извлечения ИО из тела человека и методик, реализованных на их основе.

В этих условиях перспективным является использование методики локального примораживания ИО к специальному зонду с охлажденным наконечником [13-15]. Надежность фиксации ИО в извлекающем приспособлении в данном случае будет обеспечиваться за счет высокой степени сцепления наконечника зонда и объекта при их примораживании друг к другу. В качестве источника холода в зонде может быть использован компактный ТЭМ, обладающий высоким ресурсом работы, надежностью, экологичностью, обеспечивающий требуемую мощность для надежной фиксации ИО на извлекающем приспособлении [16, 17].

Постановка задачи. Целью работы является создание расчетной модели ТЭС для извлечения ИО из тела человека методом примораживания при ее введении в полость, а также исследование происходящих в ней теплофизических процессов.

Методы исследования. На рис.1 изображена расчетная схема ТЭС при внедрении ее в тело человека (без учета фазового перехода).

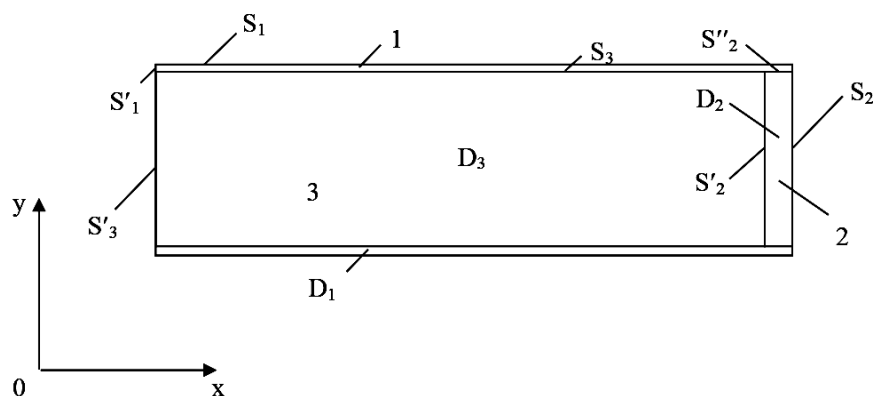


Рис.1. Тепловая модель ТЭС для извлечения ИО из тела человека
Fig1. Thermal model of TPP for extracting AI from the human body

Здесь 1- специальная трубка для ввода в полость тела, 2 - ТЭМ, 3 - подвижный зонд с помощью направляющих, имеющий возможность перемещаться вдоль трубки, выполняющий также функции съема теплоты с горячих спаев ТЭМ.

При выполнении операции по извлечению ИО из тела человека трубка вводится в полость, с помощью зонда ТЭМ холодной поверхностью приводится контакт с объектом, происходит их сцепление за счет примораживания, затем производится выем ИО объекта за счет перемещения зонда в обратном направлении.

Для математического описания теплофизических процессов, происходящих в системе обозначим область соответствующую воздушному зазору D_1 , ТЭМ D_2 , подвижному зонду D_3 , поверхность стенки трубки ТЭС, контактирующую с телом человека (биологическим объектом) S_1 , с окружающей средой S'_1 , поверхность ТЭМ, контактирующую с биологическим объектом S_2 , зондом S'_2 , воздушным зазором S''_2 , поверхность зонда с воздушным зазором S_3 , с окружающей средой S'_3 .

Ввиду того, что величина воздушного зазора предполагается незначительной и тепловые процессы, происходящие в системе, носят непродолжительный характер, предположим, что во всех элементах прибора процесс теплопередачи осуществляется только за счет теплопроводности.

Тогда математическое описание теплофизических процессов, протекающих в системе при ее внедрении в организм человека, без учета влажной губки (процессы, происходящие в ней при наличии фазового перехода, ведущие к примораживанию ИО к зонду, рассматриваются ниже) в обобщенном виде может быть представлено следующим образом:

$$\begin{aligned}
 a_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + a_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} &= \frac{\partial T_1}{\partial \tau} \quad \text{при } x, y \in D_1, \\
 a_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + a_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} + \frac{Q_{\text{ТЭМ}}}{c_2 \rho_2} &= \frac{\partial T_2}{\partial \tau} \quad \text{при } x, y \in D_2, \\
 a_3 \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + a_3 \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} &= \frac{\partial T_3}{\partial \tau} \quad \text{при } x, y \in D_3, \\
 T_1, T_2, T_3 &= T_{\text{вг}} = T_{\text{ср}}, \quad \text{при } \tau = 0, \\
 \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n_1} &= \alpha_{\text{сo}} (T_{\text{сo}} - T_1) \quad \text{при } x, y \in S_1, \\
 \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n_2} - q_{\text{х.ТЭМ}} &= \lambda_{\text{вг}} \frac{\partial T_{\text{вг}}}{\partial n_2} \quad \text{при } x, y \in S_2,
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n'_2} + q_{г.ТЭМ} &= \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial n'_2} \text{ при } x, y \in S'_2, \\ \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n''_2} + q_{г.ТЭМ} &= \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n''_2} \text{ при } x, y \in S''_2, \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n_3} &= \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial n_3} \text{ при } x, y \in S_3, \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n'_1} &= \alpha_{ср} (T_1 - T_{ср}), \\ \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial n'_3} &= \alpha_{ср} (T_3 - T_{ср}).\end{aligned}$$

где $T_1, T_2, T_3, T_{вг}, T_{60}$ – температуры стенки трубки, ТЭМ, зонда, влажной губки, биологического объекта;

a_1, a_2, a_3 – коэффициенты температуропроводности стенки трубки, ТЭМ, зонда;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_{вг}$ – коэффициенты теплопроводности стенки трубки, ТЭМ, зонда, влажной губки;

c_1, c_2, c_3 – удельная теплоемкость стенки трубки, ТЭМ, зонда;

ρ_1, ρ_2, ρ_3 – плотность стенки трубки, ТЭМ, зонда;

$Q_{ТЭМ} = I_{ТЭМ}^2 R_{ТЭМ}$; $I_{ТЭМ}^2$ – сила электрического тока, протекающего через ТЭМ;

$R_{ТЭМ}$ – электрическое сопротивление ТЭМ;

$q_{х.ТЭМ}$ – холодопроизводительность ТЭМ;

$q_{г.ТЭМ}$ – теплопроизводительность ТЭМ;

α_{60} – коэффициент теплообмена между стенкой трубки и биологическим объектом;

$\alpha_{ср}$ – коэффициент теплообмена ТЭС с окружающей средой;

$T_{ср}$ – температура окружающей среды;

$n_1, n'_1, n_2, n'_2, n''_2, n_3, n'_3$ – нормали к поверхностям $S_1, S'_1, S_2, S'_2, S''_2, S_3, S'_3$ соответственно; $n_i = (xh_i + yz_i)$;

h, z – единичные вектора; $i=1 \dots 7$.

Решение системы дифференциальных уравнений с соответствующими начальными и граничными условиями (1) численным методом конечных элементов [18-20], реализованном в пакете прикладных программ Elcut дает возможность определить изменение температуры в различных точках ТЭС при введении ее в организм человека для извлечения ИО в зависимости от мощности ТЭС (холодопроизводительности и теплопроизводительности ТЭМ), параметров материалов модуля, а также внешних условий.

Обсуждение результатов. Численный эксперимент проводился в соответствии с требуемыми режимами тепловых процедур при воздействии на живой организм, а также ограничениями, накладываемыми на продолжительность и уровень заморозки биологического объекта для недопущения его переохлаждения.

За исходные принимались следующие параметры: $\lambda_1 = 0,159$ Вт/(м·К), $\lambda_2 = 1,5$ Вт/(м·К), $\lambda_3 = 401$ Вт/(м·К), $\lambda_{вг} = 0,133$ Вт/(м·К); $\rho_1 = 1350$ кг/м³, $\rho_2 = 7700$ кг/м³, $\rho_3 = 8890$ кг/м³; $c_1 = 1200$ Дж/(кг·К), $c_2 = 124$ Дж/(кг·К), $c_3 = 380$ Дж/(кг·К); $a_1 = 9,8 \cdot 10^{-8}$ м²/с, $a_2 = 1,57 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $a_3 = 11,87 \cdot 10^{-5}$ м²/с; $T_{ср} = 293$ К, $\alpha_{ср} = 10$ Вт/(м²·К), $\alpha_{60} = 10$ Вт/(м²·К), $R_{ТЭМ} = 0,64$ Ом.

Модель ТЭС с конечно-элементной сеткой и соответствующими размерами представлена на рис.2. Размеры указаны в миллиметрах.

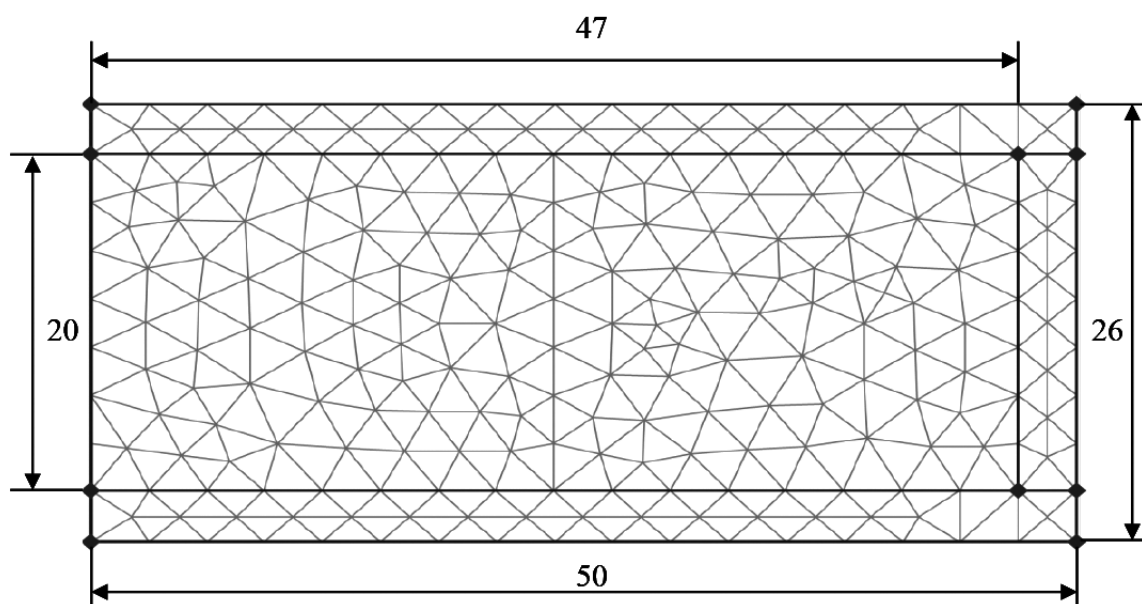


Рис.2. Структура ТЭС для извлечения ИО из тела человека с конечноэлементной сеткой
 Fig. 2. The structure of a thermal power plant for extracting IO from a human body with a finite element mesh

Результаты расчетов изображены на рис.3-7. На рис.3 показано двумерное температурное поле ТЭС при ее введении в тело человека на глубину 50 мм при холодопроизводительности ТЭМ 7000 Вт/м^2 для условия выхода прибора на режим.

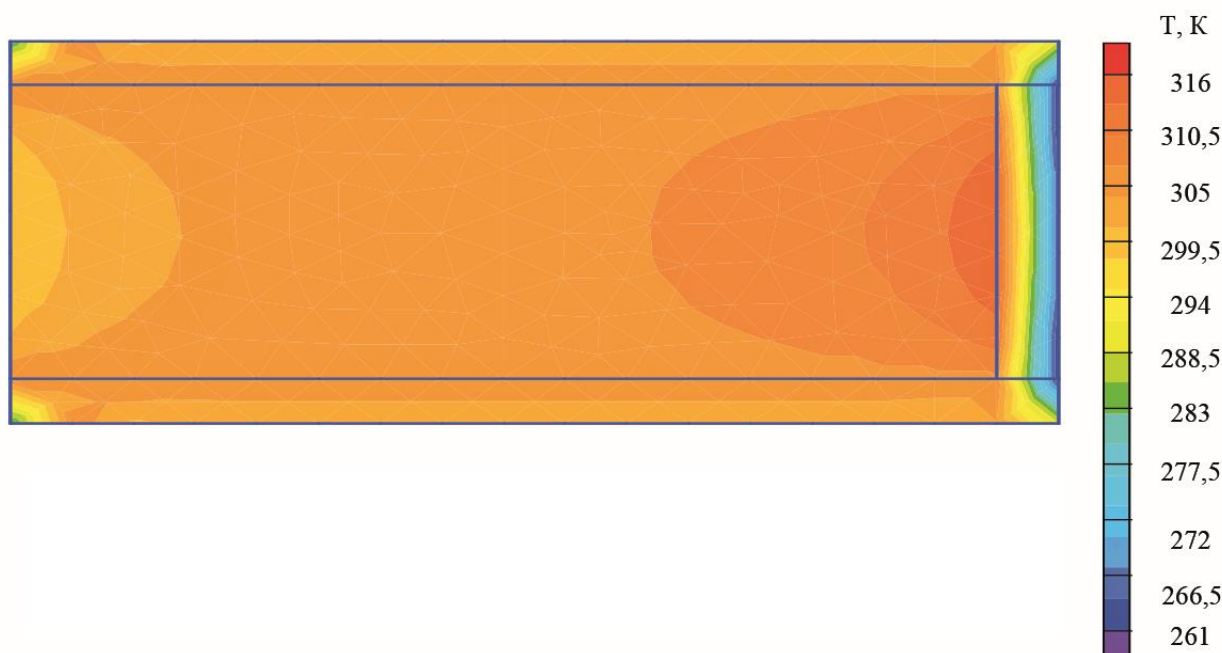


Рис.3. Двумерное температурное поле ТЭС при ее введении в тело человека
 Fig. 3. Two-dimensional temperature field of TPP when it is introduced into the human body

Согласно представленным данным распределение температуры по ТЭС достаточно неоднородно. Со стороны холодных спаев ТЭМ температура существенно меньше, чем в остальных точках, а со стороны горячих – выше, что объясняется поглощением и выделением теплоты Пельтье. При этом температура по зонду изменяется относительно незначительно, что связано с высокой теплопроводностью материала, из которого он изготовлен (латуни). Более информативными являются одномерные зависимости, рассмотренные на рис.4-5, также полученные для стационарного режима работы системы.

На рис.4 приведены графики изменения температуры ТЭС в поперечном направлении (вдоль оси y) в непосредственной близости от холодных спаев ТЭМ при различных величинах его холодопроизводительности. Согласно полученным данным с увеличением теплового потока на холодных спаев ТЭМ температура на соответствующей поверхности снижается. Так при величине $q_{х.ТЭМ}=7000 \text{ Вт/м}^2$ данная температура составляет чуть более 263 К и увеличивается примерно на 2,5 К при уменьшении $q_{х.ТЭМ}$ на 500 Вт/м^2 . Анализируя распределение температуры по оси y необходимо отметить, что ее значение по поверхности ТЭМ практически не меняется. Это позволяет в дальнейшем рассмотреть задачу о промерзании влажной губки только в одной координате, по ее толщине, существенно упростив расчет теплообмена, связанного с фазовым переходом вещества. Другой важной информацией, которую позволяет получить рис.4, является то, что применение ТЭС при данных холодопроизводительностях ТЭМ не ведет к переохлаждению близлежащих зон человеческого организма.

В зазорах между стенкой трубки ТЭС и ТЭМ (3 мм) температура меняется достаточно быстро и уже на расстоянии 1,5 мм от края модуля становится равной 277 К, что, учитывая кратковременность проведения процедуры по извлечению ИО, практически не влияет негативным образом на состояние тканей.

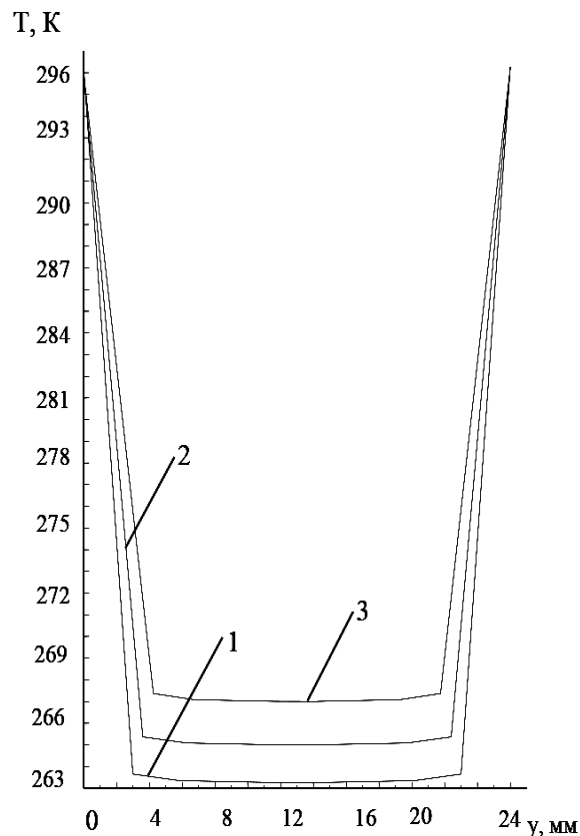


Рис.4. Изменение температуры ТЭС вдоль оси y в непосредственной близости от холодных спаев ТЭМ при различных величинах $q_{х.ТЭМ}$ 1- $q_{х.ТЭМ}=7000 \text{ Вт/м}^2$, 2- $q_{х.ТЭМ}=6500 \text{ Вт/м}^2$, 3 - $q_{х.ТЭМ}=6000 \text{ Вт/м}^2$

Fig. 4. Change in the temperature of TPP along the y -axis in the immediate vicinity of the cold junctions of the TEM at various values of q_x . TEM 1- $q_x \text{ TEM} = 7000 \text{ W / m}^2$, 2- $q_x \text{ TEM} = 6500 \text{ W / m}^2$, 3 - $q_x \text{ TEM} = 6000 \text{ W / m}^2$

На рис.5 изображено распределение температуры ТЭС в поперечном направлении (вдоль оси y) в непосредственной близости от горячих спаев ТЭМ (кривая 1) и вдоль центральной оси прибора при $y=25 \text{ мм}$ (кривая 2) для $q_{х.ТЭМ}=7000 \text{ Вт/м}^2$.

Представленные результаты расчета показывают, что максимальная температура наблюдается в центральной части горячих спаев ТЭМ и составляет примерно 319,5 К, снижаясь до 312 К у стенки трубки ТЭС. При этом максимальная температура посередине прибора составляет 315,7 К, также уменьшаясь к стенке трубки ТЭС до 312 К.

Данное обстоятельство позволяет говорить, что для условий эксплуатации системы температура горячих спаев ТЭМ не выходит за допустимые пределы. Зонд, изготовленный из меди, в данном конструктивном исполнении в полной мере выполняет роль теплоотвода для требуемых величин холодопроизводительности модуля. Помимо этого, представленные данные показывают, что наличие перегрева зонда за счет выделяющейся на горячих спаях ТЭМ теплоты, практически не сказывается на температуре тканей биологического объекта. В зоне их контакта со стенкой трубки ТЭС температура составляет 312 К, что немного превышает температуру человеческого тела, т.е. риск ожога при использовании разработанной системы на практике также отсутствует. Таким образом, стенка трубки ТЭС и воздушный зазор исполняют роль надежной тепловой изоляции.

График, изображенный на рис.6, показывает распределение температуры вдоль центральной продольной оси прибора при $q_{х.ТЭМ}=7000 \text{ Вт/м}^2$. Согласно рис.6, в зонде температура плавно увеличивается от 300 К в зоне его контакта с окружающей средой до 319,5 К в области сопряжения с горячими спаями ТЭМ. Далее наблюдается резкое снижение температуры до 263 К за счет поглощаемой теплоты Пельтье.

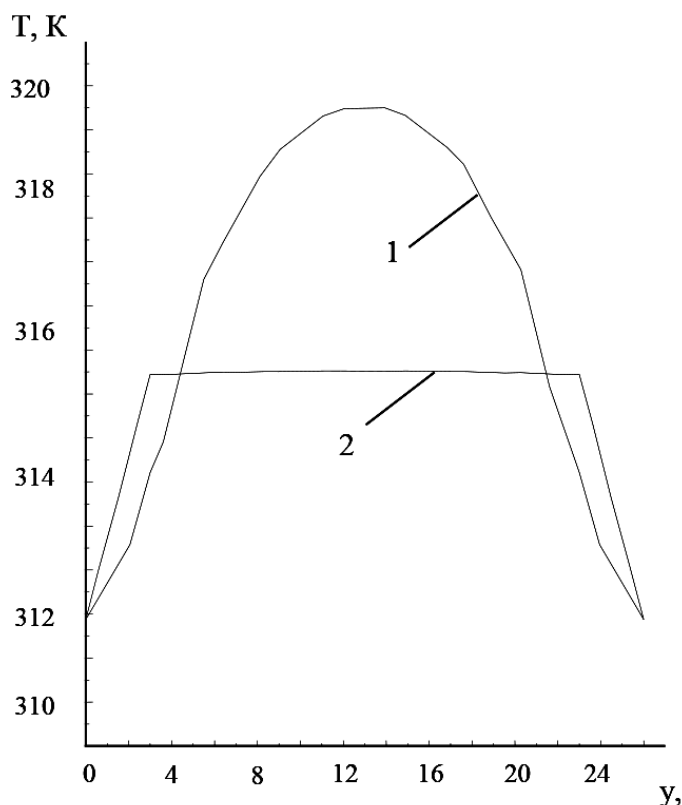


Рис.5. Изменение температуры ТЭС вдоль оси y в непосредственной близости от горячих спаев ТЭМ (1) и вдоль центральной поперечной оси прибора (2) при $q_{х.ТЭМ}=7000 \text{ Вт/м}^2$

Fig. 5. Change in the temperature of the TPP along the y-axis in the immediate vicinity of the hot junctions of the TEM (1) and along the central transverse axis of the device (2) at $q_{х. TEM} = 7000 \text{ W / m}^2$

При увеличении и уменьшении мощности ТЭМ данный график смещается вверх и вниз, практически не изменяя свою форму. При этом, как и в случае рис.4 изменение $q_{х.ТЭМ}$ на 500 Вт/м^2 изменяет значение температуры примерно на 2,5 К.

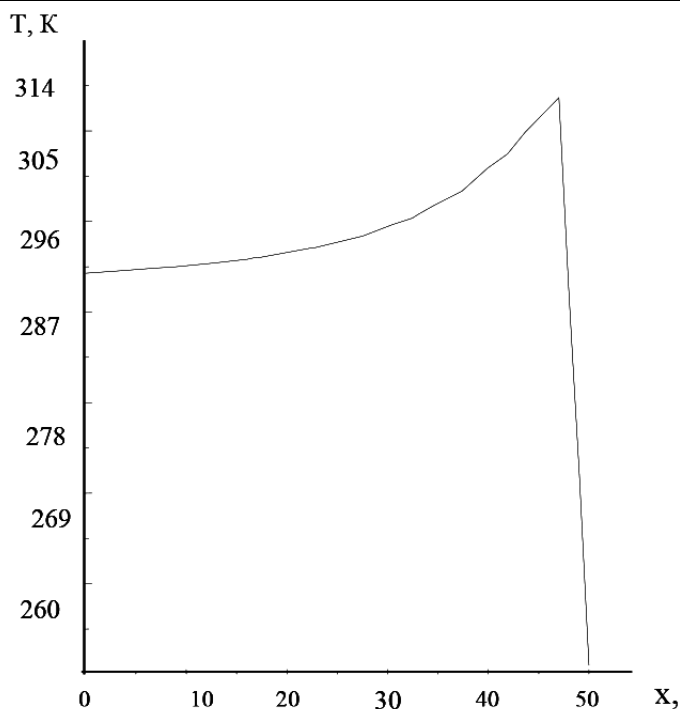


Рис.6. Изменение температуры ТЭС вдоль центральной продольной оси прибора при $q_{x.TЭМ}=7000 \text{ Вт/м}^2$
Fig. 6. Temperature change of TPP along the central longitudinal axis of the device at $q_{x.TЭМ} = 7000 \text{ W / m}^2$

Для анализа динамических характеристик ТЭС исследовано изменение температуры ее различных точек до выхода на стационарный режим. Полученные результаты представлены на рис.7.

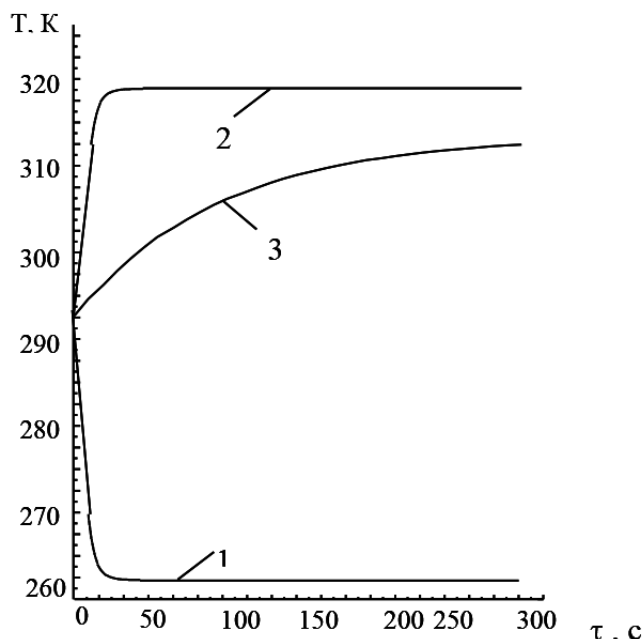


Рис.7. Изменение температуры в различных точках ТЭС: 1 - холодные спаи ТЭМ, 2 - горячие спаи ТЭМ, 3 – зонд
Fig. 7. Temperature change at different points of the TPP 1 - TEM cold junctions, 2 - TEM hot junctions, 3 - probe

По расчетным данным продолжительность выхода системы на установившийся режим невелика. Так, время, необходимое для термостабилизации спаев ТЭМ составляет 25 с, что связано с малыми габаритными размерами модуля и малой инерционностью эффекта Пельтье. Длительность же выхода на режим зонда ввиду его относительно больших размеров (относительно ТЭМ) находится в пределах 6-7 мин. В данной ситуации эффективным будет являться включение прибора до проведения процедур с целью вывода его на рабочий режим.

Вывод. Установлено, что эффективным методом оказания первой медицинской помощи, связанной с извлечением ИО из тела человека является использование методики фиксации его к зонду путем примораживания с использованием в качестве исполнительного элемента ТЭМ. Разработана модель ТЭУ для его реализации, основанная на решении задачи теплопроводности с учетом теплофизических характеристик биологического объекта, ИО, ТЭМ. В результате численного эксперимента получены графики изменения температуры в различных точках ТЭС при введении ее в организм человека для извлечения ИО в зависимости от мощности ТЭС, параметров материалов модуля, внешних условий. Определено, что в устройстве может быть использован стандартный ТЭМ холодопроизводительностью от 4500 Вт/м² до 7000 Вт/м² при продолжительности выхода на режим системы 6-7 мин. Указано, что подбор параметров ТЭМ должен ориентироваться на ограничения по эксплуатации прибора, а также медицинские нормы и стандарты во избежание процесса обморожения прилежащих тканей, что в предложенной конструкции обеспечивается в полной мере.

Библиографический список:

1. Блоцкий, А.А. Травмы и инородные тела ЛОР-органов / А.А. Блоцкий, С.А. Карпищенко, В.В. Антипенко, Р.А. Блоцкий. - СПб.: Диалог, 2018. 217 с.
2. Блоцкий, А.А. Неотложные состояния в оториноларингологии / А.А. Блоцкий, С.А. Карпищенко. - СПб.: Диалог, 2016. 203 с.
3. Юнусов, А.С. Эпидемиология инородных тел полости носа в условиях крупного мегаполиса / А.С. Юнусов, [и др.] // Российская оториноларингология. 2017. № 5. С. 83-87.
4. Войновский, А.Е. Диагностика и лечение при инородных телах желудочно-кишечного тракта / А.Е. Войновский, Г.В. Азаров, Т.Г. Коляденкова // Хирургия. 2012. №8. С. 51-54.
5. Загайнов, В.Е. Инородное тело брюшной полости, вызвавшее пролежень стенки желудка и двенадцатиперстной кишки. В.Е. Загайнов, Г.А. Евстигнеева, П.И. Рыхтик, [и др.] // Хирургия. 2011. №9. С. 78-80.
6. Корнеев, А.В. Первая медицинская помощь / А.В. Корнеев. Донецк: БАО, 2013. 240 с.
7. Cavazos M. A new positive-pressure device for nasal foreign body removal / M. Cavazos [et al.] // Pediatric emergency care. 2014. №2. pp. 94-96.
8. Антонова, Е.В. Случай длительного нахождения инородных магнитных тел в желудке / Е.В. Антонова, В.В. Холостова, Р.В. Халафов // Детская хирургия. 2013. №2. С. 52-53.
9. Kalyanasundaram, R. An unusual foreign body in the nasal cavity / R. Kalyanasundaram [et al.] // International journal of otolaryngology and head & neck surgery. 2014. No.3. pp. 267-270.
10. Хрыщанович, В.Я. Инородные тела пищеварительного тракта: хирургические аспекты диагностики и лечения / В.Я. Хрыщанович, И.М. Ладутко, Я.В. Прохорова // Медицинский журнал. 2009. №1. С. 9-14.
11. Яромич, И.В. Скорая и неотложная медицинская помощь / И.В. Яромич. Минск: Вышэйшая школа. 2010. 289 с.
12. Глыбочко, П.В. Первая медицинская помощь / П.В. Глыбочко, В.Н. Николаенко, [и др.]. М.: Академия, 2013. 305 с.
13. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual / P. Pasquali. New York: Springer, 2015. 441 p.
14. Bouzigon, R. Whole- and partial-body cryostimulation / cryotherapy: current technologies and practical applications / R. Bouzigon, F. Grappe, G. Ravier, B. Dugue // Journal of Thermal Biology. 2016. No.61. pp. 67-87.
15. Цыганов, Д.И. Криомедицина: процессы и аппараты / Д.И. Цыганов. М.: Сайнс-пресс, 2011. 304 с.
16. Евдулов О.В., Термоэлектрическая система для извлечения инородных объектов из тела человека / О.В. Евдулов, А.М. Насрулаев, С.Г. Магомедова, И.Ш. Миспахов, Н.А. Набиев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019. Т.46, №1. С. 32-41.
17. Евдулов О.В. Экспериментальное исследование термоэлектрического устройства для внутриместной гипотермии / О.В. Евдулов, Н.А. Набиев, С.Г. Магомедова, К.А. Магомедова // Холодильная техника. 2019. №4. С.31-35.
18. Александров, А.А., Теплотехника. / А.А. Александров, А.М. Архаров, И.А. Архаров, [и др.]. - М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 880 с.
19. Bergman, T.L. Fundamentals of heat and mass transfer / T.L. Bergman, A.S. Lavine, F.P. Incropera, D.P. Dewitt. New York: John Wiley & Sons, 2011. 1076 p.
20. Дульнев, Г.Н. Теория тепло- и массообмена / Г.Н. Дульнев. СПб.: СПбНИИУИТМО, 2012. 195 с.

References:

1. Blotskiy, A.A. Travmy i inorodnyye tela LOR-organov / A.A. Blotskiy, S.A. Karpishchenko, V.V. Antipenko, R.A. Blotskiy. - SPb.: Dialog, 2018. 217 s. [Blotsky, A.A. Injuries and foreign bodies of ENT organs / A.A. Blotsky, S.A. Karpishchenko, V.V. Antipenko, R.A. Blotsky. SPb.: Dialogue, 2018. 217 p. (In Russ)]
2. Blotskiy, A.A. Neotlozhnyye sostoyaniya v otorinolaringologii / A.A. Blotskiy, S.A. Karpishchenko. SPb.: Dialog, 2016. 203 s. [Blotsky, A.A. Emergencies in otorhinolaryngology / A.A. Blotsky, S.A. Karpishchenko. SPb.: Dialogue, 2016. 203 p. (In Russ)]
3. Yunusov, A.S. Epidemiologiya inorodnykh tel polosti nosa v usloviyakh krupnogo megapolisa / A.S. Yunusov, [i dr.] // Rossiyskaya otorinolaringologiya. 2017. № 5. - S. 83-87. [Yunusov, A.S. Epidemiology of foreign bodies in the nasal cavity in a large metropolis / A.S. Yunusov, [et al.]] // Russian otorhinolaryngology. 2017. No. 5. pp. 83-87. (In Russ)]
4. Voynovskiy, A.Ye. Diagnostika i lecheniye pri inorodnykh telakh zheludочно-kishechnogo trakta / A.Ye. Voynovskiy, G.V. Azarov, T.G. Kolyadenkova // Khirurgiya. 2012. №8. S. 51-54. [Voinovsky, A.E. Diagnostics and treatment of foreign bodies of the gastrointestinal tract / A.E. Voinovsky, G.V. Azarov, T.G. Kolyadenkova // Surgery. 2012. No. 8. pp. 51-54. (In Russ)]

5. Zagaynov, V.Ye. Inorodnoye telo bryushnoy polosti, vyzvavsheye prolezhenn' stenki zheludka i dvenadtsatiperstnoy kishki / V.Ye. Zagaynov, G.A. Yevstigneyeva, P.I. Rykhtik, [i dr.] // *Khirurgiya*. 2011. №9. S. 78-80. [Zagaynov, V.E. Foreign body of the abdominal cavity that caused a pressure ulcer of the stomach wall and duodenum / V.E. Zagaynov, G.A. Evstigneyeva, P.I. Rykhtik, [and others] // *Surgery*. 2011. No. 9. pp. 78-80. (In Russ)]
6. Korneyev, A.V. Pervaya meditsinskaya pomoshch' / A.V. Korneyev. Donetsk: BAO, 2013. 240 s. [Korneyev, A.V. First aid / A.V. Korneyev. Donetsk: BAO, 2013. 240 p. (In Russ)]
7. Cavazos, M. A new positive-pressure device for nasal foreign body removal / M. Cavazos [et al.] // *Pediatric emergency care*. - 2014. No. 2. pp. 94-96.
8. Antonova, Ye.V. Sluchay dlitel'nogo nakhozheniya inorodnykh magnitnykh tel v zheludke / Ye.V. Antonova, V.V. Kholostova, R.V. Khalafov // *Detskaya khirurgiya*. 2013. №2. S. 52-53. [Antonova, E.V. A case of long-term presence of foreign magnetic bodies in the stomach / E.V. Antonova, V.V. Kholostova, R.V. Khalafov // *Pediatric surgery*. 2013. No. 2. pp. 52-53. (In Russ)]
9. Kalyanasundaram, R. An unusual foreign body in the nasal cavity / R. Kalyanasundaram [et al.] // *International journal of otolaryngology and head & neck surgery*. 2014. No. 3. pp. 267-270.
10. Khryshchanovich, V.YA. Inorodnyye tela pishchevaritel'nogo trakta: khirurgicheskiye aspekty diagnostiki i lecheniya / V.YA. Khryshchanovich, I.M. Ladut'ko, YA.V. Prokhorova // *Meditsinskiy zhurnal*. 2009. №1. S. 9-14. [Khryshchanovich, V.Ya. Foreign bodies of the digestive tract: surgical aspects of diagnosis and treatment / V.Ya. Khryshchanovich, I.M. Ladutko, Ya. V. Prokhorov // *Medical Journal*. 2009. No. 1. pp. 9-14. (In Russ)]
11. Yaromich, I. V. Ambulance and emergency medical care / I.V. Yaromich. Minsk: Higher school. 2010. 289 p.
12. Glybochko, P.V. Pervaya meditsinskaya pomoshch' / P.V. Glybochko, V.N. Nikolayenko, [i dr.]. M.: Akademiya, 2013. 305 s. [Glybochko, P.V. First aid / P.V. Glybochko, V.N. Nikolaenko, [and others]. M.: Academy, 2013. 305 p. (In Russ)]
13. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual / P. Pasquali. New York: Springer, 2015. 441 p. (In Russ)]
14. Bouzigon, R. Whole- and partial-body cryostimulation / cryotherapy: current technologies and practical applications / R. Bouzigon, F. Grappe, G. Ravier, B. Dugue // *Journal of Thermal Biology*. 2016. No. 61. pp. 67-87.
15. Tsyganov, D.I. Kriomeditsina: protsessy i apparaty / D.I. Tsyganov. M.: Sayns-press, 2011. 304 s. [Tsyganov, D.I. Cryomedicine: processes and devices / D.I. Tsyganov. M.: Sains-press, 2011. 304 p.
16. Yevdulov, O.V., Termoelektricheskaya sistema dlya izvlecheniya inorodnykh ob'yektov iz tela cheloveka / O.V. Yevdulov, A.M. Nasrulaev, S.G. Magomedova, I.SH. Mispakhov, N.A. Nabiyev // *Vestnik DGTU. Tekhnicheskiye nauki*. 2019. T.46, №1. S. 32-41. [Evdulov, O.V., Thermoelectric system for extracting foreign objects from the human body / O.V. Evdulov, A.M. Nasrulaev, S.G. Magomedova, I. Sh. Mispakhov, N.A. Nabiev // *Bulletin of DSTU. Technical science*. 2019. Vol. 46, No. 1. pp. 32-41. (In Russ)]
17. Yevdulov, O.V. Eksperimental'noye issledovaniye termoelektricheskogo ustroystva dlya vnutripolostnoy gipotermii / O.V. Yevdulov, N.A. Nabiyev, S.G. Magomedova, K.A. Magomedova // *Kholodil'naya tekhnika*. 2019. №4. S.31-35. [Evdulov, O.V. Experimental study of a thermoelectric device for intracavitary hypothermia / O.V. Evdulov, N.A. Nabiev, S.G. Magomedov, K.A. Magomedova // *Refrigeration equipment*. 2019. No. 4. pp. 31-35. (In Russ)]
18. Aleksandrov, A.A., Teplo tekhnika. / A.A. Aleksandrov, A.M. Arkharov, I.A. Arkharov, [i dr.]. - M: MGTU im. N.E. Bauman, 2017. - 880 s. [Alexandrov, A.A., Heat engineering. / A.A. Alexandrov, A.M. Arkharov, I.A. Arkharov, [and others]. - M: MGTU im. N.E. Bauman, 2017. 880 p. (In Russ)]
19. Bergman, T.L. Fundamentals of heat and mass transfer / T.L. Bergman, A.S. Lavine, F.P. Incropera, D.P. Dewitt. New York: John Wiley & Sons, 2011. 1076 p.
20. Dul'nev, G.N. Teoriya teplo- i massoobmena / G.N. Dul'nev. SPb.: SPbNIUITMO, 2012. 195 s. [Dulnev, G.N. Theory of heat and mass transfer / G.N. Dulnev. SPb.: SPbNIUITMO, 2012. 195 p. (In Russ)]

Сведения об авторах:

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

Насрулаев Абдула Магомедович, соискатель кафедры теоретической и общей электротехники, e-mail: nasrulaevam@yandex.ru.

Information about the authors:

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

Abdula M. Nasrulaev, Applicant, Department of Theoretical and General Electrical Engineering e-mail: nasrulaevam@yandex.ru.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 02.10.2020.

Принята в печать 11.11.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 02.10.2020.

Accepted for publication 11.11.2020.