

Для цитирования: 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;46 (1): 32-41. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-1-32-41
For citation: Evdulov O.V., Magomedova S.G., Mispahov I.Sh., Nabiev N.A., Nasrulaev A.M. Thermoelectric system for extraction of foreign objects from human body. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2019; 46 (1): 32-41. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-1-32-41

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2019-46-1-32-41

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНОРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ИЗ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Евдулов О.В.¹, Магомедова С.Г.³, Миспахов И.Ш.², Набиев Н.А.⁴, Насрулаев А.М.⁵

¹⁻⁵ Дагестанский государственный технический университет,

¹⁻⁵ 367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

¹ e-mail: ole-ole-ole@rambler.ru., ² e-mail: igram.mispahov@yandex.ru,

³ e-mail: saratmag05@yandex.ru., ⁴ e-mail: alternativa9372@mail.ru,

⁵ e-mail: nasrulaevam @ yandex.ru

Резюме. Цель. Целью статьи является рассмотрение конструкции термоэлектрической системы (ТЭС) для извлечения инородных объектов из тела человека методом примораживания, а также моделирование процессов теплообмена в ней. **Метод.** Предложена конструкция и физическая модель системы для извлечения инородных объектов из тела человека, в которой источником холода является термоэлектрический модуль (ТЭМ), размещенный на специальном механическом приспособлении, выполненном в виде зонда, обеспечивающего также съём теплоты с горячих спаев модуля. Разработана математическая модель ТЭС, реализованная на основе решения задачи о росте слоя льда с использованием метода решения нестационарного дифференциального уравнения Фурье, представленного в частных производных путем приведения его к уравнению с полными производными на основе использования расширенной версии подстановки Ламе-Клапейрона, и представления решения в виде степенного ряда, который описывает распределение температур в слое намораживаемого льда и удовлетворяет краевым условиям задачи. **Результат.** Получены данные об изменении температуры извлекаемого объекта и толщины слоя льда во времени при различных величинах холодопроизводительности ТЭМ. Установлено, что продолжительность образования слоя льда между извлекаемым объектом и холодной поверхностью ТЭМ, являющимся исполнительным элементом системы, находится в небольших пределах, удовлетворяющих медицинским нормам, при этом скорость протекания процесса роста льда зависит от его мощности (увеличение холодопроизводительности ТЭМ с 1000 до 3000 Вт/м² снижает продолжительность образования слоя льда, толщиной 2 мм практически на 40 с, при этом температура извлекаемого объекта снижается с 269 К до 252 К). Указано, что подбор геометрических параметров ТЭМ и тока его питания должен ориентироваться на ограничения по эксплуатации прибора, а также медицинские нормы и стандарты во избежание процесса обморожения прилежащих тканей. **Вывод.** 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, моделирование, теплофизические процессы, расчет

POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

THERMOELECTRIC SYSTEM FOR EXTRACTION OF FOREIGN OBJECTS
FROM HUMAN BODY

Oleg V. Evdulov¹, Sarat G. Magomedova³, Igramidin Sh. Mispahov³, Nabi A. Nabiyev⁴, Abdula M. Nasrulaev

¹⁻⁵Daghestan State Technical University,

¹⁻⁵70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

¹e-mail: ole-ole-ole@rambler.ru., ²e-mail: igram.mispahov@yandex.ru

³e-mail: saratmag05@yandex.ru., ⁴e-mail: alternativa9372@mail.ru,

⁵e-mail: nasrulaevam @ yandex.ru

Abstract Objectives The purpose of the article is to examine the design of the thermoelectric system (TPP) for the extraction of foreign objects from the human body by the method of freezing, as well as the simulation of heat transfer processes in it. **Method.** A design and a physical model of the system for the extraction of foreign objects from the human body are proposed, in which the source of cold is a thermoelectric module (TEM) placed on a special mechanical device made in the form of a probe, which also provides removal of heat from the hot junctions of the module. A mathematical model of thermal power plants was developed, implemented on the basis of solving the problem of ice layer growth using the method of solving the non-stationary Fourier differential equation, presented in partial derivatives by reducing it to an equation with full derivatives based on the use of an extended version of the Lamé-Clapeyron substitution, and power series, which describes the temperature distribution in the frozen ice layer and satisfies the boundary conditions of the problem. **Result.** Data were obtained on the change in temperature of the extracted object and the thickness of the ice layer over time at various values of the cooling capacity of TEM. It is established that the duration of the formation of an ice layer between the object to be extracted and the cold surface of the TEM, which is the executive element of the system, is within narrow limits that meet medical standards, while the speed of the ice growth process depends on its thickness (increasing the cooling capacity of the TEM from 1000 to 3000 W / m² reduces the duration of the formation of an ice layer, 2 mm thick, by almost 40 s, while the temperature of the extracted object decreases from 269 K to 252 K). It is indicated that the selection of geometric parameters of TEM and its power supply should focus on the limitations on the operation of the device, as well as medical norms and standards in order to avoid the process of frostbite of the adjacent tissues. **Conclusion.** A method is proposed for increasing the efficiency of the system, according to which the preliminary cooling of the TPP by an external source of cold is used, as well as the use of forced TEM operation modes.

Keywords: removal of foreign objects, freezing, thermoelectric system, modeling, thermal processes, calculation

Введение. Одним из главных аспектов сохранения жизни и здоровья человека при той или иной чрезвычайной ситуации является оперативное и своевременное хирургическое вмешательство, которое в большинстве случаев включает в себя оперативное удаление инородных объектов из тела [1-3]. Данное обстоятельство определяется тем фактом, что попадание в тело человека инородных объектов вызывает дискомфорт, болезненные ощущения и в будущем может привести к воспалительному процессу, заражению и нагноению. Отдельного внимания заслуживают поражения человека при его ранении с оставшимися в ране частями пуль, шрапнели, осколками гранат, сколами холодного оружия и т.д. Наличие на перечисленных объектах микрофлоры приводит также к заражению, нагноению и некрозу ткани [4-7]. Поэтому разработка технических средств и процедур, связанных с извлечением инородных объектов из тела человека, является актуальной и практически значимой. В настоящее время для проведения операций по извлечению инородных объектов из тела человека используются механические приспособления (пинцеты, щипцы, иглы различной конфигурации и т.п.). К ним на сегодняшний день можно отнести такие технические средства, как щипцы типа BLAKESLEY,

STRUYSKEN, TAKANASHI (производитель ООО "НПФ ЭлМед", Россия), биопсийные щипцы и захваты PolyGrab (производитель компания Olympus, Япония), захваты и экстракторы компаний Medi-Globe GmbH (Германия), Gebrueder Zepf Medizintechnik GmbH & Co. (Германия), инструменты для эндоскопии компании RICHARD WOLF GmbH (Германия), щипцы, иглы и экстракторы компаний Hunan Injection High Technology Co., Ltd. (Китай), Jiangsu ATE Medical Technology Co., Ltd. (Китай), хирургические инструменты для извлечения инородных объектов компаний Changzhou JIUHONG Medical Instrument Co., Ltd. (Китай), Wilson Instruments Co. Ltd.» (Гонконг), захватные приспособления компании Mobile Instrument Svc, Co. (США). Использование данных механических приспособлений для извлечения инородных объектов из тела человека приводит к дополнительным повреждениям зон, контактирующих с инородным объектом, что добавляет болезненные ощущения при проведении процедур по их извлечению. Кроме этого, недостаточна вероятность успешного итога процесса извлечения инородного тела - возможно соскальзывание технического средства с объекта, сложность или невозможность его захвата, что сказывается на продолжительности и болезненности процедуры.

Поэтому представляет интерес разработка таких приспособлений и методик извлечения инородных объектов из тела человека, которые бы минимизировали дополнительные повреждения при их извлечении, а также болезненные ощущения, сопровождающие этот процесс. Перспективным является использование методики фиксации инородного объекта к зонду путем примораживания с использованием в качестве исполнительного элемента (охладителя) ТЭМ [8-10]. Применение такого технического средства даст возможность устранить указанные недостатки за счет преимуществ термоэлектрических средств примораживания (надежности и прочности сцепления, компактности, независимости от ориентации в пространстве, экологичности, возможности реверса теплового потока и др.), а также конструкционных и технологических мер по обеспечению эффективности, комфортности и безболезненности процедур, связанных с извлечением инородных объектов из тела человека [11-17].

Постановка задачи. Целью статьи является рассмотрение конструкции ТЭС для извлечения инородных объектов из тела человека методом примораживания, а также моделирование процессов теплообмена в ней.

Методы исследования. Структурная схема ТЭС представлена на рис. 1.

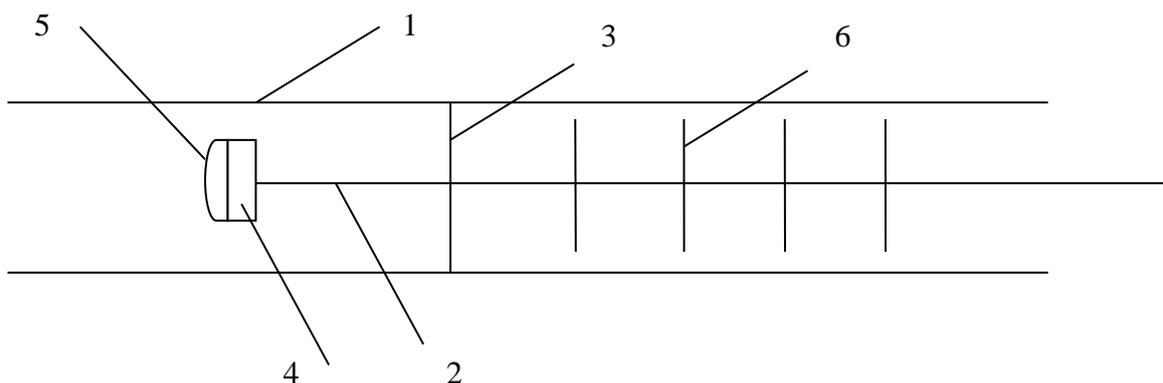


Рис. 1. Структурная схема ТЭС для извлечения инородных объектов из тела человека методом примораживания

Fig. 1. Structural scheme of thermal power plants to extract foreign objects from the human body by the method of freezing

Прибор содержит манипулятор, изготовленный в виде полой трубки 1 из материала с низкой теплопроводностью (например, пластмасс, используемых в медицине), которая в общем случае может быть выполнена гибкой. Внутри трубки 1 размещен металлический стержень 2, который с помощью направляющих 3 может перемещаться по длине трубки 1. На торцевой поверхности стержня 2, обращенной к извлекаемому объекту, закреплен ТЭМ 4, на рабочую поверхность которой для лучшего сцепления с извлекаемыми объектами может быть нанесено губчатое вещество 5, перед процедурой смачиваемое жидкостью. Стержень 2, выполняющий также функции теплосъема с опорной поверхности ТЭМ 4 в радиальном направлении по отношению к трубке 1 может иметь ребрение 6.

Перед началом процедуры отдельные части системы тщательно дезинфицируются. Стержень 2 приводится в положение, при котором рабочая поверхность ТЭМ 4 будет максимально удалена от объекта, подлежащего к извлечению.

Затем прибор вводится в зону поражения в случае ранения человека, либо в естественное отверстие в случае извлечения инородных тел, например из носа, горла и т.п., на требуемую глубину так, чтобы стенки трубки 1 располагались на глубине, несколько большей расположения верхней поверхности инородного объекта.

Далее путем перемещения металлического стержня 2 по направляющим 3 рабочая поверхность ТЭМ 4 через губчатое вещество 5 приводится в соприкосновения с извлекаемым объектом. При подаче на ТЭМ 4 тока соответствующей полярности происходит примерзание объекта к его рабочей поверхности. Непосредственно извлечение инородного тела осуществляется путем перемещения металлического стержня 2 в обратном направлении. Ребрение 6 стержня 2 увеличивает эффективность теплосъема с опорного спая ТЭМ 4. Примораживание извлекаемого объекта требует изучения процесса образования льда на его контакте с холодными спаями (поверхностью) ТЭМ. Схема льдообразования рассмотрена на рис. 2.

Здесь x - пространственная координата, $T_{ТЭМ}$ - температура холодной поверхности ТЭМ, T_{ϕ} - температура фазового перехода воды в лед, T_o - температура в полости человека.

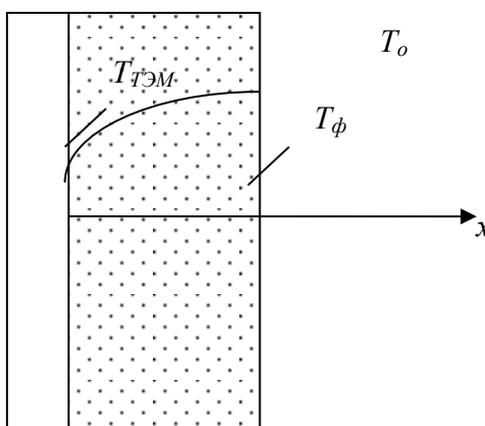


Рис. 2. Схема образование льда на поверхности извлекаемого объекта
Fig. 2. Scheme of the formation of ice on the surface of the extracted object

В основе подхода лежит метод решения нестационарного дифференциального уравнения Фурье, представленного в частных производных путем приведения его к уравнению с полными производными на основе использования расширенной версии подстановки Ламе-Клапейрона, и представления решения в виде степенного ряда, который описывает распределение температур в слое намораживаемого льда и удовлетворяет краевым условиям задачи [18]. Для случая намораживания водного льда на плоской поверхности исходное дифференциальное уравнение Фурье имеет вид:

$$C_p(T)\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right], \quad (1)$$

где $C_p(T)$ - удельная теплоемкость водного льда, зависящая от температуры Дж/(кг·К); τ - время, с; x - пространственная координата, м; ρ - плотность льда, кг/м³; T - температура в слое намороженного льда. К; $\lambda(T)$ - теплопроводность водного льда, зависящая от температуры; Вт/(м·К).

Краевые условия задачи записываются:

$$\begin{aligned} T(0, \tau) &= T_{ТЭМ} \\ T(x, 0) &= T_o \\ T(\xi, \tau) &= T_\phi. \end{aligned}$$

Условие теплового воздействия со стороны тела человека:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=\xi} = \alpha(T_o - T_\phi) + \rho L \frac{d\xi}{d\tau}. \quad (2)$$

Применим к уравнению (1) подстановку Ламе-Клапейрона, т.е. будем искать выражение в виде:

$$T(x, \tau) = T(v), \quad v = \frac{x}{\sqrt{\tau}}, \quad \xi = \beta\sqrt{\tau}.$$

Результирующее уравнение для определения динамики роста слоя водного льда на поверхности плоской стенки с учетом зависимости теплофизических свойств льда от температуры:

$$\begin{aligned} T_{ТЭМ} &= T_\phi \left(\frac{\rho L}{2\lambda} \beta + \frac{\alpha(T_o - T_\phi)}{\lambda} \sqrt{\tau} \right) \beta + \left(\frac{\rho L}{2\lambda} \beta + \frac{\alpha(T_o - T_\phi)}{\lambda} \sqrt{\tau} \right)^2 \frac{\beta^2}{2T_\phi} - \\ &\frac{\rho C_1 T_\phi^2}{2K} \beta^3 \left(\frac{\rho L}{2\lambda} \beta + \frac{\alpha(T_o - T_\phi)}{\lambda} \sqrt{\tau} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где: α - коэффициент теплоотдачи от воды к поверхности льда, Вт/(м²·К); β - фактор роста толщины слоя льда, м/с^{0,5}; τ - время, с; L - теплота фазового перехода воды в лед, Дж/кг, $C_1=7,97$ - размерная константа, Дж/кг·К, $K=615,34$ - размерная константа, Вт/м [19].

Для определения искомой толщины слоя льда ξ , на заданный промежуток времени τ необходимо из уравнения (3) найти значение фактора роста слоя льда β , умножение которого на квадратный корень от времени $\sqrt{\tau}$ дает значение ξ т.е.

$$\xi = \beta\sqrt{\tau}$$

Окончательно

$$\xi = \frac{\alpha(T_o - T_\phi)}{\rho L} \tau + \frac{\lambda}{\rho L} \sqrt{\left(\frac{\alpha(T_o - T_\phi)}{\lambda} \tau \right)^2 - \frac{2\rho L(T_{ТЭМ} - T_\phi)}{\lambda} \tau}.$$

Обсуждение результатов. По разработанной модели, описываемой уравнениями (1)-(3) произведен численный эксперимент. Исходными данными являлись [20, 21]: температура в полости человека, $T_o=310$ К; температура холодной поверхности ТЭМ, $T_{ТЭМ}=250$ К; температура фазового перехода воды в лед, $T_\phi=273$ К; толщина льда между извлекаемым объектом и холодной поверхностью ТЭМ для их прочного сцепления - 2 мм; теплофизические характеристики объектов и ТЭМ взяты из справочных данных [3, 8] для свинца (извлекаемый объект) и параметров человеческого организма.

Для прочного смораживания поднимаемого объекта с поверхностью ТЭМ должны соблюдаться следующие условия: температура поверхности извлекаемого объекта должна быть

ниже температуры кристаллизации воды, при этом необходимо полное промораживание поверхности извлекаемого объекта к поверхности ТЭМ для обеспечения их надежного сцепления. Получены данные об изменениях температуры извлекаемого объекта и толщины слоя льда во времени при различных величинах холодопроизводительности ТЭМ. Они интерпретированы и представлены в виде графиков на рис.3 и 4.

T_o, K

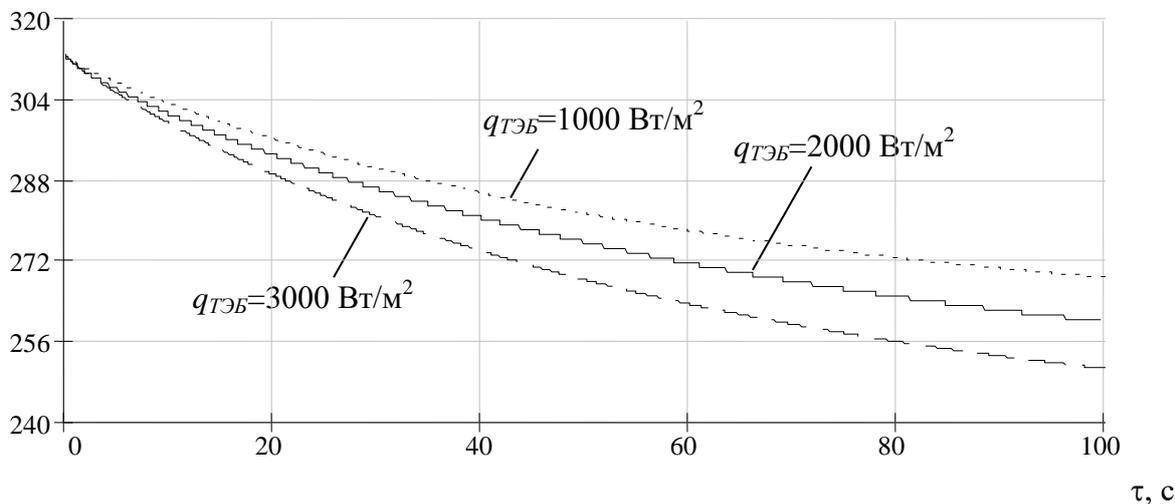


Рис. 3. Зависимость изменения температуры извлекаемого объекта от времени при различной холодопроизводительности ТЭМ
Fig. 3. Dependence of temperature change of the extracted object on time at different cooling capacities of TEM

$\xi, \text{ см}$

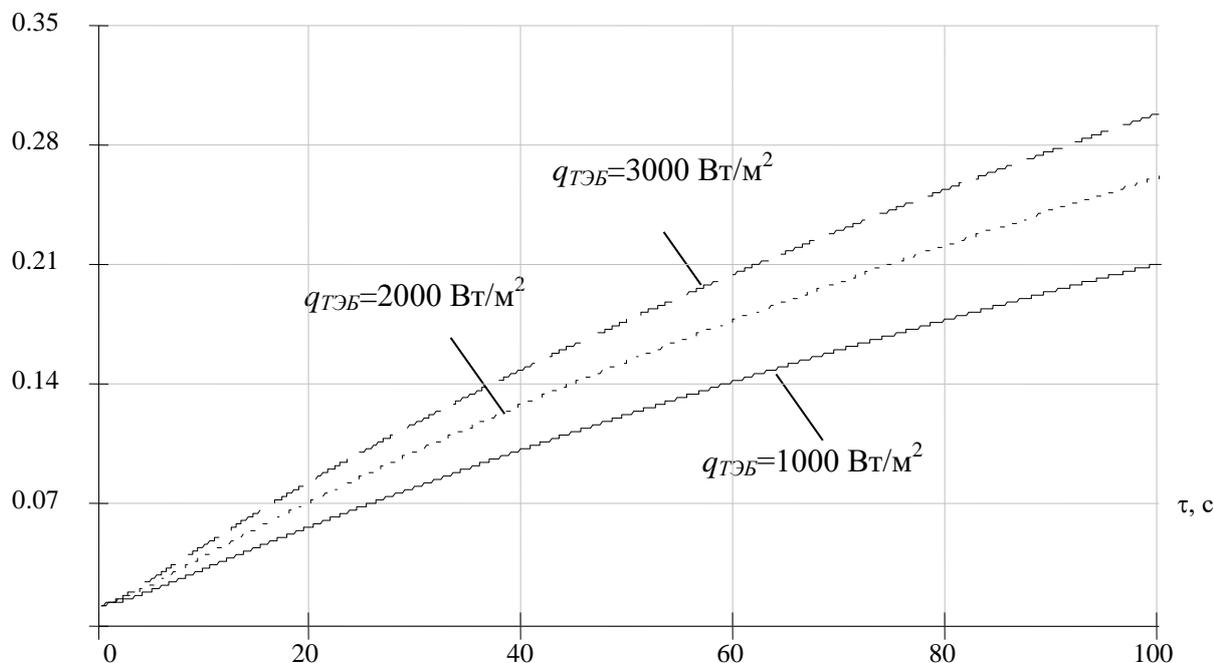


Рис. 5. Зависимость изменения толщины слоя льда от времени при различной холодопроизводительности ТЭМ
Fig. 5. Dependence of the change in the thickness of the ice layer on time at different cooling capacities of TEM

По результатам найденных величин холодопроизводительности ТЭМ определяются ее электрические и геометрические параметры в соответствии со стандартными методиками расчета, изложенными, например, в [9].

В результате численного эксперимента установлено, что продолжительность образования слоя льда между извлекаемым объектом и холодной поверхностью ТЭМ находится в небольших пределах, удовлетворяющих медицинским нормам [5]. При этом скорость протекания процесса роста льда сильно зависит от мощности ТЭМ.

Так, увеличение холодопроизводительности модуля с 1000 до 3000 Вт/м² снижает продолжительность образования слоя льда, толщиной 2 мм практически на 40 с, при этом температура извлекаемого объекта снижается с 269 К до 252 К.

Данное обстоятельство очевидно, так как увеличение интенсивности охлаждения извлекаемого объекта ТЭМ приводит у ускорению процесса образования льда и увеличению его слоя.

При этом одновременно с увеличением мощности ТЭМ растет и значение его тока питания, а также габаритные размеры, что при существующих ограничениях, накладываемых условиями эксплуатации прибора, существенно влияет на его работу и конструктивное исполнение.

В случае увеличения тока питания требуется обеспечение надежного отвода теплоты от горячих спаев ТЭБ, при этом использование воздушного радиатора не всегда может быть эффективным.

В случае же увеличения габаритных размеров ТЭМ могут возникнуть сложности в механическом доступе к извлекаемому объекту, либо необходимым будет являться использование различного рода насадок на ТЭМ, увеличивающих тепловое сопротивление между холодной поверхностью последнего и объектом.

Данное обстоятельство также следует учитывать при конструкторских расчетах прибора.

Здесь также следует отметить некоторые ограничения по величине холодопроизводительности ТЭМ и температуры его холодной поверхности относительно продолжительности примораживания объекта.

Так, по медицинским стандартам [11] продолжительность охлаждения любой зоны человеческого организма до величины примерно при 265-267 К не должна превышать 5-6 мин. В этих условиях при подборе ТЭМ и тока ее питания следует ориентироваться на данные нормативы во избежание процесса обморожения прилежащих к извлекаемому объекту тканей.

Указанные обстоятельство можно учесть, используя предварительное охлаждение системы внешним источником холода (до проведения процедур), а также применяя форсированные режимы работы ТЭМ.

Например, до проведения процедур включая модуль в режиме максимальной холодопроизводительности, а затем, во время процесса извлечения инородного объекта из тела человека, переключая его в режим максимального холодильного коэффициента.

Вывод. В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. В настоящее время в практике оказания первой медицинской помощи, связанной с извлечением инородных объектов из тела человека эффективным является использование методики фиксации инородного объекта к зонду путем примораживания с использованием в качестве исполнительного элемента (охладителя) ТЭМ.

2. Предложена конструкция и физическая модель системы для извлечения инородных объектов из тела человека, в которой источником холода в котором является термоэлектрический модуль, размещенный на специальном механическом приспособлении, выполненным в виде зонда, обеспечивающего также съём теплоты с горячих спаев модуля.

3. Разработана математическая модель ТЭС, реализованная на основе решения задачи о росте слоя льда с использованием метода решения нестационарного дифференциального уравнения Фурье, представленного в частных производных путем приведения его к уравнению с полными производными на основе использования расширенной версии подстановки Ламе-Клапейрона, и представления решения в виде степенного ряда, который описывает распределе-

ние температур в слое намораживаемого льда и удовлетворяет краевым условиям задачи.

4. В результате численного эксперимента получены данные об изменении температуры извлекаемого объекта и толщины слоя льда во времени при различных величинах холодопроизводительности ТЭМ.

5. Установлено, что продолжительность образования слоя льда между извлекаемым объектом и холодной поверхностью ТЭМ находится в небольших пределах, удовлетворяющих медицинским нормам, при этом скорость протекания процесса роста льда сильно зависит от мощности ТЭМ.

Увеличение холодопроизводительности ТЭМ с 1000 до 3000 Вт/м² снижает продолжительность образования слоя льда, толщиной 2 мм практически на 40 с, при этом температура извлекаемого объекта снижается с 269 К до 252 К).

6. Указано, что подбор геометрических параметров ТЭМ и тока его питания должен ориентироваться на ограничения по эксплуатации прибора, а также медицинские нормы и стандарты во избежание процесса обморожения прилежащих тканей.

7. Предложен способ повышения эффективности системы, согласно которому используется предварительное охлаждение ТЭС внешним источником холода, а также применением форсированных режимов работы ТЭМ.

Библиографический список:

1. Корнеев А. Первая медицинская помощь. Донецк: БАО. - 2013. - 240 с.
2. Первая медицинская помощь: Справочник / Под общ. ред. В. М. Баршая и Л. В. Димитровой. Ростов на Дону: Феникс. - 2001. - 346 с.
3. Левчук И.П., Третьяков Н.В. Медицина катастроф. - М.: ГЭОТАР-Медиа. -2011. - 246 с.
4. Сапин М. Р. Анатомия и физиология человека. М.: Просвещение. - 2000. – 256 с.
5. Глыбочко П.В., Николаенко В.Н. и др. Первая медицинская помощь: Учебник. Москва: Академия. - 2013. - 305 с.
6. Яромич И.В. Скорая и неотложная медицинская помощь. Минск: Вышэйшая школа. - 2010. - 289 с.
7. Неотложная хирургия органов брюшной полости / Под ред. В.В. Леватовича. М.: ГЭОТАР-Медиа. - 2007. - 247 с.
8. Анатычук Л.И. Термоэлектричество. т.2. Термоэлектрические преобразователи энергии. Киев, Черновцы: Институт термоэлектричества. - 2003. - 376 с.
9. Заяков В.П., Киншова Л.А., Моисеев В.Ф. Прогнозирование показателей надежности термоэлектрических охлаждающих устройств. - Одесса: Политехперіодика, 2009. - 175 с.
10. Sennoga Twaha, Jie Zhu, Yuying An, Bo Li. A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modelling and performance improvement // Renewable and sustainable energy reviews. - 2016. - vol. 65. - pp. 698-726.
11. Анатычук Л.И. Современное состояние и некоторые перспективы термоэлектричества // Термоэлектричество. 2007. №2. С. 21-29.
12. Булат Л.П. Прикладные исследования и разработки в области термоэлектрического охлаждения в России // Холодильная техника. 2009. № 7. С. 14-19.
13. Sennoga Twaha, Jie Zhu, Yuying An, Bo Li A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modeling and performance improvement // Renewable and sustainable energy reviews. - 2016. - №65.
14. Rowe D.M. Thermoelectrics and its energy harvesting, materials, preparation and characterization. BocaRaton: CRC Press. – 2012.
15. Такенобу Кадзикава, Риодзи Фунаками Новейшие разработки в области технологии термоэлектрического генерирования электроэнергии в Японии // Термоэлектричество. - 2016. - № 1. - С. 4-11.
16. Шучитангшу Чаттерджи Термоэлектричество по индийскому сценарию // Термоэлектричество. – 2016. - №6. - С. 7-15.
17. Исмаилов Т.А., Аминов Г.И., Евдулов О.В., Юсуфов Ш.А. Приборы для локального температурного воздействия на человеческий организм // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки, Новочеркасск. - 2003. - №2. - С. 3-6.
18. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М.: Высшая школа. - 1967. - 600 с.
19. Григорьев И.С., Мейлихов Е.З. Физические величины. Справочник. М.: Энергоатомиздат. - 1991.
20. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Хазамова М.А., Магоматов Р.А.-М. Математическая модель термоэлектрической системы для локального теплового воздействия на руку человека // Термоэлектричество. - 2014. - № 1.
21. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Рагимова Т.А. Исследование термоэлектрической системы для локального замораживания тканей гортани // Термоэлектричество. 2015. № 2.

References:

1. Korneyev A. Pervaya meditsinskaya pomoshch'. Donetsk: BAO. - 2013. - 240 s. [Korneev A. First aid. Donetsk: BAO. - 2013. - 240 p. (In Russ.)]
2. Pervaya meditsinskaya pomoshch': Spravochnik / Pod obshch. red. V. M. Barshaya i L. V. Dimitrovoy. Rostov na Donu: Feniks. - 2001. - 346 s. [First Aid: a Handbook / Pod obshch. ed. V.M. Barshay and L.V. Dimitrova. Rostov on Don: Phoenix. - 2001. - 346 p. (In Russ.)]
3. Levchuk I.P., Tret'yakov N.V. Meditsina katastrof. - M.: GEOTAR-Media. -2011. - 246 s [Levchuk I.P., Tret'yakov N.V. Emergency Medicine. - M.: GEOTAR-Media. -2011. - 246 s. (In Russ.)]
4. Sapin M. R. Anatomiya i fiziologiya cheloveka. M.: Prosveshcheniye. - 2000. - 256 s. [Sapin MR Anatomy and human physiology. M.: Enlightenment. - 2000. - 256 p. (In Russ.)]
5. Glybochko P.V., Nikolayenko V.N. i dr. Pervaya meditsinskaya pomoshch': Uchebnik. Moskva: Akademiya. - 2013. - 305 s. [Glybochko P.V., Nikolaenko V.N. and others. First Aid: A Textbook. Moscow: Academy. - 2013. - 305 s. (In Russ.)]
6. Yarovich I.V. Skoraya i neotlozhnaya meditsinskaya pomoshch'. Minsk: Vysheyshaya shkola. - 2010. - 289 s. [Yarovich I.V. Emergency and emergency medical care. Minsk: Higher School. - 2010. - 289 p. (In Russ.)]
7. Neotlozhnaya khirurgiya organov bryushnoy polosti / Pod red. V.V. Levatovicha. M.: GEOTAR-Media. - 2007. - 247 s. [Emergency surgery of the abdominal organs / Ed. V.V. Levatovich. M.: GEOTAR-Media. - 2007. - 247 p. (In Russ.)]
8. Anatyshuk L.I. Thermoelectricity. v.2. Thermoelectric energy converters. Kiev, Chernovtsy: Institute of Thermoelectricity. - 2003. - 376 p.
9. Zayakov V.P., Kinshova L.A., Moiseyev V.F. Prognozirovaniye pokazateley nadezhnosti termoelektricheskikh okhlazhdayushchikh ustroystv. - Odessa: Politekhperiodika, 2009. - 175 c. [Zayakov V.P., Kinshova L.A., Moiseev V.F. Prediction of reliability indicators of thermoelectric cooling devices. - Odessa: Polytehperiodika, 2009. 175 p. (In Russ.)]
10. Sennoga Twaha, Jie Zhu, Yuying An, Bo Li. A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modeling and performance improvement // Renewable and sustainable energy reviews. - 2016. - vol. 65. - pp. 698-726.
11. Anatyshuk L.I. The current state and some perspectives of thermoelectricity // Thermoelectric. - 2007. - №2. - p. 21-29.
12. Bulat L.P. Prikladnyye issledovaniya i razrabotki v oblasti termoelektricheskogo okhlazhdeniya v Rossii // Kholodil'naya tekhnika. - 2009. - № 7. - S. 14-19. Bulat L.P. Applied research and development in the field of thermoelectric cooling in Russia // Refrigeration equipment. 2009. № 7. pp. 14-19. (In Russ.)]
13. Siennoga Twaha, Jie Zhu, Yu Li An Extraordinary Review of Renewable and sustainable energy reviews. - 2016. - №65.
14. Rowe D.M. Thermoelectrics and its energy harvesting, materials, preparation and characterization. BocaRaton: CRC Press. - 2012.
15. Takenobu Kajikawa, Ryoji Funahami Newest Developments in the Field of Thermoelectric Power Generation Technology in Japan // Thermoelectricity. - 2016. - № 1. - p. 4-11.
16. Shuchitangshu Chatterji Thermoelectricity in the Indian scenario // Thermoelectricity. - 2016. - №6. - p. 7-15.
17. Ismailov T.A., Aminov G.I., Yevdulov O.V., Yusufov SH.A. Pribory dlya lokal'nogo temperaturnogo vozdeystviya na chelovecheskiy organizm // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskiye nauki, Novochoerkassk. - 2003. - №2. - S. 3-6. [Ismailov T.A., Aminov G.I., Evdulov O.V., Yusufov Sh.A. Devices for local temperature effects on the human body // News of universities. North Caucasus region. Technical sciences, Novochoerkassk. - 2003. - №2. - p. 3-6. (In Russ.)]
18. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti. - M.: Vysshaya shkola. - 1967. - 600 s. [Lykov A.V. Theory of heat conduction. - M.: Higher School. - 1967. - 600 p. (In Russ.)]
19. Grigor'yev I.S., Meylikhov Ye.Z. Fizicheskiye velichiny. Spravochnik. M.: Energoatomizdat. - 1991. [Grigoriev, I.S., Meilikhov, E.Z. Physical quantities. Directory. M.: Energoatomizdat. - 1991. (In Russ.)]
20. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Khazamova M.A., Magomadov R.A.M. Mathematical model of thermoelectric system for the local thermal effects on the human hand // Thermoelectricity. 2014. № 1.
21. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Ragimova T.A. Research of thermoelectric system for local freezing of laryngeal tissues // Thermoelectricity. 2015. № 2.

Сведения об авторах:

Евдулов Олег Викторович – кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической и общей электротехники.

Магомедова Сарат Гусеновна – аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники.

Миспахов Играмидин Шарафидинович – кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра теоретической и общей электротехники.

Набиев Наби Абдулаевич – аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники.

Насрулаев Абдула Магомедович – соискатель, кафедра теоретической и общей электротехники.

Information about the authors:

Oleg V. Evdulov – Cand.Sci. (Technical), Assoc.Prof., Department of Theoretical and General Electrical Engineering.

Sarat G.Magomedova – Postgraduate Student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering.

Igramidin Sh. Mispakhov - Cand.Sci. (Technical), Senior Lecturer, Department of Theoretical and General Electrical Engineering.

Nabi A. Nabiyev– Postgraduate Student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering.

Abdula M. Nasrulaev - Applicant, Department of Theoretical and General Electrical Engineering.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 18.01.2019.

Received 18.01.2019.

Принята в печать 26.02.2019.

Accepted for publication 26.02.2019.