**Конструкции термоэлектрических устройств для извлечения инородных объектов
из тела человека методом примораживания**

О.В. Евдулов, А.М. Насрулаев, Р.Ш. Казумов

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

Резюме. Целью статьи является рассмотрение конструкций термоэлектрических устройств (ТЭУ) для извлечения инородных объектов (ИО) из тела человека методом примораживания с различными вариантами съема теплоты с горячих спаев термоэлектрического модуля (ТЭМ). **Метод.** Описаны модификации термоэлектрических устройств, предназначенных для извлечения ИО из тела человека методом примораживания к специальному зонду. Это техническое исполнение отличается способом отвода теплоты от горячих спаев ТЭМ, для чего применяется воздушный теплоотвод, плавящиеся рабочие вещества и предварительное захолаживание радиатора. Приведены основные соотношения для расчета технических средств, предназначенных для съема теплоты с горячих спаев ТЭМ. **Результат.** Получены графики зависимости изменения температуры горячих спаев ТЭМ во времени при различных значениях его теплопроизводительности при использовании системы воздушного теплоотвода и времени полного проплавления различных рабочих веществ, используемых в приборе. **Вывод.** Полученные данные показывают, что для условий эксплуатации ТЭУ температура горячих спаев ТЭМ с воздушным теплоотводом не выходит за допустимые пределы. При мощности модуля равной 8 Вт, 12 Вт и 16 Вт температура горячих спаев термоэлементов достаточно быстро стабилизируется и принимает значение 308 К, 313 К и 318 К. При этом, в случае использования для отвода теплоты от горячих спаев ТЭМ плавящихся рабочих веществ, с точки зрения продолжительности поддержания их стабильной температуры, наиболее предпочтительным является азотнокислый никель, менее значительным - элаидиновая кислота и парафин. Расчеты конструкции устройства с предварительно захолаживаемой радиаторной системой также показывают эффективность отвода теплоты от горячих спаев ТЭМ на время всей процедуры извлечения ИО из тела человека

Ключевые слова: инородный объект, извлечение, примораживание, термоэлектрическое устройство, термоэлектрический модуль, радиатор, воздушный отвод теплоты, плавящееся вещество, предварительное захолаживание, конструкция

Для цитирования: О.В. Евдулов, А.М. Насрулаев, Р.Ш. Казумов. Конструкции термоэлектрических устройств для извлечения инородных объектов из тела человека методом примораживания. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48 (3): 16-25. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-3-16-25

Design of thermoelectric devices for extracting foreign objects from the human body by freezing

O.V. Evdulov, A.M. Nasrulaev, R.Sh. Kazumov

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

Abstract. Objectives. The purpose of the article is to consider the designs of thermoelectric devices (TEC) for extracting foreign objects (IO) from the human body by

freezing with various options for removing heat from the hot junctions of the thermoelectric module (TEM). **Method.** Modifications of thermoelectric devices are described for extracting the IO from the human body by freezing it to a special probe. Their technical design differs in the way of heat removal from the TEM hot junctions, for which air heat removal, melting working substances and preliminary cooling of the radiator are used. The basic relationships for calculating the technical means intended for the removal of heat from the hot junctions of the TEM are presented. **Result.** The graphs of the dependence of the temperature change of the TEM hot junctions in time are obtained for different values of its heat output when using an air heat removal system and the time of complete penetration of various working substances used in the device. **Conclusion.** The data obtained show that for the operating conditions of the TEC, the temperature of the hot junctions of the TEM with an air heat sink does not go beyond the permissible limits. With a module power of 8 W, 12 W and 16 W, the temperature of the hot junctions of thermoelements stabilizes rather quickly and takes the value of 308 K, 313 K and 318 K. maintaining their stable temperature is most preferred is nickel nitrate, less - elaidic acid and paraffin. Calculations of the design of a device with a pre-cooled radiator system also show the efficiency of heat removal from the hot junctions of the TEM for the duration of the entire procedure for removing the IO from the human body.

Keywords: foreign object, extraction, freezing, thermoelectric device, thermoelectric module, radiator, air heat removal, melting substance, preliminary cooling, design

For citation: O.V. Evdulov, A.M. Nasrulaev, R.Sh. Kazumov. Designs of thermoelectric devices for extracting foreign objects from the human body by freezing. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2021; 48 (3): 16-25. DOI: 10.21822 / 2073-6185-2021-48-3-16-25

Введение. При попадании в организм человека инородных объектов могут быть вызваны существенные дисфункции организма. В частности, болезненные ощущения, дискомфорт, воспаление и заражение близлежащих тканей, вызывающие дальнейшее нагноение и некроз. Поэтому операции по извлечению инородных объектов из тела человека являются важными и ответственными мероприятиями, качество и оперативность проведения которых напрямую влияет на здоровье и жизнь человека. Проведенный литературный обзор [1-4] показал, что в настоящее время извлечение инородных объектов (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 [5].

Методики проведения операций по извлечению посторонних тел также могут быть различными. 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 извлечение из тела человека. Анализируя данные методики 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.

Постановка задачи. 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 [6, 7]. 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 [8-12]. В Дагестанском государственном техническом университете разработан ряд конструктивных вариантов подобных ТЭУ [13, 14]. Целью настоящей статьи является рассмотрение их конструкций.

Методы исследования. Структурная схема первого конструктивного варианта прибора изображена на рис.1, а его внешний вид показан на рис.2. В нем для охлаждения горячих спаев ТЭМ используется система воздушного отвода теплоты. Устройство содержит манипулятор, изготовленный в виде полой трубки 1 из материала с низкой теплопроводностью (например, пластмасс, используемых в медицине), которая в общем случае может быть 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 которого для лучшего сцепления с извлекаемыми объектами наносится губчатое вещество 5, перед процедурой смачиваемое жидкостью. Стержень 2, выполняющий также функции воздушного теплоотвода (радиатора) с опорной поверхности ТЭМ 4 в радиальном направлении по отношению к трубке 1 может иметь оребрение 6.

Рис.1. Конструкция термоэлектрического устройства для извлечения инородного объекта из тела человека с естественным воздушным отводом теплоты от горячих спаев термоэлектрического модуля

Fig. 1. The design of a thermoelectric device for extracting a foreign object from a human body with natural air removal of heat from hot junctions of a thermoelectric module

Рис.2. Внешний вид термоэлектрического устройства для извлечения инородного объекта из тела человека с естественным воздушным отводом теплоты от горячих спаев термоэлектрического модуля

Fig. 2. External view of a thermoelectric device for extracting a foreign object from a human body with natural air removal of heat from hot junctions of a thermoelectric module

Прибор функционирует следующим образом. Перед началом процедуры отдельные части устройства 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. Оребрение 6 стержня 2 увеличивает эффективность теплосъема с опорных спаев ТЭМ 4.

Рис. 3. Конструкция термоэлектрического устройства для извлечения инородного объекта из тела человека с использованием для отвода теплоты от горячих спаев термоэлектрического модуля плавящегося рабочего вещества

Fig. 3. Design of a thermoelectric device for extracting a foreign object from a human body using a melting working substance to remove heat from hot junctions of a thermoelectric module

Рис.4. Внешний вид термоэлектрического устройства для извлечения инородного объекта из тела человека с использованием для отвода теплоты от горячих спаев термоэлектрического модуля плавящегося рабочего вещества

Fig. 4. External view of a thermoelectric device for extracting a foreign object from a human body using a thermoelectric module of a consumable working substance to remove heat from hot junctions

Повышение комфортности процедур осуществляется за счет снижения до минимума перемещений манипулятора при проведении процедур, риск обморожения - за счет изготовления манипулятора в виде полый трубки из материала с низкой теплопроводностью, теплоизолирующей близлежащие ткани от рабочей поверхности ТЭМ. Конструкция второго варианта ТЭУ представлена на рис.3, его внешний вид на рис.4. Отличительной особенностью данного устройства является использование вместо цельнометаллического стержня 2 с оребрением 6 тонкостенной емкости 8, заполненной веществом, имеющим большую теплоту плавления и температуру плавления, лежащую в пределах 310-335К (например, парафина, азотнокислого никеля, элаидиновой,

пальмитиновой кислоты, воска, кристаллического углекислого и сернокислого натрия и др.).

В данном случае будет обеспечена стабильность температуры горячих спаев ТЭМ в течение всего времени плавления рабочего вещества, а высокая продолжительность поддержания такой температуры будет обеспечиваться большим значением его теплоты плавления. При этом выбор рабочего вещества будет определяться условиями эксплуатации, к которым относятся: требуемый уровень стабилизации температуры горячих спаев ТЭМ, величина температурного перепада, получаемого в модуле, а также температура окружающей среды.

На рис.5-6 представлен третий вариант ТЭУ для извлечения ИО из тела человека, имеющего следующую особенность. В нем стержень 2 выполнен таким образом, чтобы имелась возможность накручивать на него цельнометаллический радиатор 9, предварительно охлаждаемый внешним источником холода, представляющий собой цилиндр с отверстием посередине, соответствующим диаметру стержня, с помощью резьбового соединения.

В данном случае за счет предварительного захлаживания радиатора 9 повышается интенсивность отвода теплоты от горячих спаев ТЭМ. В этом случае теплота, выделяющаяся на горячих спаях ТЭМ, будет расходоваться на увеличение температуры теплоприемника, являющегося своеобразным аккумулятором тепла.

Рис.5. Конструкция термоэлектрического устройства для извлечения инородного объекта из тела человека с использованием для отвода теплоты от горячих спаев термоэлектрического модуля предварительно захлаживаемого радиатора

Fig. 5. The design of a thermoelectric device for extracting a foreign object from a human body using a pre-cooled radiator to remove heat from hot junctions of a thermoelectric module

Рис. 6. Внешний вид ТЭУ для извлечения инородного объекта из тела человека с использованием для отвода теплоты от горячих спаев ТЭМ предварительно захлаживаемого радиатора

Fig. 6. External view of a thermoelectric device for extracting a foreign object from a human body using a pre-cooled radiator to remove heat from hot junctions of a thermoelectric module

Обсуждение результатов. Для оценки возможностей рассмотренных конструкций приборов произведен их расчет. При этом для конструкции, изображенной на рис.1-2, расчетные соотношения взяты из [15] для случая естественного теплообмена с окружающей средой. В случае же обдува теплоотводящего радиатора потоками воздуха основные соотношения, соответствующие в источнике [16].

При пренебрежении паразитными перепадами на теплопереходах модуля величина теплосъема определяется из соотношения:

$$Q_p = \frac{B\alpha_p}{C_1} \left(\ell_p \frac{F_1}{F_3} + \frac{F_2}{F_3} \right) (C_2 T_{г.ТЭМ} - T_{ср}), \quad (1)$$

где Q_p - теплота, отводимая радиатором; F_x - площадь поверхности радиаторных пластин; F_2 - площадь основания между ребрами; $F_3 = F_1 + F_2$ - полная теплообменная площадь радиатора; α_p - средний коэффициент теплоотдачи радиаторной системы; $T_{г.ТЭМ}$ - температура горячих спаев ТЭМ; B - коэффициент оребрения, равный частному от деления полной теплообменной поверхности радиатора на общую площадь основания радиатора; C_1 - коэффициент, характеризующий геометрию мест соединения радиатора с ТЭМ, определяемый как частное от деления суммарной площади горячих спаев термоэлементов на суммарную площадь горячих коммутационных пластин; C_2 - коэффициент, характеризующий тепловое сопротивление между горячими спаями ТЭМ и основанием радиаторной системы, равный частному от деления средней температуры основания ребра на температуру горячих спаев ТЭМ.

Входящая в вышеприведенную формулу величина ℓ_p является средней эффективностью ребер радиатора и определяется как

$$\ell_p = \frac{T_{p,p} - T_{ср}}{T_{o,p} - T_{ср}}, \quad (2)$$

где $T_{p,p}$ - средняя температура ребра радиатора; $T_{o,p}$ - средняя температура основания радиатора.

Средний коэффициент теплоотдачи радиаторной системы может быть определен по формуле

$$\alpha_p = \frac{Q_p}{F_3 (T_{o,p} - T_{ср}) \left(\ell_p \frac{F_1}{F_3} + \frac{F_2}{F_3} \right)}. \quad (3)$$

Как в радиаторных системах с естественно-конвекционным теплосъемом, так и с принудительным обдувом основное сопротивление тепловому потоку от ребра в окружающую среду сосредоточено в тонком пограничном слое воздуха у стенки ребра. С уменьшением толщины этого пограничного слоя увеличивается коэффициент теплоотдачи поверхности ребра. Установлено, что в теплообменных аппаратах, в которых продувается воздух, коэффициент теплообмена сильно зависит от отношения длины теплообменника к его диаметру. С уменьшением величины этого отношения коэффициент теплоотдачи возрастает за счет того, что на внутренней поверхности короткой трубы не успевает образовываться пограничный слой воздуха значительной толщины.

Поэтому, радиаторную систему с принудительным теплосъемом целесообразно выполнять в виде отдельных коротких пластинчатых ребер, расположенных линейно с разрывом друг от друга. Важной величиной, характеризующей радиаторную систему с принудительным обдувом, является гидродинамическое сопротивление трению, которое испытывает поток воздуха, движущийся вдоль пластин радиатора. Для радиаторной системы, состоящей из линейно расположенных ребер с разрывом по длине, величина гидродинамического сопротивления определяется из выражения:

$$\eta = \frac{\Delta H_{\text{ст}}}{(W_{\gamma})^2}, \quad (4)$$

где $\Delta H_{\text{ст}}$ – перепад статического давления на входе и выходе радиатора; W_{γ} – весовая скорость воздуха, равная

$$W_{\gamma} = \frac{G}{3600f}, \quad (5)$$

где f – суммарная площадь проходного сечения радиатора; G – массовый расход воздуха.

Применяя приведенные выражения, может быть осуществлен конструктивный расчет системы съема теплоты с горячих спаев ТЭМ, используемого в модификации ТЭУ для извлечения ИО из тела человека в полном объеме. На рис.7 изображена зависимость изменения температуры горячих спаев ТЭМ $T_{\text{г.ТЭМ}}$ во времени при различных значениях теплопроизводительности ТЭМ $Q_{\text{г.ТЭМ}}$.

Рис.7. Зависимость изменения температуры горячих спаев ТЭМ во времени при различных значениях $Q_{\text{г.ТЭМ}}$: 1 - $Q_{\text{г.ТЭМ}}=8$ Вт, 2 - $Q_{\text{г.ТЭМ}}=12$ Вт, 3 - $Q_{\text{г.ТЭМ}}=16$ Вт
Fig.7. Time dependence of the temperature change of the hot junctions of TEM at different values of $Q_{\text{г.ТЭМ}}$: 1 - $Q_{\text{г.ТЭМ}}=8$ W, 2 - $Q_{\text{г.ТЭМ}}=12$ W, 3 - $Q_{\text{г.ТЭМ}}=16$ W

Приведенные графики показывают, что для условий эксплуатации ТЭУ температура горячих спаев ТЭМ не выходит за допустимые пределы.

При мощности модуля равной 8Вт, 12Вт и 16Вт температура горячих спаев термоэлементов достаточно быстро стабилизируется и принимает значение 308К, 313К и 318К. Для оценки продолжительности поддержания стабильной температуры горячих спаев ТЭМ для второй модификации устройства может быть использовано соотношение [17]:

$$\tau_{\text{рв}} = \frac{v_{\text{рв}} \rho_{\text{рв}} V_{\text{рв}}}{Q_{\text{г.ТЭМ}}}, \quad (6)$$

где $v_{\text{рв}}$, $\rho_{\text{рв}}$, $V_{\text{рв}}$ – скрытая теплота плавления, плотность и объем плавящегося рабочего вещества.

На рис.8 показаны графики зависимости продолжительности полного проплавления различных типов рабочих веществ от мощности, выделяемой на горячих спаях ТЭМ при $V_{\text{пв}}=4,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$. Согласно представленным данным, с точки зрения продолжительности

поддержания стабильной температуры горячих спаев ТЭМ, наиболее предпочтительным является азотнокислый никель, менее – элаидиновая кислота и парафин.

Рис. 8. Зависимость времени полного проплавления различных рабочих веществ от $Q_{г.ТЭМ}$ 1 - парафин, 2 - элаидиновая кислота, 3 - азотнокислый никель

Fig. 8. Dependence of the time of complete penetration of various working substances on $Q_{г.ТЭМ}$ 1 - paraffin, 2 - elaidic acid, 3 - nickel nitrate

Однако температура плавления азотнокислого никеля (329,7К) заметно превышает соответствующее значение температуры элаидиновой кислоты (318К) и парафина (316К).

Поэтому в данных условиях необходима предварительная оценка продолжительности эксплуатации прибора и критичности надежности работы устройства к повышению температуры горячих спаев ТЭМ. И уже после этого может осуществляться подбор типа рабочего вещества и его количества. В первом приближении для количественной оценки основных параметров предварительно захлаживаемой радиаторной системы для третьего конструктивного варианта ТЭУ можно пренебречь теплообменом радиатора с окружающей средой, изменением теплоемкости с температурой и изменением со временем количества тепла, поступающего от ТЭМ к теплоприемнику [18]. В этом случае решение задачи значительно упрощается и для определения массы захлаживаемого радиатора можно с достаточной степенью точности использовать соотношение [19]:

$$m_p = \frac{Q_{г.ТЭМ} \tau}{c_p \Delta T_p}, \quad (7)$$

где m_p – масса радиатора, c_p – теплоемкость радиатора; τ – время, в течение которого должна работать система; ΔT_p – изменение температуры радиатора за время τ .

Здесь следует отметить, что приведенное соотношение справедливо при условии, что $\tau > \tau_0$, где τ_0 – величина, зависящая от геометрических размеров и некоторых физических параметров материала радиатора:

$$\tau_0 = \frac{L_p^2 c_p \rho_p}{\lambda_p}, \quad (8)$$

где λ_p – теплопроводность; ρ_p – плотность; L_p – определяющий линейный размер радиатора.

Расчеты данной конструкции устройства с предварительно захлаживаемой радиаторной системой, как и в предыдущих случаях, показывают эффективность отвода

теплоты от горячих спаев ТЭМ на время всей процедуры извлечения ИО из тела человека [20].

Вывод. В настоящее время разработка технических средств и процедур, связанных с извлечением ИО из тела человека, является актуальной и практически значимой. Рассмотрен метод извлечения ИО из полости организма человека посредством его примораживания к ТЭУ. Описаны модификации устройств, предназначенных для его реализации. Их техническое исполнение отличается способом отвода теплоты от горячих спаев ТЭМ, для чего применяется воздушный теплоотвод, плавящиеся рабочие вещества и предварительное захлаживание радиатора. Приведены основные соотношения для расчета технических средств, предназначенных для съема теплоты с горячих спаев ТЭМ.

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. Kalyanasundaram, R. An unusual foreign body in the nasal cavity / R. Kalyanasundaram [et al.] // International journal of otolaryngology and head & neck surgery. - 2014. - №3. - P. 267-270.
5. 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.
6. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual / P. Pasquali. - New York: Springer, 2015. - 441 p.
7. 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.
8. Евдулов, О.В. Экспериментальное исследование термоэлектрического устройства для внутриполостной гипотермии / О.В. Евдулов, Н.А. Набиев, С.Г. Магомедова, К.А. Магомедова // Холодильная техника. - 2019. - № 4. - С.31-35.
9. Евдулов, О.В. Термоэлектрическое устройство для остановки кровотечения / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Т.А. Рагимова, Н.А. Набиев // Медицинская техника. - 2019. - №2. - С. 12-14.
10. Yevdulov, O.V. Device for stopping bleeding by local freezing of the blood flow zone / O.V. Yevdulov, Sh.A. Yusufov, N.A. Nabiev // Refrigeration science and technology: 3rd IIR Conference on cold applications in life sciences - cryotherapy and cryopreservation, proceedings. - 2018. - Vol.3. - pp.68-73.
11. Yevdulov, O.V. Investigation of thermoelectric system for local freezing of tissues of the larynx / O.V. Yevdulov, T.A. Ragimova // Journal of Thermoelectricity. - 2015. - № 2. -pp. 86-91.
12. Исмаилов, Т.А. Модель термоэлектрического устройства для теплового воздействия на рефлексогенные зоны / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Н.А. Набиев, С.Г. Магомедова // Медицинская техника. - 2020. - №1. - С. 40-43.
13. Исмаилов, Т.А. Математическое моделирование и теоретические исследования термоэлектрической системы для извлечения инородных объектов из тела человека методом примораживания / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, А.М. Насрулаев // Вестник Международной академии холода. - 2021. - №1. - С. 94-101.
14. Исмаилов, Т.А. Математическая модель термоэлектрического устройства для извлечения инородных объектов из тела человека методом примораживания / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, А.М. Насрулаев // Медицинская техника. - 2021. - №3. - С. 49-52.
15. Александров, А.А., Теплотехника. / А.А. Александров, А.М. Архаров, И.А. Архаров, [и др.]. - М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. - 880 с.
16. 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.
17. Алексеев, В.А. Основы проектирования тепловых аккумуляторов космических аппаратов / В.А. Алексеев. - Курск: Научком, 2016. - 248 с.
18. Дульнев, Г.Н. Теория тепло- и массообмена / Г.Н. Дульнев. - СПб.: СПбНИУИТМО, 2012. - 195 с.
19. Теория теплообмена / Под. ред. А.И. Леонтьева. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. - 464 с.
20. Жердев, А.А. Исследование характеристик криозондов при различных режимах работы / А.А. Жердев, А.В. Шакуров, А.В. Пушкарев, [и др.] // Медицинская техника. - 2016. - №5. - С. 41-44.

References:

1. 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.

2. Blotsky, A.A. Emergencies in otorhinolaryngology / A.A. Blotsky, S.A. Karpishchenko. SPb.: Dialogue, 2016; 203.
3. Yunusov, A.S. Epidemiology of foreign bodies in the nasal cavity in a large metropolis / A.S. Yunusov, et al. [Rossiyskaya otorinolaringologiya] *Russian otorhinolaryngology*. 2017; 5: 83-87.
4. Kalyanasundaram, R. An unusual foreign body in the nasal cavity / R. Kalyanasundaram [et al.] // *International journal of otolaryngology and head & neck surgery*. 2014; 3: 267-270.
5. 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 [Detskaya khirurgiya] *Pediatric surgery*. 2013; 2: 52-53.
6. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual / P. Pasquali. New York: Springer, 2015; 441.
7. 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. [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki] *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2019; 46(1): 32-41.
8. Evdulov, O. V. Experimental study of a thermoelectric device for intracavitary hypothermia / O.V. Evdulov, N.A. Nabiev, S.G. Magomedov, K.A. Magomedova. [kholodil'naya tekhnika] *Refrigeration equipment*. 2019; 4: 31-35.
9. Evdulov, O.V. Thermoelectric device for stopping bleeding / T.A. Ismailov, O. V. Evdulov, T.A. Ragimova, N.A. Nabiev. *Medical technology*. 2019; 2:12-14.
10. Yevdulov, O.V. Device for stopping bleeding by local freezing of the blood flow zone / O.V. Yevdulov, Sh.A. Yusufov, N.A. Nabiev. *Refrigeration science and technology: 3rd IIR Conference on cold applications in life sciences - cryotherapy and cryopreservation, proceedings*. 2018; 3:68-73.
11. Yevdulov, O.V. Investigation of thermoelectric system for local freezing of tissues of the larynx / O.V. Yevdulov, T.A. Ragimova. *Journal of Thermoelectricity*. 2015; 2: 86-91.
12. Ismailov, T.A. Model of thermoelectric device for thermal impact on reflexogenic zones / T.A. Ismailov, O.V. Evdulov, N.A. Nabiev, S.G. Magomedova. *Medical technology*. 2020; 1: 40-43.
13. Ismailov, T.A. Mathematical modeling and theoretical studies of the thermoelectric system for extracting foreign objects from the human body by freezing method. Ismailov, O.V. Evdulov, A.M. Nasrulaev. [Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda] *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*. 2021;1: 94-101.
14. Ismailov, T.A. Mathematical model of a thermoelectric device for extracting foreign objects from the human body by freezing method / T.A. Ismailov, O.V. Evdulov, A.M. Nasrulaev. *Medical technology*. 2021; 3: 49-52.
15. Alexandrov, A.A., Heat engineering. / A.A. Alexandrov, A.M. Arkharov, I.A. Arkharov, [and others]. M.: MSTU im. N.E. Bauman, 2017; 880.
16. 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.
17. Alekseev V.A. Fundamentals of designing heat accumulators for space vehicles / V.A. Alekseev. Kursk: Naukom, 2016; 248 p.
18. Dulnev G.N. Theory of heat and mass transfer / G.N. Dulnev. SPb.: SPbNIUITMO. 2012; 195.
19. Theory of heat and mass transfer / Under. ed. A.I. Leontyev. M.: MGTU im. N.E. Bauman, 2018. 464 p.
20. Zherdev A.A. Investigation of the characteristics of cryoprobes at different operating modes / A.A. Zherdev, A.V. Shakurov, A.V. Pushkarev, [and others] *Medical technology*. 2016; 5: 41-44.

Сведения об авторах:

Евдулов Олег Викторович, доктор технических наук, доцент, 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.

Казумов Ревшан Шихович, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники, e-mail: kazumov.rev@yandex.ru.

Information about the authors:

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

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

Revshan Sh. Kazumov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Theoretical and General Electrical Engineering, e-mail: kazumov.rev@yandex.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 23.08.2021.

Одобрена после рецензирования/ Revised 30.08.2021.

Принята в печать/Accepted for publication 01.09.2021.