

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2025-52-2-18-26



Оригинальная статья /Original article

**Охлаждающее термоэлектрическое устройство для лечения повреждений
позвоночника и спинного мозга**

О.В. Евдулов^{1,2}, С.Г. Гасанова¹, Г.А. Муталипова¹

¹Дагестанский государственный технический университет,

¹367015, г. Махачкала, проспект Имама Шамиля 70, Россия,

²Дагестанский государственный университет,

²367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 43-а, Россия

Резюме. Целью исследования является разработка охлаждающего термоэлектрического устройства (ТЭУ) для физиотерапевтических методов лечения повреждений позвоночника и спинного мозга, основанных на локальной гипотермии. **Метод.** Применены методы термодинамического анализа, натурного и вычислительного моделирования объектов криогенной техники. Целесообразным является применение охлаждающих ТЭУ, обладающих такими свойствами, как надежность, экологичность, бесшумность, функциональность и компактность. **Результат.** Предложена сегментарная конструкция охлаждающего ТЭУ, в состав одного сегмента которой входит теплоотводящее ребро, охлаждаемое ТЭМ, приводимое в тепловой контакт с травмированной областью позвоночника, непосредственно ТЭМ и радиатор для отвода теплоты от него. При необходимости используются несколько сегментов устройства, крепящиеся между собой с помощью специального приспособления. В процессе работы ТЭУ все радиаторы обдуваются вентиляторным агрегатом. Получены зависимости и построены графики, описывающие основные характеристики ТЭУ: изменение холодопроизводительности ТЭМ, холодильного коэффициента, напряжения питания от перепада температур между спаями термоэлементов для различных значений силы тока питания, зависимость напряжения на ТЭМ от величины тока питания при различных значениях перепада температур между спаями термоэлементов, а также зависимость холодильного коэффициента ТЭМ от тока питания. Графики представлены при температуре горячих спаев ТЭМ 45°C. **Вывод.** Для проведения лечебных процедур, связанных с локальной гипотермией травмированной области позвоночника может быть использован ТЭМ DRIFT-1,2 производства ООО «Криотерм», г. Санкт-Петербург. Параметры ТЭМ: рабочий диапазон мощностей единичного ТЭМ - от 37 до 60 Вт при среднем перепаде температур между спаями 35 К, ток питания - от 4,8 до 8,2 А при потребляемой мощности от 90 до 260 Вт, холодильный коэффициент - от 0,25 до 0,6.

Ключевые слова: локальная гипотермия, термоэлектрическое устройство, термоэлектрический модуль, холодопроизводительность, конструкция

Для цитирования: О.В. Евдулов, С.Г. Гасанова, Г.А. Муталипова. Охлаждающее термоэлектрическое устройство для лечения повреждений позвоночника и спинного мозга. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025;52(2):18-26. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-2-18-26

Cooling thermoelectric device for the treatment of injuries of the spine and spinal cord

O.V. Evdulov^{1,2}, S.G. Gasanova¹, G.A. Mutalipova¹

¹Daghestan State Technical University,

¹70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367015, Russia,

²Daghestan State University,

²43-a M. Gadzhieva St., Makhachkala 367000, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to develop a cooling thermoelectric device for physiotherapeutic methods of treating spine and spinal cord injuries based on local hypothermia. **Method.** Methods of thermodynamic analysis, natural and computational modeling of cryogenic equipment are applied. It is advisable to use cooling TEUs that have the following properties: reliability, environmental friendliness, noiselessness, functionality and compactness. **Result.** A segmental design of a cooling TEU is proposed, one segment of which includes a heat-dissipating rib cooled by a TEU, brought into thermal contact with the injured area of the spine, a TEU and a radiator for removing heat from it. Several segments of the device are used, which are attached to each other using a special device. During CTED operation, all radiators are blown by a fan unit. The dependencies were obtained and graphs were constructed describing the main characteristics of the TEU: change in the refrigeration capacity of the TEM, the coefficient of performance, supply voltage from the temperature difference between the junctions of the thermoelements for different values of the supply current, the dependence of the voltage on the TEM on the supply current at different values of the temperature difference between the junctions of the thermoelements, as well as the dependence of the coefficient of performance of the TEM on the supply current. The graphs are presented at a temperature of the hot junctions of the TEM of 45 °C. **Conclusion.** The DRIFT-1.2 TEM manufactured by Krioterm LLC, St. Petersburg, can be used. TEM parameters: operating power range of a single TEM is from 37 to 60 W with an average temperature difference between junctions of 35 K, supply current is from 4.8 to 8.2 A with a power consumption of 90 to 260 W, cooling coefficient is from 0.25 to 0.6.

Keywords: local hypothermia, thermoelectric device, thermoelectric module, cooling capacity, design

For citation: O.V. Evdulov, S.G. Gasanova, G.A. Mutalipova. Cooling thermoelectric device for the treatment of injuries of the spine and spinal cord. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025;52(2):18-26. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-2-18-26

Введение. В настоящее время одной из приоритетных задач развития медицины в Российской Федерации является переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе опирающимся на создание новых технических средств и методик их реализации для лечения различных заболеваний. Большое внимание уделяется использованию приборов и систем, реализующих физиотерапевтические методы лечения, основанные на применении разнообразных физических факторов. Данные методы активно применяются в консервативной терапии и обладают такими достоинствами, как высокая эффективность, возможность подключения внутренних резервов организма, универсальность действия, хорошая совместимость с другими лечебными средствами (например, медикаментозными), физиологичность, длительное последствие и т.п.

Одной из возможных и целесообразных областей применения физиотерапии является лечение повреждений позвоночника и отека спинного мозга. Проблема лечения больных, перенесших позвоночно-спинальную травму, является одной из самых сложных. Восстановление функций, утраченных вследствие повреждений позвоночника и спинного мозга, имеет не только медико-биологическое, но и социально-экономическое значение. В комплексе реабилитационных мероприятий при травматической болезни спинного мозга физиотерапии отводится основная роль.

Постановка задачи. Целью исследования является изучение физиотерапевтических методов лечения повреждений позвоночника и спинного мозга, в частности, основанных на локальной гипотермии, разработка охлаждающего термоэлектрического устройства (ТЭУ) для их реализации.

Методы исследования. Проведен обзор литературных источников, посвященных

лечению повреждений позвоночника и спинного мозга с помощью физиотерапевтических методов. Согласно проведенным исследованиям определено, что на сегодняшний день для лечения повреждений позвоночника используются такие методы физиотерапии, как механический массаж и гидромассаж, фонофорез, гальванизация, электрофорез, применение УФ излучения и СВЧ излучения, теплового воздействия, лазерная терапия, лечение магнитным полем и ультразвуком [1-4]. При этом в подавляющем числе случаев для предотвращения и лечения прогрессирующего отека спинного мозга, наблюдающегося после выполнения хирургических операций на позвоночнике, применяется локальная гипотермия. Положительные эффекты искусственной гипотермии описаны многими исследователями, которые обосновывали полученные положительные результаты увеличением толерантности ткани мозга к ишемии и гипоксии, уменьшением отека, снижением метаболической активности в поврежденных сегментах спинного мозга [5-8]. Так в случае локальной гипотермии при достижении температуры пораженной области спинного мозга 26-27 °С общее потребление кислорода тканями снижается на 40%, потребление кислорода мышцей сердца уменьшается на 50%, мозгом - на 33%, такое влияние метода обусловлено снижением метаболических процессов и уменьшением потребностей клеточных структур в кислороде. Все это ведет к интенсификации процесса выздоровления.

Для проведения процедур, связанных с локальным охлаждением травмированных областей позвоночника, применяются такие средства, как холодные компрессы, аппликаторы, криопакеты, криогели, зонды, охлаждаемые парокомпрессионными и абсорбционными установками, криосистемы, работающие на основе жидкого азота и других хладагентов [9, 10]. Их недостатками являются низкая эффективность и дискомфортность, сложность и неудобство в реализации, недостаточная точность дозировки охлаждающего воздействия, необходимость обязательного наличия криоагента, находящегося в специальном хранилище, значительные габаритные размеры, невозможность использования различных температурных режимов при проведении теплового воздействия.

В этих условиях, несмотря на то, что применение локального охлаждения при лечении заболеваний позвоночника имеет широкие возможности благодаря перечисленным преимуществам, на сегодняшний день техническая реализация такого воздействия остается на недостаточном уровне. Поэтому представляет интерес разработка новой аппаратуры для реализации лечебных процедур, связанных с локальной гипотермией поврежденных областей позвоночника.

В качестве таких технических средств перспективным является использование охлаждающих термоэлектрических приборов и устройств, позволяющих с высокой эффективностью осуществлять тепловое воздействие, отличающихся высокой надежностью работы, малыми габаритными размерами и высокой экологичностью, практически неограниченным ресурсом эксплуатации [11-16]. При этом необходимо отметить, что в данном направлении в настоящее время имеется существенный недостаток исследований, связанных с аппаратной частью охлаждающих средств, оптимизации их характеристик в соответствии со специфическими условиями эксплуатации. Это обстоятельство и определяет актуальность проведения исследований приборов данного типа.

При проведении локальной гипотермии поврежденной области позвоночника целесообразно использовать сегментарную конструкцию охлаждающего ТЭУ (рис. 1). В ней каждый сегмент включает в себя теплоотводящее ребро 1, имеющее ровную и изогнутую поверхности, выполненное либо цельнометаллическим (например из меди с титановым покрытием), либо в виде тепловой трубы с внутренней капиллярной структурой [17] (внешняя оболочка тепловой трубы также изготавливается из меди с титановым покрытием).

На ровную поверхность теплоотводящего ребра с обеспечением прочного механического и теплового контакта устанавливаются теплопоглощающими спаями термоэлектриче-

ский модуль (ТЭМ) 2, тепловыделяющие спаи которого сопрягаются с радиатором 3, питаемый энергией от управляемого источника постоянного электрического тока.

В зависимости от площади травмированной области могут использоваться несколько сегментов устройства, крепящиеся между собой с помощью специального приспособления. Например, это можно реализовать за счет применения в конструкции специальных колец 4, крепящихся по бокам теплоотводящего ребра, через которые при использовании нескольких сегментов пропускается стягивающий стержень. В процессе работы охлаждающего ТЭУ все радиаторы обдуваются вентиляторным агрегатом.

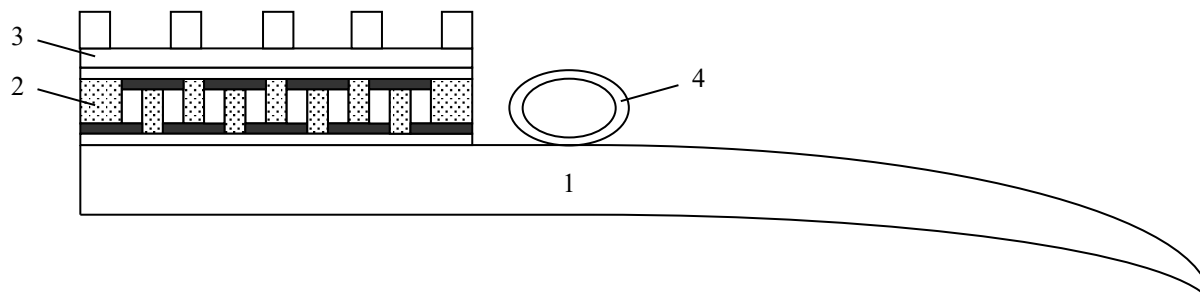


Рис. 1 - Структурная схема охлаждающего ТЭУ для лечения повреждений позвоночника и спинного мозга

Fig. 1 - Structural diagram of a cooling TEU for the treatment of spinal and spinal cord injuries

При лечении необходимое число сегментов в охлаждающем ТЭУ крепятся на теле пациента, а изогнутая часть теплоотводящего ребра приводится в тепловой контакт с травмированной областью позвоночника, причем сопряжение может осуществляться как через кожу, так и путем введения теплоотводящего ребра под ствол спинного мозга.

При пропускании через ТЭМ постоянного электрического тока, теплоотводящее ребро охлаждается и тем самым осуществляет локальную гипотермию участка позвоночника и спинного мозга. Для обеспечения надежной работы охлаждающего ТЭУ необходимо использование эффективных ТЭМ, которые могут обеспечить необходимый тепловой режим воздействия в соответствии с медицинским назначением.

Обсуждение результатов. Произведен расчет и подбор ТЭМ, которые могут обеспечить глубину охлаждения травмированного участка позвоночника в диапазоне от 25-28 °С, что удовлетворяет существующим медицинским рекомендациям. Основные параметры охлаждающего ТЭУ определены на основе инженерных расчетов, которые произведены с использованием программного комплекса Thermoelectric system calculation, (разработчик ООО «Криотерм», г. Санкт-Петербург) [18].

Установлено, что в качестве источника холода в устройстве целесообразно использовать ТЭМ типа DRIFT-1,2 производства этой же компании, характеристики которого приведены на рис. 2-6.

Они представляют собой зависимости холодопроизводительности ТЭМ $P_{\text{ТЭМ}}$, холодильного коэффициента ϵ , напряжения питания $U_{\text{ТЭМ}}$ от изменения перепада температур между его спаями $\Delta T_{\text{ТЭМ}}$ для различных значений силы тока питания $I_{\text{ТЭМ}}$, зависимость напряжения на ТЭМ от изменения силы тока питания при различных значениях перепада температур между его спаями, а также зависимость холодильного коэффициента ТЭМ от тока питания.

Графики представлены при температуре горячих спаев ТЭМ 45° С. Рабочий диапазон холодопроизводительности ТЭМ находится в пределах 37-60 Вт при среднем перепаде температур между спаями 35 К, ток питания составляет 4,8-8,2 А при потребляемой мощности 90-260 Вт. Холодильный коэффициент изменяется в пределах от 0,25 до 0,6.

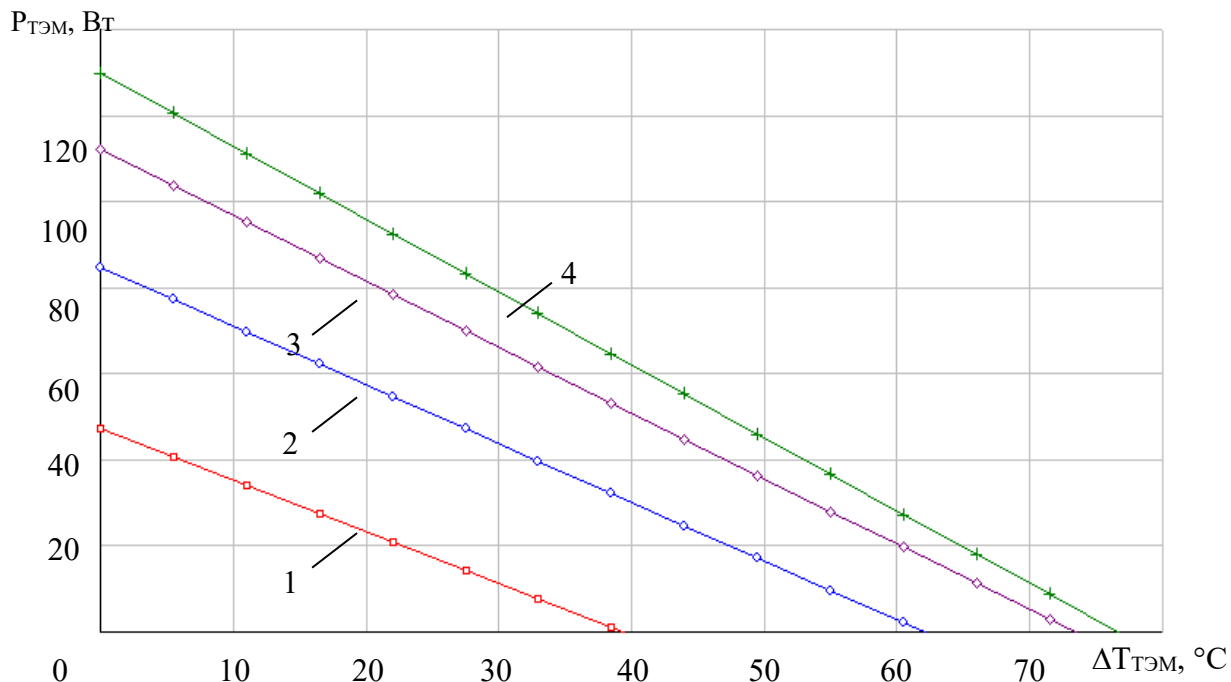


Рис. 2 - Зависимость холодопроизводительности ТЭМ от изменения перепада температур между его спаями при различных значениях силы тока питания:

1 - $I_{\text{ТЭМ}}=2,25$ А, 2 - $I_{\text{ТЭМ}}=4,5$ А, 3 - $I_{\text{ТЭМ}}=6,26$ А, 4 - $I_{\text{ТЭМ}}=9$ А

Fig. 2 - Dependence of the refrigeration capacity of the TEM on the change in the temperature difference between its junctions at different values of the supply current:

1 - $I_{\text{ТЕМ}}=2.25$ А, 2 - $I_{\text{ТЕМ}}=4.5$ А, 3 - $I_{\text{ТЕМ}}=6.26$ А, 4 - $I_{\text{ТЕМ}}=9$ А

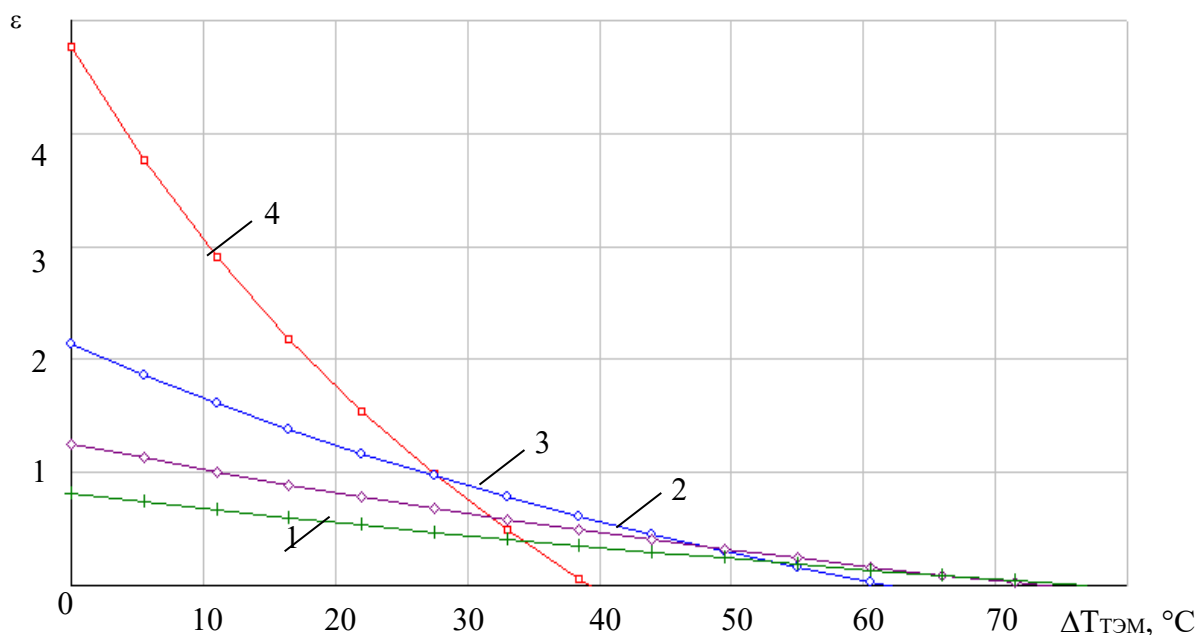


Рис. 3 - Зависимость холодильного коэффициента ТЭМ от изменения перепада температур между его спаями при различных значениях силы тока питания:

1 - $I_{\text{ТЭМ}}=2,25$ А, 2 - $I_{\text{ТЭМ}}=4,5$ А, 3 - $I_{\text{ТЭМ}}=6,26$ А, 4 - $I_{\text{ТЭМ}}=9$ А

Fig. 3 - Dependence of the refrigeration coefficient of the TEM on the change in the temperature difference between its junctions at different values of supply current:

1 - $I_{\text{ТЕМ}}=2.25$ А, 2 - $I_{\text{ТЕМ}}=4.5$ А, 3 - $I_{\text{ТЕМ}}=6.26$ А, 4 - $I_{\text{ТЕМ}}=9$ А

$U_{ТЭМ}$, В

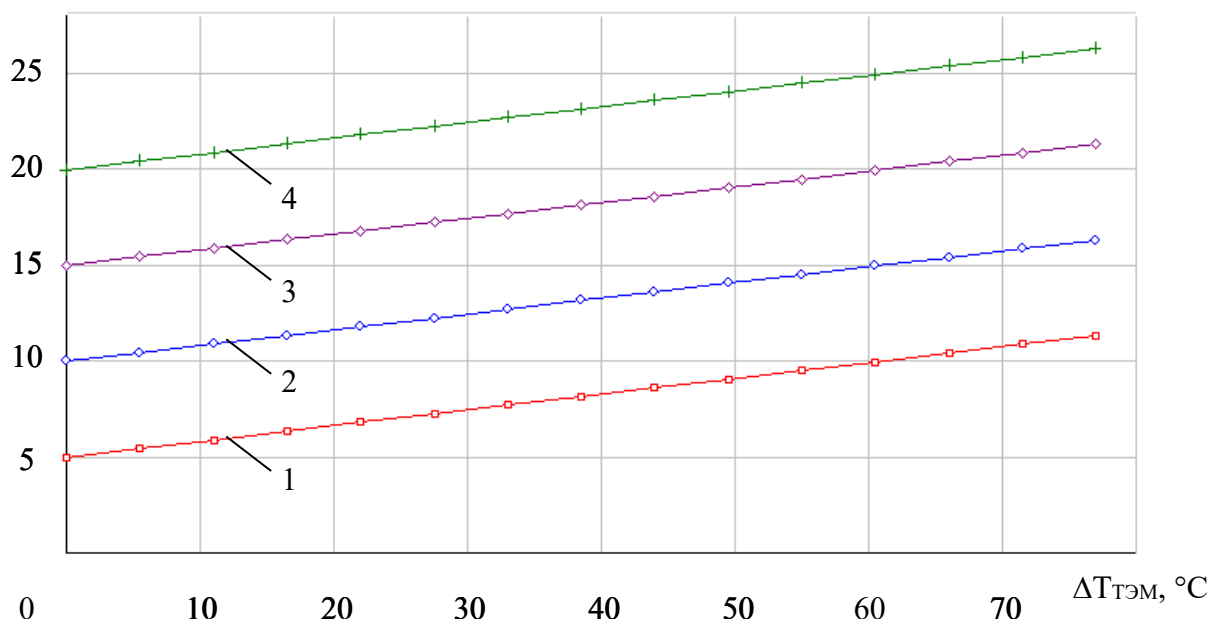


Рис. 4 - Зависимость напряжения питания ТЭМ от изменения перепада температур между его спаями при различных значениях силы тока питания:

1 - $I_{ТЭМ}=2,25$ А, 2 - $I_{ТЭМ}=4,5$ А, 3 - $I_{ТЭМ}=6,26$ А, 4 - $I_{ТЭМ}=9$ А

Fig. 4 - Dependence of the supply voltage of the TEM on the change in the temperature difference between its junctions at different values of the supply current:

1 - $I_{ТЕМ}=2.25$ А, 2 - $I_{ТЕМ}=4.5$ А, 3 - $I_{ТЕМ}=6.26$ А, 4 - $I_{ТЕМ}=9$ А

$U_{ТЭМ}$, В

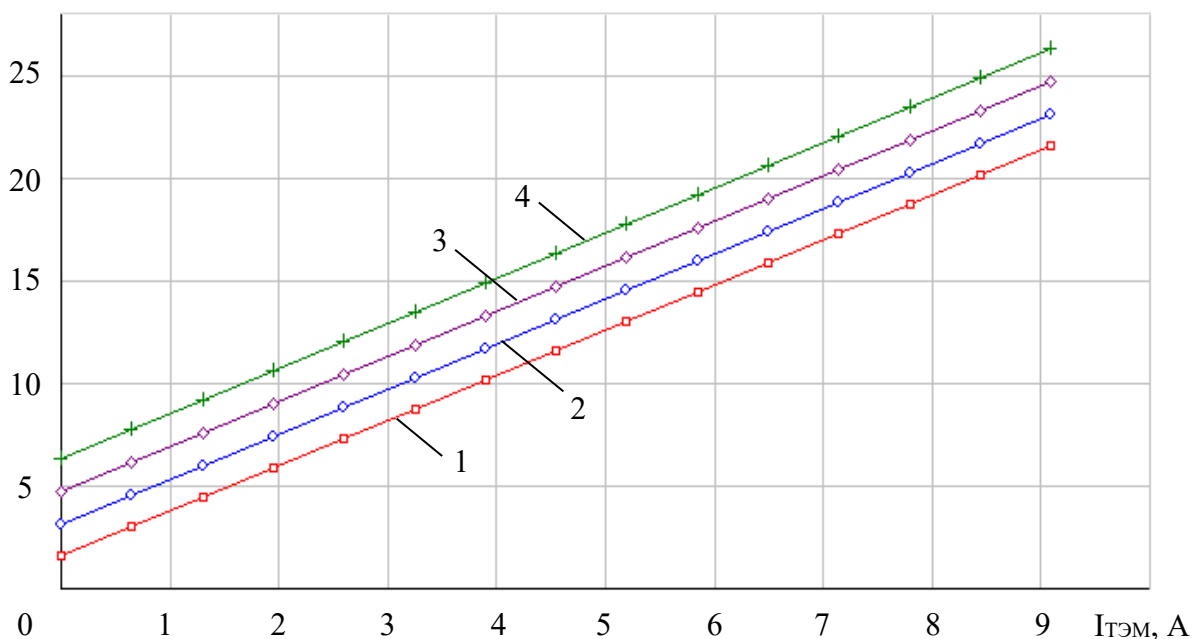


Рис. 5 - Зависимость напряжения ТЭМ от изменения величины тока питания при различных значениях перепада температур между его спаями:

1- $\Delta T_{ТЭМ}=19,25$ К, 2- $\Delta T_{ТЭМ}=38,5$ К, 3 - $\Delta T_{ТЭМ}=57,75$ К, 4 - $\Delta T_{ТЭМ}=77$ К

Fig. 5 - Dependence of the TEM voltage on the change in the supply current at different values of the temperature difference between its junctions:

1 - $\Delta T_{ТЭМ}=19.25$ К, 2 - $\Delta T_{ТЭМ}=38.5$ К, 3 - $\Delta T_{ТЭМ}=57.75$ К, 4 - $\Delta T_{ТЭМ}=77$ К

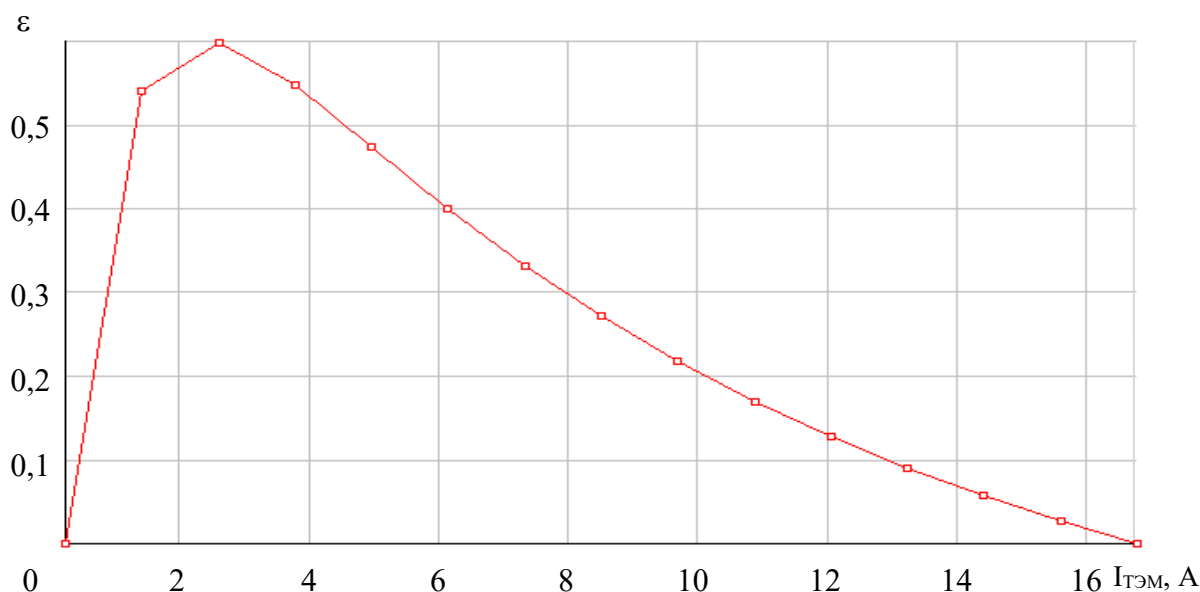


Рис. 6 - Зависимость холодильного коэффициента ТЭМ от тока питания
Fig. 6 - Dependence of the refrigeration coefficient of the TEM on the supply current

Представленная в статье конструкция позволяет обеспечить локальную гипотермию травмированной области позвоночника и спинного мозга в необходимых пределах. Рассмотренная конструкция охлаждающего ТЭУ будет обладать незначительными габаритными размерами, высокой точностью дозирования теплового потока, обеспечивать бесшумность, высокий ресурс работы и экологичность.

Вывод. Определено, что целесообразным для лечения данного заболевания является применение охлаждающих ТЭУ, обладающих такими свойствами, как надежность работы, экологичность, бесшумность, функциональность и компактность.

Предложена сегментарная конструкция охлаждающего ТЭУ, в состав одного сегмента которой входит теплоотводящее ребро, охлаждаемое ТЭМ, приводимое в тепловой контакт с травмированной областью позвоночника, непосредственно ТЭМ и радиатор для отвода теплоты от него.

При необходимости используются несколько сегментов устройства, крепящиеся между собой с помощью специального приспособления. В процессе работы охлаждающего ТЭУ все радиаторы обдуваются вентиляторным агрегатом.

На основе расчетов в специализированном программном комплексе определен тип ТЭМ, который можно использовать в разработанной конструкции.

Установлено, что для проведения лечебных процедур, связанных с локальной гипотермией травмированной области позвоночника может быть использован ТЭМ DRIFT-1,2 производства ООО «Криотерм», г. Санкт-Петербург.

Параметры ТЭМ следующие: рабочий диапазон мощностей единичного ТЭМ - от 37 до 60 Вт при среднем перепаде температур между спаями 35 К, ток питания - от 4,8 до 8,2 А при потребляемой мощности от 90 до 260 Вт, холодильный коэффициент - от 0,25 до 0,6.

Библиографический список:

1. Зубкова С.М. Роль тепловой компоненты в лечебном действии физических факторов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2011. № 6. С.3-10.
2. Пономаренко Г.Н. Восстановительная медицина: фундаментальные основы и перспективы развития // Физическая и реабилитационная медицина. 2022. т. 4, № 1. С.8-20.
3. Боголюбов В.М. [и др.] Техника и методики физиотерапевтических процедур. М.:Бином, 2017. 464 с.
4. Ежов В.В. Физиотерапия и физиопрофилактика как методы и средства сохранения и восстановления здоровья // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2011. № 4. С.33-36.
5. Тумакаев Р.Ф. Гипотермия спинного мозга // Вопросы нейрохирургии. 2010. № 2. С. 51-54.
6. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual. New York: Springer, 2015. 441 p.

7. Цыганов Д.И. Криомедицина: процессы и аппараты. М.: САЙНС-ПРЕСС, 2011. 304 с.
8. Пат. 2681261 Российская Федерация, МПК А61В17/56. Устройство для лечения повреждений позвоночника и отека спинного мозга /Доценко И.А.; № 2017144747, заявл. 19.12.2017; опубл. 05.03.2019, Бюл. № 7.
9. Баранов А.Ю., Василенок А.В., Соколова Е.В., Чубова С.Д., Зиявидинов А.М. Выбор альтернативного криоагента для покрытия тепловой нагрузки в установке для общего криотерапевтического воздействия // Вестник Международной академии холода. 2022. № 1. С.76-82.
10. Будрик В.В. Основы криотерапии, криохирургии и криоконсервации. М: Лика, 2014. 190 с.
11. Assylbekova L., Aldiyarov N., Yevdulov O., Kuldeev N. Mathematical modeling of thermophysical processes in a thermoelectric device for cooling the brain // BioNanoScience. 2024. Vol. 14. P.1428-1441.
12. Евдулов О.В. Разработка устройств и систем для охлаждения на основе сильноточных термоэлектрических преобразователей энергии: специальность 05.04.03 «Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Евдулов Олег Викторович, 2019. 330 с.
13. Евдулов О.В., Евдулов Д.В., Исабекова Т.И., Аминов Г.И., Аминова И.Ю. Математическая модель термоэлектрического устройства для лечения панариция методом местной гипотермии // Медицинская техника. 2022. № 2. С. 51-54.
14. Hu B., Shi X.-L., Chen Z.-G., Zou J. Thermoelectrics for medical applications: progress, challenges and perspectives // Chemical engineering journal. 2022. Vol. 437. P.135268.
15. Zaferani S.H., Ghomashchi R., Sams M.W., Chen Z.-G. Thermoelectric coolers as thermal management systems for medical application: design, optimization and advancement // Nano energy. 2021. Vol. 90. P. 106572.
16. 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. т. 46, № 1. С. 32-41.
17. Пат. 2382617 Российская Федерация, МПК А61В18/02. Термоэлектрическое устройство для локальной гипотермии спинного мозга / Исмаилов Т.А., Рагимова Т.А., Исмаилов Р.Т.; № 2008129494, заявл. 17.07.2008; опубл. 27.02.2010, Бюл. № 6.
18. <http://www.kryotherm.ru> (дата доступа 26.03.2025).

References:

1. Zubkova S.M. The role of the thermal component in the therapeutic effect of physical factors. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2011;6:3-10. (In Russ.)
2. Ponomarenko G.N. Restorative medicine: fundamental principles and development prospects. *Physical and rehabilitation medicine*. 202; 4(1):8-20. (In Russ.)
3. Bogolyubov V.M. [et al.] Technique and methods of physiotherapeutic procedures. Moscow: Binom, 2017. 464 p. (In Russ.)
4. Yezhov V.V. Physiotherapy and physioprevention as methods and means of maintaining and restoring health. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2011;4:33-36. (In Russ.)
5. Tumakaev R.F. Spinal cord hypothermia. *Neurosurgical issues*. 2010; 2:51-54. (In Russ.)
6. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual. New York: Springer, 2015. 441 p.
7. Tsyganov, D.I. Cryomedicine: processes and devices. Moscow: SCIENCE-PRESS, 2011. 304 p. (In Russ.)
8. Patent. 2681261 Russian Federation, IPC A61B17/56. Device for the treatment of spinal injuries and spinal cord edema. Dotsenko I.A.; No. 2017144747, declared 12/19/2017; publ. 05.03.2019, Bulletin No.7. (In Russ.)
9. Baranov A.Yu., Vasilenok A.V., Sokolova E.V., Chubova S.D., Ziyavidinov A.M. Selection of an alternative cryoagent to cover the heat load in a unit for general cryotherapeutic action. *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*. 2022;1:76-82. (In Russ.)
10. Budrik V.V. Fundamentals of cryotherapy, cryosurgery and cryopreservation. Moscow: Lika, 2014. 190 p. (In Russ.)
11. Assylbekova L., Aldiyarov N., Yevdulov O., Kuldeev N. Mathematical modeling of thermophysical processes in a thermoelectric device for cooling the brain. *BioNanoScience*. 2024;14:1428-1441.
12. Evdulov O.V. Development of devices and systems for cooling based on high-current thermoelectric energy converters: specialty 05.04.03 "Machines and apparatuses, processes of refrigeration and cryogenic engineering, air conditioning and life support systems": dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Evdulov Oleg Viktorovich, 2019. 330 p. (In Russ.)
13. Evdulov O.V., Evdulov D.V., Isabekova T.I., Aminov G.I., Aminova I.Yu. Mathematical model of a thermoelectric device for the treatment of panaritium by local hypothermia. *Medical equipment*. 2022; 2:51-54. (In Russ.)
14. Hu B., Shi X.-L., Chen Z.-G., Zou J. Thermoelectrics for medical applications: progress, challenges and perspectives. *Chemical engineering journal*. 2022; 437:135268.

15. Zaferani S.H., Ghomashchi R., Sams M.W., Chen Z.-G. Thermoelectric coolers as thermal management systems for medical application: design, optimization and advancement. *Nano energy*. 2021;90: 106572.
16. Evdulov O.V., Magomedova S.G., Mispakhov I.Sh., Nabiev N.A., Nasrulaev A.M. Thermoelectric system for extracting foreign objects from the human body. *Herald of the Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2019; 46(1): 32-41. (In Russ.)
17. Patent. 2382617 Russian Federation, IPC A61B18/02. Thermoelectric device for local hypothermia of the spinal cord / Ismailov T.A., Ragimova T.A., Ismailov R.T.; No. 2008129494, declared. 17.07.2008; published. 27.02.2010, Bulletin No. 6. (In Russ.)
18. <http://www.kryotherm.ru> (accessed 26.03.2025). (In Russ.)

Сведения об авторах:

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

Сарабике Гусеновна Гасанова, аспирант кафедры теоретической и общей электротехники; ms.sarabike@mail.ru.

Гюльжаган Абдугамидовна Муталипова, ассистент кафедры радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники; m.gulya3028@bk.ru

Information about the authors:

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

Sarabike G. Gasanova, Postgraduate Student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering; ms.sarabike@mail.ru.

Gulzhagan A. Mutalipova, Assistant, Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics; m.gulya3028@bk.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/ Received 27.03.2025.

Одобрена после рецензирования/ Revised 10.05.2025.

Принята в печать/ Accepted for publication 10.05.2025.