

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-15-23

Оригинальная статья /Original Paper

Натурные исследования термоэлектрической системы для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека

О.В. Евдулов¹, И.Ю. Аминова², Г.И. Аминов², С.Г. Гасанова¹, П.Н. Суракатова³

¹Дагестанский государственный технический университет,

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

²Филиал ФГБОУ ВО «Университет Дубна» -

Дмитровский институт непрерывного образования,

²141800, г. Дмитров, ул. Космонавтов, д. 33, Россия,

³Дагестанский государственный медицинский университет,

³367012, г. Махачкала, пл. Ленина, 1, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка конструкции термоэлектрической системы (ТЭС) для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека, а также проведение ее натурных исследований. **Метод.** Исследование основано на методах термодинамического анализа, натурного и вычислительного моделирования процессов и объектов жизнеобеспечения. **Результат.** Представлена конструкция ТЭС для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека. Проведены ее натурные исследования в соответствии с существующими методиками теплофизических измерений. Получены кривые изменения температуры поверхности желатиновой модели глазного яблока человека во времени при охлаждении и нагреве для токов питания термоэлектрического модуля (ТЭМ), входящего в состав ТЭС, равных 2,5 А, 3 А, 3,5 А, А и 1 А, 1,2 А, 1,4 А, а также изменения температуры объекта воздействия во времени при смене режима охлаждения на нагрев и наоборот. Для оценки возможностей отвода теплоты от горячих спаев ТЭМ в системе, получены данные об изменении их температуры во времени при охлаждающем воздействии для различных величин тока питания модулей. **Вывод.** Установлено, что в качестве ТЭМ в системе могут быть использованы стандартные модули, производимые отечественными фирмами. Продолжительность выхода на режим ТЭС составляет порядка 230 с., поэтому представляется целесообразным вывод ТЭС на рабочий режим до непосредственного проведения процедур. Установлено, что продолжительность переключения ТЭС с режима охлаждения в режим нагрева и наоборот составляет 230 с., что требует дальнейшей оптимизации конструкции и режимов работы прибора за счет использования более совершенных типов ТЭМ и применении в переходном режиме форсированного режим работы термомодулей.

Ключевые слова: термоэлектрическая система, термоэлектрический модуль, тепловое воздействие, глазное яблоко, опытный образец, эксперимент, температура

Для цитирования: О.В. Евдулов, И.Ю. Аминова, Г.И. Аминов, С.Г. Гасанова, П.Н. Суракатова. Натурные исследования термоэлектрической системы для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023;50(1):15-23. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-15-23

Field studies of a thermoelectric system for thermal action on the anterior segment of the human eyeball

O.V. Evdulov¹, I.Yu. Aminova², G.I. Aminov², S.G. Gasanova¹, P.N. Surakatova³

¹Daghestan State Technical University,

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

²Branch of FGBOU VO "University of Dubna" -

Dmitrov Institute of Continuing Education,
²141800, Dmitrov, st. Kosmonavtov, 33, Russia,
³Daghestan State Medical University,
³1 Lenin Square, Makhachkala 367012, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to develop the design of a thermoelectric system (TPS) for thermal action on the anterior segment of the human eyeball, as well as to conduct its field studies. **Method.** The study is based on the methods of thermodynamic analysis, natural and computational modeling of processes and life support facilities. **Result.** The design of TPP for thermal impact on the anterior segment of the human eyeball is presented. Its full-scale studies were carried out in accordance with the existing methods of thermophysical measurements. Curves of changes in the temperature of the surface of the gelatin model of the human eyeball over time during cooling and heating were obtained for the supply currents of the thermoelectric module (TEM) included in the TPP, equal to 2.5 A, 3 A, 3.5 A, A and 1 A, 1.2 A, 1.4 A, as well as changes in the temperature of the object of influence over time when changing the cooling mode to heating and vice versa. To assess the possibilities of heat removal from the hot junctions of TEMs in the system, data were obtained on the change in their temperature over time during the cooling effect for various values of the module supply current. **Conclusion.** It has been established that standard modules produced by domestic firms can be used as TEMs in the system. The duration of entering the TPP mode is about 230 s. The refore, it seems appropriate to bring the TPP to the operating mode before the actual procedures are carried out. It has been established that the duration of TPP switching from cooling to heating mode and vice versa is 230 s, which requires further optimization of the design and operating modes of the device through the use of more advanced types of TEMs and the use of forced operation of thermal modules in the transient mode.

Keywords: thermoelectric system, thermoelectric module, thermal effect, eyeball, prototype, experiment, temperature

For citation: O.V. Evdulov, I.Yu. Aminova, G.I. Aminov, S.G. Gasanova, P.N. Surakotova. Field studies of a thermoelectric system for thermal action on the anterior segment of the human eyeball. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023;50(1):15-23. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-15-23

Введение. В современной офтальмологии физиотерапия является одним из существенных компонентов комплексного лечения больных с различными заболеваниями органов зрения. Действие лечебных физических факторов на живой организм обусловлено преобразованием их энергии (электромагнитной, механической, тепловой и др.) в биологический процесс [1-5]. Основу трансформации поглощенной энергии составляют физико-химические сдвиги, происходящие в клетках и тканях, и оказывающие влияние на биофизические, биохимические и физиологические процессы. Из многих факторов физиотерапевтического воздействия наибольший эффект достигается использованием теплоты. Применение теплового воздействия в офтальмологии встречается довольно часто при лечении ряда самых различных заболеваний (конъюнктивит, блефарит, послеоперационная реабилитация и т.п.), причем воздействие осуществляется как равномерное (охлаждение или нагрев), так и контрастное (чередование нагрева и охлаждения).

Среди методов теплового воздействия выделяются действия инфракрасными лучами, парафином, озокеритом, используются припарки, компрессы, примочки, грелки [6-10]. Всем перечисленным средствам присущи недостатки, связанные во многих случаях с неточностью дозировки теплового воздействия, что может вызвать риск ожога, а также сложностью проведения контрастных тепловых процедур с высокой скоростью чередования режимов охлаждения и нагрева, которые применяются при послеоперационном восстановлении, а также для термотренировки тканей глаза.

Постановка задачи. В этих условиях актуальным является разработка и исследо-

вание новых технических средств, позволяющих с высокой эффективностью осуществлять тепловые процедуры в офтальмологии. В качестве таких систем перспективным является использование приборов, в которых роль исполнительного элемента (источника теплоты) будет выполнять ТЭМ [11-15]. Достоинством таких приборов является высокая надежность, точность дозировки тепловой мощности, а также высокое быстродействие и удобство при переключении режимов работы [16-18].

Целью работы является разработка конструкции ТЭС для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека, а также проведение ее натурных исследований.

Методы исследования. Конструктивно ТЭС для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека реализуется в виде зонда, на торцевой поверхности которого, приводимой в контакт с глазом размещен ТЭМ. ТЭМ со стороны контакта с глазом снабжен специальной насадкой, повторяющей форму глазного яблока. При проведении процедур ТЭМ питается от регулируемого источника постоянного напряжения и осуществляет в зависимости от его полярности либо нагрев, либо охлаждение биологического объекта.

Разработан опытный образец ТЭС для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека. Его структурная схема представлена на рис. 1.

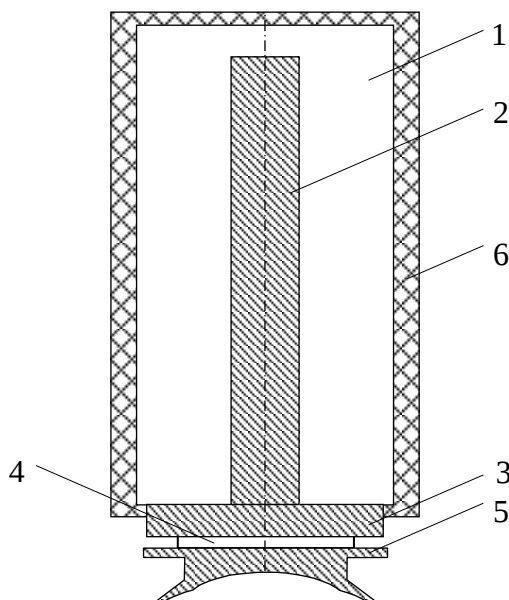


Рис. 1. Конструкция ТЭС для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека

1 - цилиндрическая емкость, заполненная льдом, 2 - медный стержень, 3 - медный диск, 4 - ТЭМ, 5 - медная насадка с нанесенной на ее поверхность, контактирующей с глазом, антисептической пленкой, 6 - теплоизоляция

Fig. 1. The design of the TPP for thermal exposure to the anterior segment of the human eyeball

1 - cylindrical container filled with ice, 2 - copper rod, 3 - copper disk, 4 - TEM, 5 - copper nozzle with an antiseptic film applied to its surface in contact with the eye, 6 - thermal insulation

Проведены экспериментальные исследования данной конструкции. Исследования проводились при воздействии на желатиновую модель глазного яблока человека, погруженную на две трети в воду в стакане, температура которой регулировалась на уровне 310 К. В качестве ТЭМ, входящего в состав ТЭС, использовался термомодуль типа ТВ-127-1.0-1.5 (производитель ООО Криотерм, г. Санкт-Петербург) [19]. Питание ТЭМ осуществлялось источником электрической энергии GPR-1850HD (производитель GW Instek, Тайвань). Для проведения измерений использовались встроенные в источник электрической энергии амперметр и вольтметр, а также многоканальный измеритель температуры ИРТМ

2402/М3Ех-2 (производитель - компания НПП «Элемер», Россия), подключаемый к ПЭВМ. Непосредственно определение температуры осуществлялось медь-константановыми термопарами, подключаемыми к входу прибора ИРТМ 2402/М3Ех-2.

В качестве контрольных точек рассматривались поверхности холодных и горячих спаев ТЭМ, желатиновая модель глаза, насадка, медный стержень, температура воды в стакане.

Обсуждение результатов. В качестве определяющих условий при проведении эксперимента задавались следующие параметры: температура поверхности желатиновой модели глазного яблока человека, контактирующей с ТЭС - от 280 К до 314 К, температура окружающей среды - 295 К, точность поддержания температуры - 0,5 К, температура воды в стакане - 310 К. На рис. 2-3 представлены кривые изменения температуры поверхности желатиновой модели глазного яблока человека во времени при охлаждении и нагреве для токов питания ТЭМ, равных 2,5 А, 3 А, 3,5 А, А и 1 А, 1,2 А, 1,4 А.

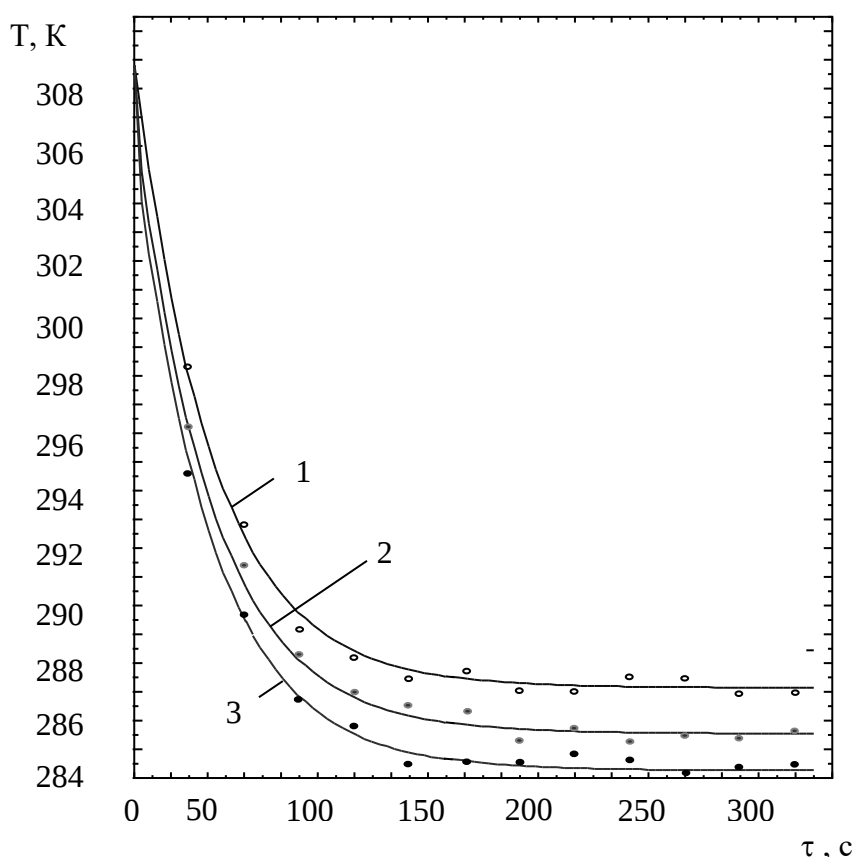


Рис.2. Изменение температуры желатиновой модели глазного яблока во времени при охлаждении для различных значений токов питания ТЭМ

Fig. 2. Change in the temperature of the gelatin model of the eyeball over time during cooling for various values of the TEM supply currents

На рис. 2-3 нумерация кривых растёт соответственно увеличению тока питания ТЭМ.

Как следует из представленных данных продолжительность выхода в стационарный режим системы ТЭС - биологический объект составляет при работе системы в режиме охлаждения примерно 230 с. и нагрева 200 с.

При этом увеличение тока питания ТЭМ приводит к уменьшению температуры биологического объекта при работе ТЭС в режиме охлаждения и увеличению его температуры при работе ТЭС в режиме нагрева, что соответствует повышению мощности ТЭМ. Следует отметить, что рабочий ток питания ТЭС при работе последней в режиме нагрева существенно меньше (1-1,4 А), чем в случае ее эксплуатации в режиме охлаждения (2,5-

3,5 А), что связано с температурными режимами проведения процедур, ограниченными сверху 314 К (соответствует появлению болевых ощущений у человека).

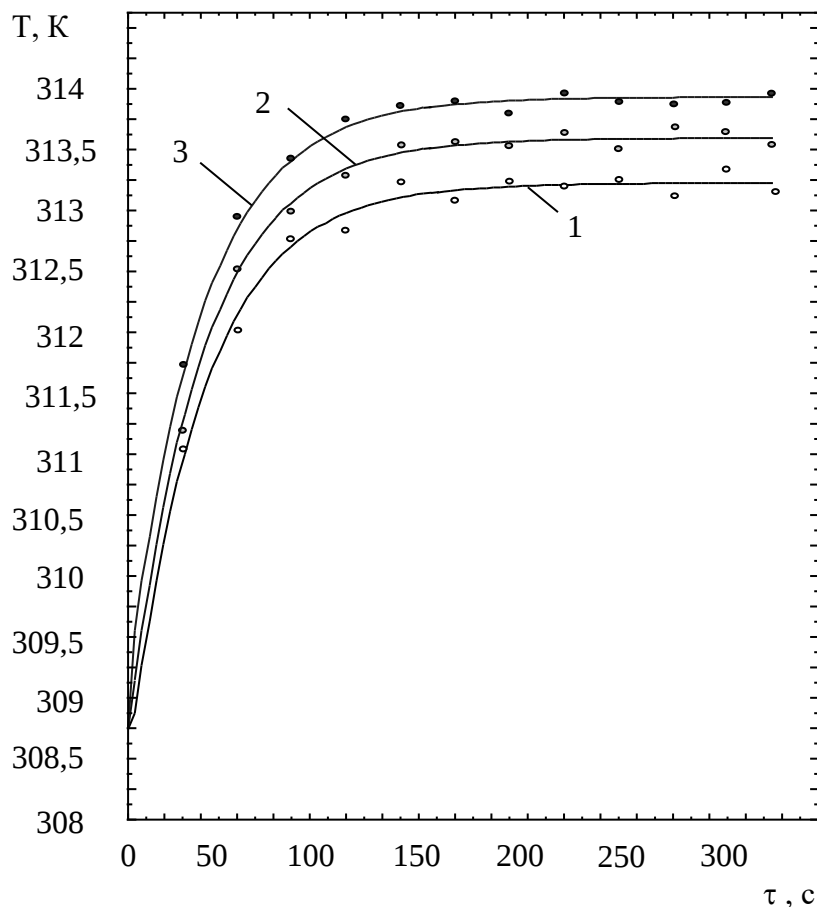


Рис. 3. Изменение температуры желатиновой модели глазного яблока во времени при нагреве для различных значений токов питания ТЭМ
Fig. 3. Change in the temperature of the gelatin model of the eyeball over time during heating for various values of the TEM supply currents

Для изучения динамических режимов работы ТЭС получены кривые изменения температуры объекта воздействия во времени при смене режима охлаждения на нагрев и наоборот. Данные зависимости представлены на рис. 4-5.

Результаты рассмотрены для режимов: 1 - $I_{\text{охл}}=3$ А, $I_{\text{нагр}}=1$ А; 2 - $I_{\text{охл}}=2,5$ А, $I_{\text{нагр}}=0,8$ А; 3 - $I_{\text{охл}}=2$ А, $I_{\text{нагр}}=0,4$ А, где $I_{\text{охл}}$ - сила тока питания при работе ТЭМ в режиме охлаждения, $I_{\text{нагр}}$ - сила тока питания при работе ТЭМ в режиме нагрева.

В обоих случаях продолжительность переходного процесса с режима охлаждения на режим нагрева и наоборот относительно незначительна и составляет порядка 230 с.

При этом следует отметить, что для ускорения смены режимов воздействия может быть использован кратковременный форсированный режим работы ТЭМ, состоящий в повышении их тока питания и соответственно мощности в переходном режиме работы прибора.

Для выхода на рабочий режим целесообразным является применение режима максимальной холодопроизводительности ТЭМ, тогда, как в дальнейшем будет применяться режим максимального холодильного коэффициента [20]. В этом случае продолжительность выхода прибора на режим будет минимизирована.

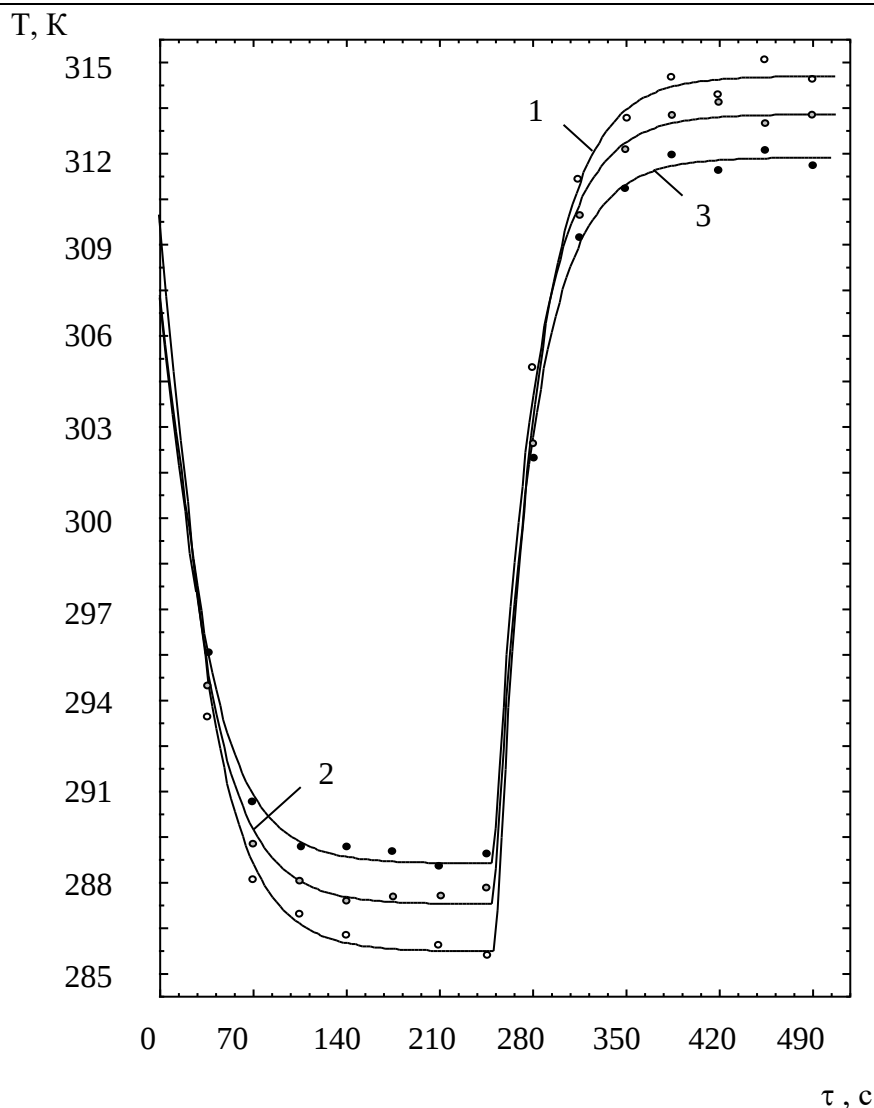


Рис. 4. Изменение температуры желатиновой модели глазного яблока во времени при смене режима охлаждения на нагрев для различных значений токов питания ТЭМ

Fig. 4. Changes in the temperature of the gelatin model of the eyeball over time when changing the cooling to heating mode for various values of the TEM supply currents

Для оценки возможностей отвода теплоты от горячих спаев ТЭМ в системе получены данные об изменении их температуры во времени при охлаждающем воздействии для различных величин тока питания модулей. Согласно ним следует, что значение температуры горячих спаев ТЭМ вполне приемлемо для используемого типа стандартных модулей вплоть до максимального значения тока питания (при токе питания 3,5 А температура горячих спаев ТЭМ составляет 324 К).

ТЭС теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека была апробирована в ГУ НПО «Дагестанский центр микрохирургии глаза» (г. Каспийск), а так же в 89 поликлинике ВМФ (Московская область, Дмитровский район, сельский поселок Горки). Были проведены 54 процедуры девяти пациентам с различными заболеваниями органа зрения.

Из них, три пациента с необскурающими помутнениями роговицы после лазерной хирургии, два пациента с послеоперационными воспаленными реакциями, один – с вирусным кератитом, два пациента с кератоконъюнктивитами не в стадии обострения и один – с передним увеитом не в стадии обострения.

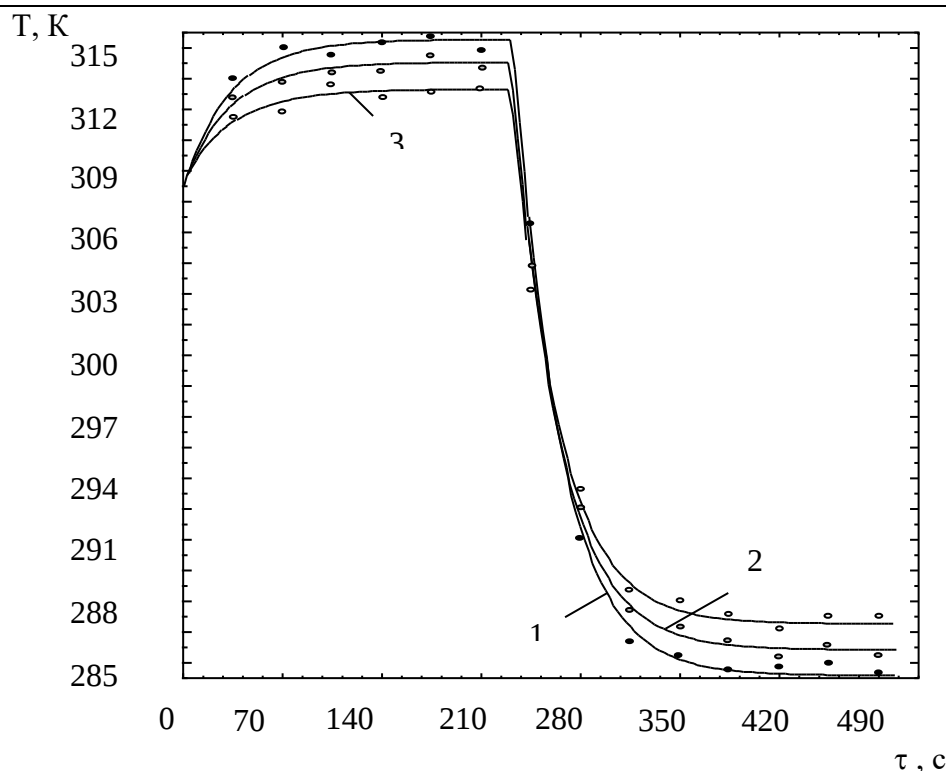


Рис. 5. Изменение температуры желатиновой модели глазного яблока во времени при смене режима нагрева на охлаждение для различных значений токов питания ТЭМ

Fig. 5. Changes in the temperature of the gelatin model of the eyeball over time when changing the heating mode to cooling for different values of the TEM supply currents

В ходе апробации данного устройства были выявлены следующие положительные моменты: помутнения роговицы, возникающие как последствия лазерных хирургических вмешательств, рассасываются быстрее в 1,5 раза по сравнению с пациентами, при лечении которых не использовалась ТЭС теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока; температура переднего отрезка глазного яблока при проведении процедур варьировалась в пределах от 280 К до 313 К с точностью 0,5 К; послеоперационные воспалительные реакции снимались после третьей процедуры. В ходе апробации ТЭС для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека не наблюдалось осложнений.

Вывод. Разработана ТЭС для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека, исполнительным элементом в которой является ТЭМ, дающий возможность сочетать в едином приборе режимы охлаждения и нагрева, а также контрастного теплового воздействия. Проведены натурные испытания разработанной ТЭС.

В результате измерений установлено, что в качестве ТЭМ в системе могут быть использованы стандартные модули, производимые отечественными фирмами. Продолжительность выхода на режим ТЭС составляет порядка 230 с., поэтому представляется целесообразным вывод ТЭС на рабочий режим до непосредственного проведения процедур.

В рамках эксперимента установлено, что продолжительность переключения ТЭС с режима охлаждения в режим нагрева и наоборот составляет 230 с., что требует дальнейшей оптимизации конструкции и режимов работы прибора за счет использования более совершенных типов ТЭМ и применении в переходном режиме форсированного режим работы термомодулей. ТЭС апробирована в клинической практике, при этом после проведения 54 процедур для девяти пациентов наблюдались положительные эффекты в части оздоровительного процесса.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00130, <https://rscf.ru/project/23-29-00130/>.

Acknowledgments. The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-29-00130, <https://rscf.ru/project/23-29-00130/>.

Библиографический список:

1. Зубкова С.М. Роль тепловой компоненты в лечебном действии физических факторов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2011. - №6. - С.3-10.
2. Боголюбов В.М., Сидоров В.Д. Физиотерапия в реабилитации больных ревматоидным артритом // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2012. - № 2. - С.3-9.
3. Ушаков А.А. Практическая физиотерапия. М.: ООО Медицинское информационное агентство, 2009. - 612 с.
4. Пономаренко Г.Н. Восстановительная медицина: фундаментальные основы и перспективы развития // Физическая и реабилитационная медицина. - 2022. - т. 4, № 1. - С.8-20.
5. Боголюбов В.М. [и др.] Техника и методики физиотерапевтических процедур. - М.: Бином, 2017. - 464 с.
6. 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.
7. Ежов В.В. Физиотерапия и физиопрофилактика как методы и средства сохранения и восстановления здоровья // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2011. - № 4. - С.33-36.
8. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual. - New York: Springer, 2015. - 441 p.
9. Цыганов, Д.И. Криомедицина: процессы и аппараты. М.: САЙНС-ПРЕСС, 2011. - 304 с.
10. Гуляев А.А. Оформление аппаратно/физиотерапевтических процедур согласно требованиям Минздрава РФ // Аппаратная косметология. - 2017. - № 1. - С.14-20.
11. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Юсуфов Ш.А., Аминов Г.И. Приборы для локального температурного воздействия на человеческий организм // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 2003. №2. С.3-6.
12. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Набиев Н.А., Рагимова Т.А. Термоэлектрическое устройство для остановки кровотечения // Медицинская техника. 2019. № 2. С. 12-14.
13. Исмаилов Т.А. Евдулов О.В., Набиев Н.А., Магомедова С.Г. Модель термоэлектрического устройства для теплового воздействия на рефлексогенные зоны//Медицинская техника. 2020. № 1. С. 40-43.
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. Goldsmid H.J. Thermoelectric refrigeration, New York: Springer, 2013. - 240 p.
17. Абоуеллаиль А.А., Чан Ц., Солдатов А.И., Солдатов А.А., Костина М.А., Борталевич С.И., Солдатов Д.А. Лабораторное обоснование термоэлектрического метода контроля переходного сопротивления контактов // Дефектоскопия. 2022. № 12. С. 70-78.
18. Yevdulov O.V., Ragimova T.A. Investigation of thermoelectric system for local freezing of tissues of the larynx // Journal of Thermoelectricity. - 2015. - № 2. - P. 86-94.
19. <http://www.kryotherm.ru> (дата доступа 22.02.2023).
20. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Абдулхакимов У.И., Евдулов Д.В. Термоэлектрическая система для проведения тепловых косметологических процедур на лице // Медицинская техника. - 2017. - № 4. - С.38-42.

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. Bogolyubov V.M., Sidorov V.D. Physiotherapy in the rehabilitation of patients with rheumatoid arthritis. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2012;2:3-9. [In Russ]
3. Ushakov A.A. Practical physiotherapy. M.: OOO Medical Information Agency, 2009; 612. [In Russ]
4. Ponomarenko G.N. Restorative medicine: fundamental foundations and development prospects. *Physical and Rehabilitation Medicine*. 2022; 4(1):8-20. [In Russ]
5. Bogolyubov V.M. [And. etc.] Technique and methods of physiotherapeutic procedures. M.: Binom, 2017; 64. [In Russ]
6. Baranov A.Yu., Vasilenok A.V., Sokolova E.V., Chubova S.D., Ziyavidinov A.M. The choice of an alternative cryoagent to cover the thermal load in the installation for general cryotherapy. *Herald of the International Academy of Cold*. 2022;1:76-82. [In Russ]
7. Ezhov V.V. Physiotherapy and physioprophyllaxis as methods and means of maintaining and restoring health. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2011; 4:33-36. [In Russ]
8. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual. New York: Springer, 2015; 441
9. Tsyganov D.I. Cryomedicine: processes and devices. M.: SCIENCE PRESS, 2011; 304. [In Russ]

10. Gulyaev A.A. Registration of hardware / physiotherapy procedures in accordance with the requirements of the Ministry of Health of the Russian Federation. *Hardware cosmetology*. 2017; 1:14-20. [In Russ]
11. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Yusufov Sh.A., Aminov G.I. Devices for local temperature effects on the human body. *Izvestiya vuzov. North Caucasian region. Technical sciences*, 2003; 2:3-6. [In Russ]
12. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Nabiev N.A., Ragimova T.A. Thermoelectric device to stop bleeding. *Medical technology*. 2019; 2: 12-14. [In Russ]
13. Ismailov T.A. Evdulov O.V., Nabiev N.A., Magomedova S.G. Model of a thermoelectric device for thermal action on reflexogenic zones. *Meditsinskaya tekhnika*. 2020; 1: 40-43. [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. Goldsmid H.J. Thermoelectric refrigeration, *New York: Springer*, 2013; 240.
17. Abouellail A.A., Chan Ts., Soldatov A.I., Soldatov A.A., Kostina M.A., Bortalevich S.I., Soldatov D.A. Laboratory substantiation of the thermoelectric method for controlling the transitional resistance of contacts. *Defectoscopy*. 2022; 12: 70-78.
18. Yevdulov O.V., Ragimova T.A. Investigation of thermoelectric system for local freezing of tissues of the larynx. *Journal of Thermoelectricity*. 2015; 2:86-94.
19. <http://www.kryotherm.ru> (accessed February 22, 2023).
20. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Abdulkhakimov U.I., Evdulov D.V. Thermoelectric system for conducting thermal cosmetic procedures on the face. *Medical technology*. 2017; 4:38-42.

Сведения об авторах:

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

Аминов Гарун Ильясович, кандидат технических наук, доцент, начальник отдела развития компетенций; g.aminov@yandex.ru.

Аминова Ирина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цифровой трансформации; irzarema@yandex.ru.

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

Суракатова Патимат Нурмагомедовна, студентка; sur71@yandex.ru

Information about authors:

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

Garun I. Aminov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Head of Competence Development Department; g.aminov@yandex.ru.

Irina Yu. Aminova, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Digital Transformation Technology; irzarema@yandex.ru.

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

Patimat N. Surakatova, Student; sur71@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 10.12.2022.

Одобрена после рецензирования/ Revised 19.01.2023.

Принята в печать/Accepted for publication 19.01.2023.