

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-3-15-24



Оригинальная статья /Original article

**Термоэлектрическая установка для подъема объектов из неглубоких водоемов
методом намораживания**

О.В. Евдулов, Д.В. Евдулов, И.А. Габитов, М.У. Яхьяев

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

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка конструкции термоэлектрической установки для подъема объектов из неглубоких водоемов методом намораживания, а также ее расчет, анализ параметров и электро- и теплофизических характеристик. **Метод.** Исследования основано на применении методов термодинамического анализа, натурного и вычислительного моделирования объектов криогенной техники с целью поиска оптимальных решений по надежности и ресурсу низкотемпературных установок. **Результат.** В состав установки входит водонепроницаемый зонд, на торцевой поверхности которого, обращенной к дну водоема, устанавливаются термоэлектрические модули, отвод теплоты от горячих спаев которых производится за счет системы теплоотвода, выполненной в виде цельнометаллического теплопровода, либо в виде теплового термосифона. Сопряжение объекта, поднимаемого из водоема, и термоэлектрической установки производится через холодную стенку путем намораживания. Произведен расчет термоэлектрической установки и определены ее параметры. Построены графики и получены зависимости, описывающие основные характеристики ТЭМ, входящих в термоэлектрическую установку. Графики представлены при температуре горячих спаев ТЭМ 300 К и достижении таких значений толщины намороженного водного льда на холодной стенке ТУ, которые позволили бы осуществить подъем объектов из водоема глубиной до 4 м. **Вывод.** Определены параметры установки: количество ТЭМ типа DRIFT-1,2 - 8, рабочий диапазон мощностей единичного ТЭМ типа DRIFT-1,2 - от 14 до 40 Вт при среднем перепаде температур между спаями 45 К, ток питания - от 3,8 до 7,6 А при потребляемой мощности от 50 до 200 Вт, холодильный коэффициент - от 0,1 до 0,45, минимальная температура холодной стенки ТУ - 248 К, в качестве системы отвода теплоты от горячих спаев ТЭМ используется тепловой термосифон отечественного производства.

Ключевые слова: подъем объекта, водоем, намораживание, водный лед, термоэлектрическая установка, термоэлектрический модуль, охлаждение, температура, расчет

Для цитирования: О.В. Евдулов, Д.В. Евдулов, И.А. Габитов, М.У. Яхьяев. Термоэлектрическая установка для подъема объектов из неглубоких водоемов методом намораживания. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(3):15-24. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-3-15-24

**Thermoelectric installation for lifting objects from shallow reservoirs using
the freezing method**

O.V. Evdulov, D.V. Evdulov, I.A. Gabitov, M.U. Yakhyayev

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

Abstract. Objective. The purpose of the study is to develop the design of a thermoelectric installation for lifting objects from shallow reservoirs using the freezing method, as well as its calculation, analysis of parameters and electrical and thermophysical characteristics. **Method.** The research is based on the use of methods of thermodynamic analysis, full-scale and computational modeling of cryogenic equipment in order to find optimal solutions for the reliability and service life of low-temperature installations. **Result.** The installation includes a waterproof

probe, on the end surface of which, facing the bottom of the reservoir, thermoelectric modules are installed, heat is removed from the hot junctions of which by means of a heat removal system made in the form of an all-metal heat pipe or in the form of a thermal thermosiphon. The connection between the object lifted from the reservoir and the thermoelectric installation is carried out through a cold wall by freezing. The thermoelectric installation was calculated and its parameters were determined. Graphs were constructed and dependencies were obtained describing the main characteristics of TEMs included in the thermoelectric installation. The graphs are presented at a temperature of the hot junctions of the TEM of 300 K and the achievement of such values of the thickness of frozen water ice on the cold wall of the technical device that would allow lifting objects from a reservoir up to 4 m deep. **Conclusion.** The installation parameters have been determined: the number of TEMs of the DRIFT-1.2 type is 8, the operating power range of a single TEM of the DRIFT-1.2 type is from 14 to 40 W with an average temperature difference between the junctions of 45 K, the supply current is from 3.8 to 7.6 A with power consumption from 50 to 200 W, coefficient of performance - from 0.1 to 0.45, minimum temperature of the cold wall of the TU - 248 K, a domestically produced thermal thermosiphon is used as a heat removal system from the hot junctions of the TEM.

Keywords: object lifting, reservoir, freezing, water ice, thermoelectric installation, thermoelectric module, cooling, temperature, calculation

For citation: O.V. Evdulov, D.V. Evdulov, I.A. Gabitov, M.U. Yakhyayev. Thermoelectric installation for lifting objects from shallow reservoirs using the freezing method. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(3):15-24. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-3-15-24

Введение. Важной экологической проблемой, ставшей последствием бурной техногенной деятельности в последние десятилетия, является очистка водоемов от затопленных оболочковых объектов [1]. Такие элементы могут содержать токсичные, экологически опасные вещества, попадание которых в водную среду губительно для подводной флоры и фауны, а вместе с ними и для человека (через морепродукты).

Это обуславливает необходимость подъема оболочковых объектов на поверхность водного бассейна для их последующей транспортировки и утилизации.

Сложность данной задачи состоит в том, что стенки объектов зачастую подвержены значительному корзинному износу, исключающему механическое воздействие на них, вследствие опасности разрушения. В таких условиях перспективными представляются низкотемпературные методы, основанные на применении водного льда для подъема затопленных объектов.

Для подъема подобных объектов со дна неглубоких водоемов в качестве источника холода могут быть использованы термоэлектрические охлаждающие устройства [2-6]. Перспективы их использования определяются целым рядом преимуществ, которыми они обладают по сравнению с традиционными [7-10].

Это отсутствие движущихся частей в устройстве; сочетание в едином приборе таких традиционно раздельных элементов, как источник холода (теплоты) и теплообменный аппарат; универсальность; возможность работы при любой ориентации и при отсутствии сил гравитации; простота устройства, компактность, взаимозаменяемость; высокая надежность, практически неограниченный срок службы; бесшумность, экологичность.

Однако здесь следует отметить, что при эксплуатации термоэлектрических охлаждающих устройств в данных условиях существуют определенные ограничения, связанные, прежде всего, с водонепроницаемостью системы и работой ее в режиме максимальной эффективности создания водного льда.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является разработка конструкции термоэлектрической установки (ТУ) для подъема объектов из неглубоких водоемов методом намораживания, ее расчет, анализ параметров и электро- и теплофизических характеристик.

Методы исследования. Конструктивно исполнение ТУ для подъема объектов из неглубоких водоемов в самом простом виде (рис. 1) может быть осуществлено в виде некоего протяженного полого водонепроницаемого зонда 1, размеры которого соответствуют глубине водоема.

На торцевой поверхности зонда, направленной к дну водоема, устанавливаются термоэлектрические модули (ТЭМ) 2, выполняющие роль источника холода, также защищенные от попадания воды. ТЭМ 2 контактируют с системой отвода теплоты 3, размещенной внутри зонда.

Система отвода теплоты в зависимости от глубины водоема может быть реализована в виде цельнометаллического теплопровода, либо в виде теплового термосифона [11]. Сопряжение объекта, поднимаемого из водоема и ТУ производится через холодную стенку 4 путем его намораживания.

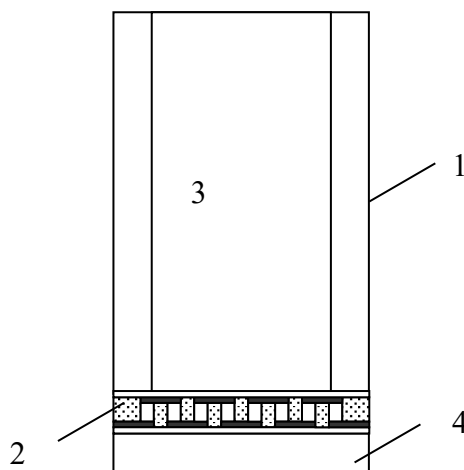


Рис. 1. Упрощенная конструкция ТУ для подъема объектов из неглубоких водоемов методом намораживания

Fig. 1. Simplified design of technical equipment for lifting objects from shallow reservoirs using the freezing method

При эксплуатации холодильного оборудования, на поверхностях его элементов, с отрицательными температурами, работающих без теплоизоляции и погруженных в водную среду, образуется криоосадок из водного льда, термическое сопротивление которого в значительной степени оказывает влияние на теплообмен.

В частности, в условиях образования водного льда могут работать: испарители тепловых насосов с подводом теплоты от водной среды, криогенные газификаторы жидких криопродуктов, водоохладители, ледогенераторы различных конструкций, устройства подъема оболочковых объектов со дна природных водных бассейнов и др.

Анализ теплообмена представляет собой, в общем случае, нестационарную, нелинейную теплофизическую задачу, при решении которой необходимо учитывать рост термического сопротивления криоосадка с течением времени и зависимость коэффициентов теплопроводности водного льда от температуры, при ее значительных перепадах в намораживаемом слое.

Данная задача, связанная с исследованием процессов образования водного льда на поверхностях различной формы достаточно подробно рассмотрена в [12-14].

В этих работах получены соотношения и графики, описывающие процесс образования водного льда на плоской, цилиндрической и сферической поверхностях.

При этом зависимость толщины намороженного слоя водного льда на плоской поверхности, подходящая для описание процессов теплопередачи для предложенной конструкции ТУ, имеет следующий вид:

$$\xi = \frac{\alpha(T_c - T_\phi)}{\rho L} \tau + \frac{\lambda}{\rho L} \sqrt{\left(\frac{\alpha(T_c - T_\phi)\tau}{\lambda} \right)^2 - \frac{2\rho L(T_c - T_\phi)\tau}{\lambda}}, \quad (1)$$

где: T_c - температурой поверхности холодной стенки ТУ,
 T_ϕ - температура фазового перехода вода - лед,
 α - коэффициент теплоотдачи от воды к холодной стенки ТУ,
 ρ - плотность льда,
 τ - время,
 L - теплота фазового перехода воды в лед,
 λ - коэффициент теплопроводности льда.

В соответствии с (1) может быть установлена зависимость толщины намороженного водного льда между ТУ и извлекаемым объектом от температуры холодной стенки установки, которая определяется мощность ТЭМ, входящих в ее состав.

При этом скорость образования намороженного слоя прямо пропорционально зависит от температуры холодной стенки ТУ, и, соответственно, мощностью ТЭМ. А необходимая толщина намороженного слоя льда, требуемая для прочного удержания объекта при его подъеме из водоема, напрямую зависит от массы последнего.

Согласно расчетным соотношениям, приведенным в [15], надежное сцепление холодильника с объектом подъема из водоема массой порядка нескольких килограмм может быть обеспечено при температуре холодной стенки ТУ, начиная от 263 К и ниже.

На основе анализа теплофизических процессов образования водного льда на поверхности холодной стенки ТУ произведен расчет ТЭМ, входящих в ее состав.

Искомые величинами в данном случае являются геометрические размеры термоэлементов, входящих в состав ТЭМ, величина питающего электрического тока, напряжение, потребляемая электрическая энергия, значение холодильного коэффициента, оптимального перепада температур между спаями термоэлементов.

Определение данных характеристик осуществлено на основе методики, аналогичной изложенной в [16] и включающей в себя следующие выражения:

$$Q_{ТЭМ} = nGT_{x.ТЭМ} \frac{s_{ТЭ}}{\ell_{ТЭ}} \frac{t-1}{t+1} (N_{ТЭ} - t), \quad (2)$$

$$Q'_{ТЭМ} = nGT_{r.ТЭМ} \frac{s_{ТЭ}}{\ell_{ТЭ}} \frac{t-1}{t+1} (tN_{ТЭ} - 1), \quad (3)$$

$$I_{ТЭМ} = \frac{(N_{ТЭ}^2 - 1)Q_{ТЭМ}}{eN_{ТЭ}(N_{ТЭ}T_{r.ТЭМ} - T_{x.ТЭМ})}. \quad (4)$$

$$\frac{\ell_{ТЭ}}{s_{ТЭ}} = \frac{e(T_{r.ТЭМ} - T_{x.ТЭМ})\sigma_p}{I_{ТЭМ}(N_{ТЭ} - 1) \left(1 + \frac{\sigma_p s_p}{\sigma_n s_n} \right)}, \quad (5)$$

$$\frac{\ell_{ТЭ}/s_p}{\ell_{ТЭ}/s_n} = \sqrt{\frac{\lambda_p \sigma_p}{\lambda_n \sigma_n}}, \quad (6)$$

$$W_{ТЭМ} = I_{ТЭМ}^2 R_{ТЭМ}, \quad (7)$$

$$\eta = \frac{Q_{ТЭМ}}{W_{ТЭМ}}, \quad (8)$$

где: n - количество термоэлементов в ТЭМ, $N_{тэ} = \sqrt{1 + 0,5Z_{тэ}(T_{х.ТЭМ} + T_{г.ТЭМ})}$,

$T_{х.ТЭМ}$ - температура холодных спаев термоэлементов в ТЭМ,

$T_{г.ТЭМ}$ - температура горячих спаев термоэлементов в ТЭМ,

$t = \frac{T_{г.ТЭМ}}{T_{х.ТЭМ}}$, $Z_{тэ} = \frac{e^2}{(\sqrt{\lambda_p \rho_p} + \sqrt{\lambda_n \rho_n})^2}$ - добротность единичного термоэлемента,

e - коэффициент термо-э.д.с. единичного термоэлемента,

$G = \frac{2N_{тэ}}{N_{тэ} - 1} \frac{\sqrt{\lambda_p \rho_p} + \sqrt{\lambda_n \rho_n}}{\sqrt{\lambda_p \rho_n} + \sqrt{\lambda_n \rho_p}} \sqrt{\lambda_n \lambda_p}$, $\lambda_p, \rho_p, \lambda_n, \rho_n$ - удельные коэффициенты теплопровод-

ности и сопротивления ветвей термоэлемента p - и n -типа соответственно,

$S_{тэ}, \ell_{тэ}$ - площадь поперечного сечения и длина ветвей единичного термоэлемента,

σ_p, σ_n - удельные электрические проводимости ветвей термоэлементов p -типа и n -типа соответственно,

$R_{ТЭМ} = n \frac{\ell_{тэ}}{S_{тэ}} (\rho_n + \rho_p)$ - электрическое сопротивление ТЭМ.

На основе выражений (2)-(8) определяются параметры ТЭМ, отражающие его эксплуатационные возможности, а на основе совместного анализа теплофизических процессов, происходящих при образовании водного льда на ТУ и характеристик единичного термомодуля их количество.

При этом расчет системы отвода теплоты от горячих спаев ТУ осуществлен по соотношениям, приведенным в [17, 18].

Обсуждение результатов. На основе проведенных расчетов установлено, что для извлечения объекта из водоема глубиной до 4 м может быть использована ТУ описанной конструкции, содержащая 8 ТЭМ типа DRIFT-1,2, производитель ООО «Криотерм», г. Санкт-Петербург.

Их предельные параметры следующие: максимальная сила тока питания $I_{ТЭМ.max}=7,6$ А, максимальная мощность $Q_{ТЭМ.max}=115$ Вт, максимальное напряжение $U_{ТЭМ.max}=24,6$ В, максимальный перепад температур между спаями $\Delta T_{ТЭМ.max}=69$ К, электрическое сопротивление $R_{ТЭМ}=2,4$ Ом.

На рис. 2-6 представлены зависимости, описывающие основные характеристики данного ТЭМ.

Рассмотрены следующие графики зависимости: изменение мощности, холодильного коэффициента, напряжения питания ТЭМ от перепада температур между спаями для различных значений тока питания (рис. 2-4), вольт-амперная характеристика для различных величин перепада температур между спаями (рис. 5), изменение температуры на холодном спае ТЭМ от тока питания (рис.6).

Графики представлены при температуре горячих спаев ТЭМ 300 К. В соответствии с представленными данными установлено, что рабочий диапазон мощностей единичного ТЭМ типа DRIFT-1,2 будет находиться в пределах от 14 до 40 Вт при среднем перепаде температур между спаями 45 К. При этом ток питания будет составлять 3,8-7,6 А при потребляемой мощности от 50 до 200 Вт.

Холодильный коэффициент изменяется в пределах от 0,1 до 0,45, минимальная температура холодной стенки ТУ будет составлять 248 К. В качестве системы отвода теплоты от горячих спаев ТЭМ может использоваться тепловой термосифон отечественного производства.

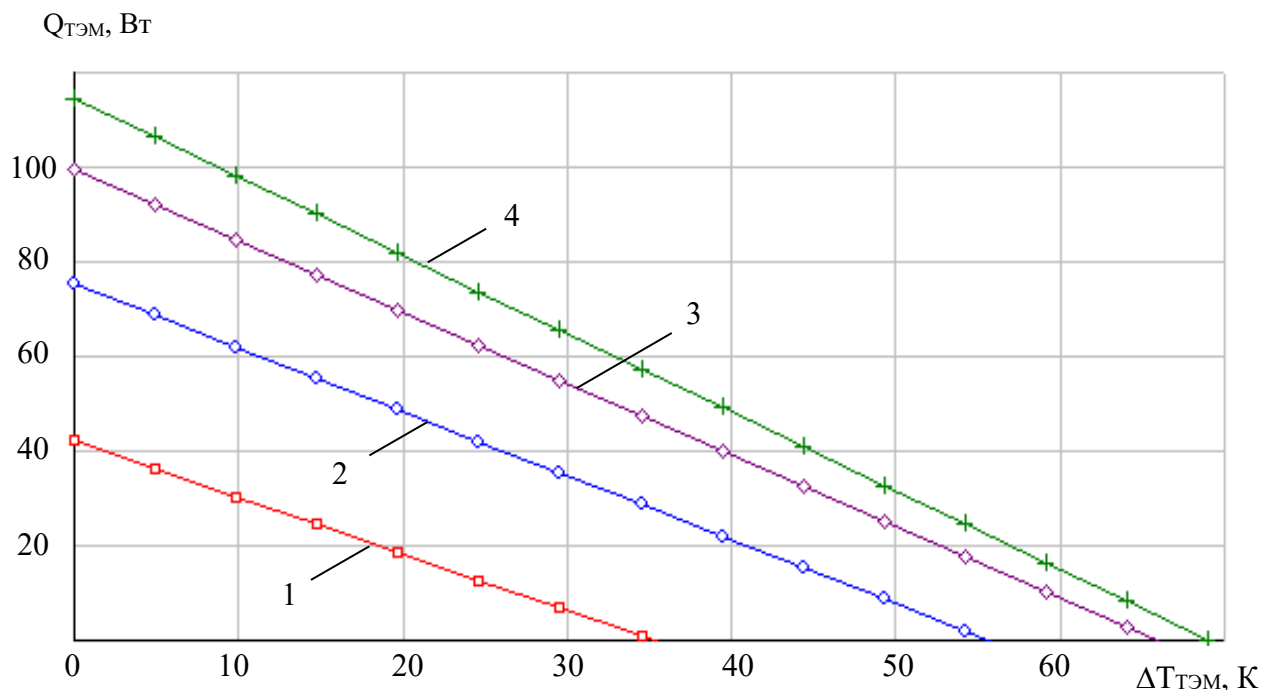


Рис. 2. Зависимость мощности ТЭМ DRIFT-1,2 от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания: 1- $I_{\text{ТЕМ}}=1,9$ А, 2- $I_{\text{ТЕМ}}=3,8$ А, 3 - $I_{\text{ТЕМ}}=5,7$ А, 4 - $I_{\text{ТЕМ}}=7,6$ А

Fig. 2. Dependence of the power of TEM DRIFT-1.2 on the temperature difference between the junctions at different values of supply current: 1 - $I_{\text{TEM}} = 1.9$ A, 2 - $I_{\text{TEM}} = 3.8$ A, 3 - $I_{\text{TEM}} = 5.7$ A, 4 - $I_{\text{TEM}} = 7.6$ A

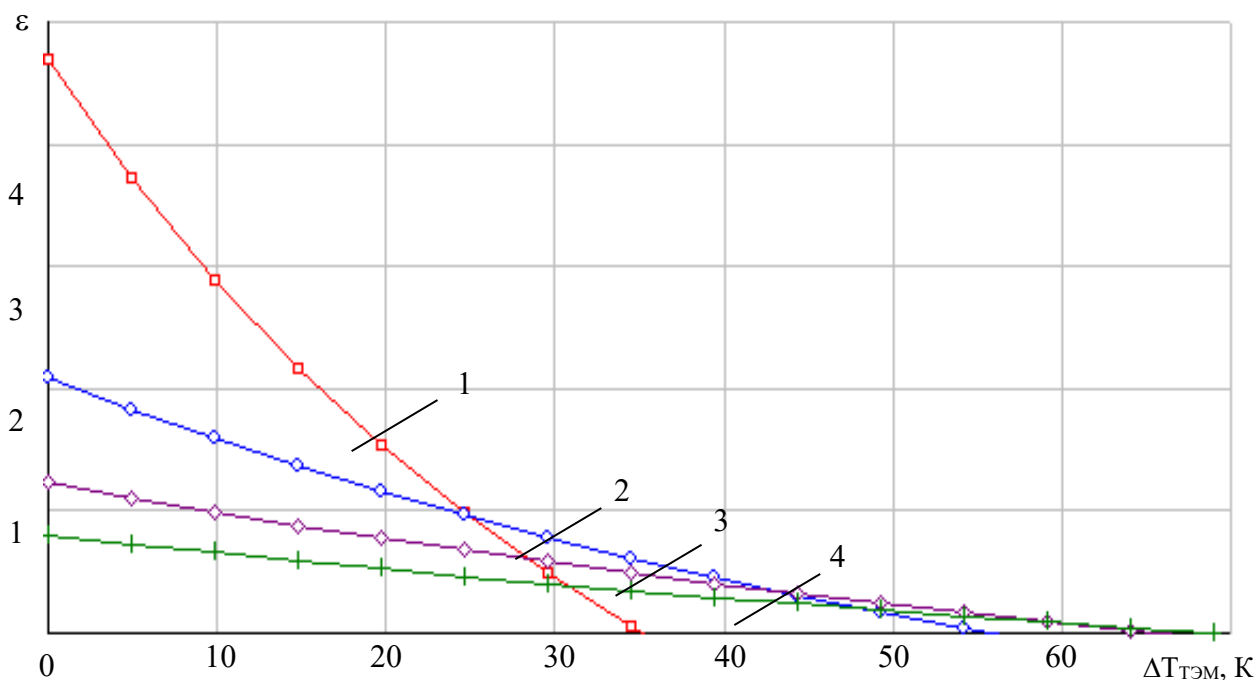


Рис. 3. Зависимость холодильного коэффициента ТЭМ DRIFT-1,2 от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания: 1- $I_{\text{ТЕМ}}=1,9$ А, 2- $I_{\text{ТЕМ}}=3,8$ А, 3 - $I_{\text{ТЕМ}}=5,7$ А, 4 - $I_{\text{ТЕМ}}=7,6$ А

Fig. 3. Dependence of the performance coefficient of TEM DRIFT-1.2 on the temperature difference between the junctions at different values of supply current: 1 - $I_{\text{TEM}} = 1.9$ A, 2 - $I_{\text{TEM}} = 3.8$ A, 3 - $I_{\text{TEM}} = 5.7$ A, 4 - $I_{\text{TEM}} = 7.6$ A

$U_{\text{ТЭМ}}, \text{В}$

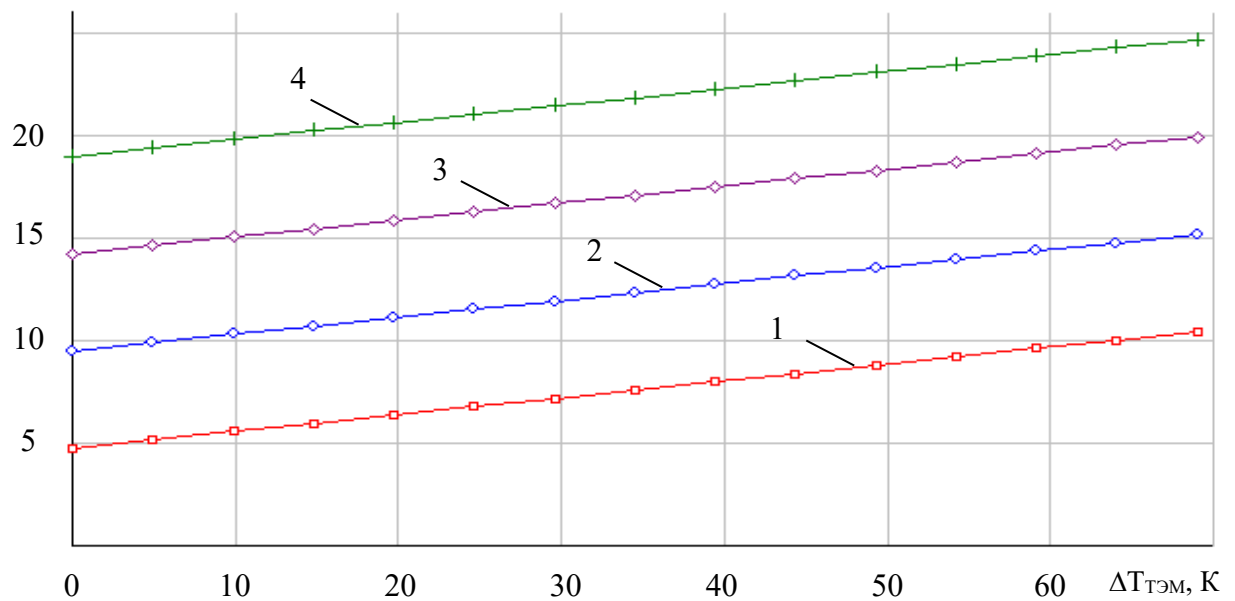


Рис. 4. Зависимость напряжения питания ТЭМ DRIFT-1,2 от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания: 1- $I_{\text{ТЭМ}}=1,9 \text{ А}$, 2- $I_{\text{ТЭМ}}=3,8 \text{ А}$, 3 - $I_{\text{ТЭМ}}=5,7 \text{ А}$, 4 - $I_{\text{ТЭМ}}=7,6 \text{ А}$
Fig. 4. Dependence of the supply voltage of TEM DRIFT-1.2 on the temperature difference between the junctions at different values of supply current: 1 - $I_{\text{ТЕМ}} = 1.9 \text{ А}$, 2 - $I_{\text{ТЕМ}} = 3.8 \text{ А}$, 3 - $I_{\text{ТЕМ}} = 5.7 \text{ А}$, 4 - $I_{\text{ТЕМ}}=7.6$

$U_{\text{ТЭМ}}, \text{В}$

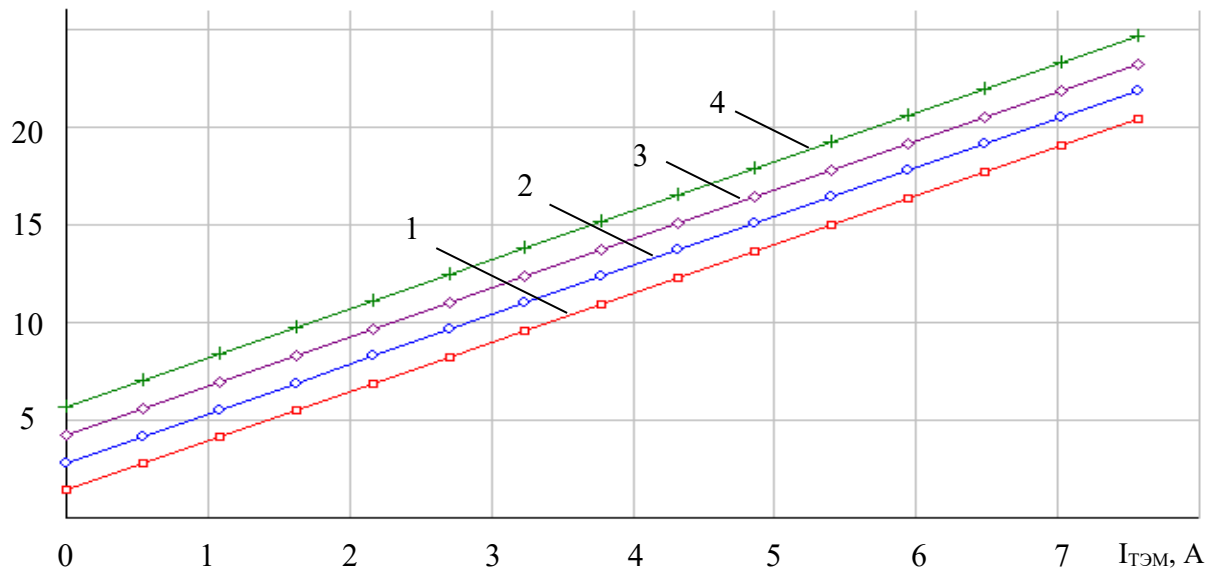


Рис. 5. Зависимость напряжения ТЭМ DRIFT-1,2 от величины тока питания при различных значениях перепада температур между спаями: 1- $\Delta T_{\text{ТЭМ}}=17 \text{ К}$, 2- $\Delta T_{\text{ТЭМ}}=35 \text{ К}$, 3 - $\Delta T_{\text{ТЭМ}}=52 \text{ К}$, 4 - $\Delta T_{\text{ТЭМ}}=69 \text{ К}$
Fig. 5. Dependence of the voltage of TEM DRIFT-1.2 on the value of the supply current at different values of the temperature difference between the junctions: 1- $\Delta T_{\text{ТЕМ}}=17 \text{ К}$, 2- $\Delta T_{\text{ТЕМ}}=35 \text{ К}$, 3 - $\Delta T_{\text{ТЕМ}}=52 \text{ К}$, 4 - $\Delta T_{\text{ТЕМ}}=69 \text{ К}$

$T_{х.ТЭМ}$, К

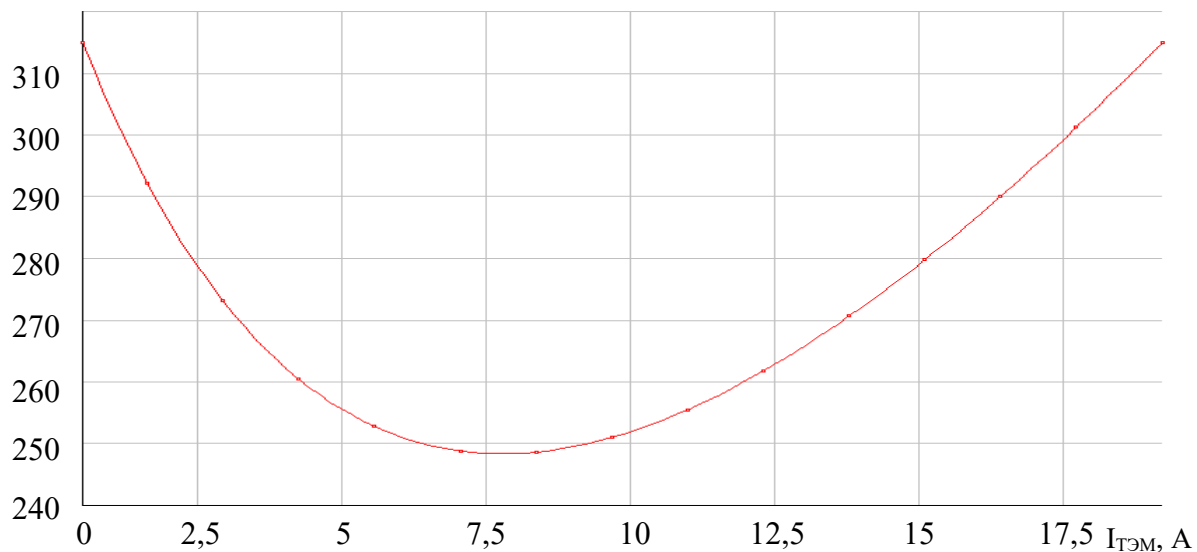


Рис. 6. Зависимость температуры на холодном спае ТЭМ от тока питания
Fig. 6. Dependence of the temperature at the cold junction of the TEM on the supply current

Вывод. Разработана конструкция ТУ для подъема объектов из неглубоких водоемов. В состав упрощенной конструкции установки входит водонепроницаемый зонд, на торцевой поверхности которого, обращенной к дну водоема, устанавливаются ТЭМ, отвод теплоты от горячих спаев которых производится за счет системы теплоотвода, выполненной в виде цельнометаллического теплопровода, либо в виде теплового термосифона.

Сопряжение объекта, поднимаемого из водоема и ТУ производится через холодную стенку путем его намораживания. Произведен расчет параметров ТУ, состоящий в определении толщины намороженного слоя водного льда и скорости его роста, характеристик ТЭМ, входящих в состав установки и системы отвода теплоты от их горячих спаев.

Определены параметры установки: количество ТЭМ типа DRIFT-1,2 - 8, рабочий диапазон мощностей единичного ТЭМ типа DRIFT-1,2 - от 14 до 40 Вт при среднем перепаде температур между спаями 45 К, ток питания - от 3,8 до 7,6 А при потребляемой мощности от 50 до 200 Вт, холодильный коэффициент - от 0,1 до 0,45, минимальная температура холодной стенки ТУ - 248 К, в качестве системы отвода теплоты от горячих спаев ТЭМ используется тепловой термосифон отечественного производства

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. Эгизов И.А., Ордобаев Б.С., Абдыкеева Ш.С. Аварийно-спасательные работы на водных объектах. Бишкек: КРСУ, 2017. 123 с.
2. Finn P.-A., Asker C., Wan K., Bilotti E., Fenwick O., Nielsen C.-B. Thermoelectric materials: current status and future challenges // *Frontiers in electronic materials*. 2021. Vol. 1. P.1-13.
3. Shi X.-L. J., Zou J., Chen Z.-G. Advanced thermoelectric design: from materials and structures to devices // *Chemical reviews*. 2020. Vol. 15. P.7399-515.
4. Snyder G.J., LeBlanc S., Crane D. Distributed and localized cooling with thermoelectrics, [et al.] // *Future energy*. 2021. Vol. 5. P. 748-51.
5. Vasil'ev E.N. The effect of thermal resistances on the coefficient of performance of a thermoelectric cooling system // *Technical Physics*. 2021. Vol. 66. P. 720-724.

6. Kuzichkin O.R., Vasilyev G.S., Surzhik D.I. Method for modeling dynamic modes of nonlinear control system for thermoelectric modules // *Advances in Dynamical Systems and Applications*. 2020. т. 15, № 2. P. 187-197.
7. 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.
8. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Магомедов Р.А.-М. Охлаждающие системы на базе сильноточных термоэлектрических полупроводниковых преобразователей. СПб.: Политехника, 2020. 285 с.
9. 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.
10. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Казумов Р.Ш. Экспериментальные исследования термоэлектрических теплообменных аппаратов проточного типа с тепловыми мостиками // *Вестник Международной академии холода*. 2010. № 4. С. 5-7.
11. 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.
12. Гончарова Г.Ю., Пытченко В.П., Борзов С.С., Борщев Г.В. Исследование процессов теплообмена при пленочном обтекании ледовых поверхностей с фазовым переходом на границе раздела // *Вестник Международной академии холода*. 2021. №4. С. 3-11.
13. Маринюк Б.Т., Королев И.А. Расчет и анализ динамики роста толщины слоя водного инея на охлаждаемой поверхности // *Холодильная техника*. 2016. № 11. С. 38-43.
14. Маринюк Б.Т., Угольников М.А. Динамика намораживания водного льда на трубчатых элементах льдогенераторов // *Холодильная техника*. 2016. №12. С. 44-47.
15. Marinyuk B.T., Ugol'nikova M.A., Serenov I.I. Heat transfer of a straight flat fin surface subjected to low temperature and immersed in an aqueous medium with a constant temperature // *Chemical and petroleum engineering*. 2016. № 11-12. P. 835-837.
16. Васильев Е.Н. Расчет и оптимизация теплообменников термоэлектрического блока охлаждения // *Теплофизика и аэромеханика*. 2022. т. 29, № 3. С.419-430.
17. Ибрагимов А.М., Евдулов О.В. Термоэлектрические полупроводниковые устройства для отвода теплоты от элементов РЭА // *Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: статья в сборнике научных трудов X Международной научно-технической конференции (Санкт-Петербург, 27-29 окт. 2021 г.)*. СПб., 2021. С.12-15.
18. Исмаилов Т.А., Евдулов Д.В., Евдулов О.В. Системы отвода теплоты от элементов РЭА на базе плавающих тепловых аккумуляторов // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2015. № 1 (36). С. 38-44.

References:

1. Egizov I.A., Ordobaev B.S., Abdykeeva Sh.S. Emergency rescue operations on water bodies. Bishkek: KRSU, 2017;. 123.
2. Finn P.-A., Asker C., Wan K., Bilotti E., Fenwick O., Nielsen C.-B. Thermoelectric materials: current status and future challenges. *Frontiers in electronic materials*. 2021; 1:1-13.
3. Shi X.-L. J., Zou J., Chen Z.-G. Advanced thermoelectric design: from materials and structures to devices. *Chemical reviews*. 2020; 15:7399-515.
4. Snyder G.J., LeBlanc S., Crane D. Distributed and localized cooling with thermoelectrics, [et al.] *Future energy*. 2021; 5: 748-51.
5. Vasil'ev E.N. The effect of thermal resistances on the coefficient of performance of a thermoelectric cooling system. *Technical Physics*. 2021; 66: 720-724.
6. Kuzichkin O.R., Vasilyev G.S., Surzhik D.I. Method for modeling dynamic modes of nonlinear control system for thermoelectric modules. *Advances in Dynamical Systems and Applications*. 2020; 15(2):187-197.
7. 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 monitoring the contact resistance. *Defectoscopy*. 2022; 12:70-78. (In Russ)
8. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Magomadov R.A.-M. Cooling systems based on high-current thermo-electric semiconductor converters. St. Petersburg: *Politehnika*, 2020; 285: (In Russ)
9. 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.
10. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Kazumov R.Sh. Experimental studies of flow-type thermoelectric heat exchangers with thermal bridges. *Herald of the International Academy of Refrigeration*. 2010; 4:5-7. (In Russ)
11. Evdulov O.V., Magomedova S.G., Mispakhov I.Sh., Nabiev N.A., Nasrulaev A.M. Thermoelectric system for removing foreign objects from the human body. *Herald of the Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2019; 46(1):32-41. (In Russ)

12. Goncharova G.Yu., Pytchenko V.P., Borzov S.S., Borshchev G.V. Study of heat and mass transfer processes during film flow around ice surfaces with a phase transition at the interface. *Herald of the International Academy of Refrigeration*. 2021; 4:3-11. (In Russ)
13. Marinyuk B.T., Korolev I.A. Calculation and analysis of the dynamics of growth of the thickness of the layer of water frost on a cooled surface. *Refrigeration technology*. 2016; 11:38-43. (In Russ)
14. Marinyuk B.T., Ugolnikova M.A. Dynamics of freezing of water ice on tubular elements of ice generators. *Refrigeration equipment*. 2016;12: 44-47. (In Russ)
15. Marinyuk B.T., Ugol'nikova M.A., Serenov I.I. Heat transfer of a straight flat fin surface subject to low temperature and immersed in an aqueous medium with a constant temperature. *Chemical and petroleum engineering*. 2016; 11-12: 835-837.
16. Vasiliev E.N. Calculation and optimization of heat exchangers of a thermoelectric cooling unit. *Thermal physics and aeromechanics*. 2022; 29(3):419-430. (In Russ)
17. Ibragimova A.M., Evdulov O.V. Thermoelectric semiconductor devices for removing heat from electronic elements // Low-temperature and food technologies in the 21st century: article in the collection of scientific papers of the X International Scientific and Technical Conference (St. Petersburg, October 27-29, 2021). St. Petersburg, 2021; 12-15. (In Russ)
18. Ismailov T.A., Evdulov D.V., Evdulov O.V. Systems for removing heat from electronic elements based on melting heat accumulators. *Herald of the Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2015;. 1 (36):38-44. (In Russ)

Сведения об авторах:

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

Евдулов Денис Викторович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры теоретической и общей электротехники; evdulovdenis@yandex.ru.

Габитов Ильдар Азатович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры теоретической и общей электротехники; gabitovia@mail.ru.

Яхьяев Магомедхабиб Умарович, аспирант кафедры теоретической и общей электротехники; ktioe@dstu.ru.

Information about authors:

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

Denis V. Evdulov, Cand. Sci. (Eng.), Senior lecturer, Department of Theoretical and General Electrical Engineering evdulovdenis@yandex.ru.

Ildar A. Gabitov, Cand. Sci. (Eng.), Senior lecturer, Department of theoretical and general electrical engineering; gabitovia@mail.ru.

Magomedhabib U. Yakhyayev, Graduate Student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering; ktioe@dstu.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 02.05.2024.

Одобрена после/рецензирования Revised 17.06.2024.

Принята в печать/ Accepted for publication 17.06.2024.