

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.36

Исмаилов Т.А., Мирземагомедова М.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕРМО- ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕПЛООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВ

Ismailov T.A., Mirzemaгомедова M. M.

RESEARCH OF STATIONARY OPERATING MODES OF THERMOELEC- TRIC HEATEXCHANGE DEVICES

Аннотация. Обоснована необходимость детального исследования термоэлектрических полупроводниковых теплообменных устройств. Выявлены отличительные особенности термоэлектрических устройств проточного типа, вызванные изменением температуры потоков теплоносителей вдоль спаев термоэлектробатарей.

Использованы системы дифференциальных уравнений, определяющих изменение температуры теплоносителей, исключив из них значения температур спаев. Построены математические модели для прямоточных и противоточных термоэлектрических тепловых насосов. Разработана математическая модель термоэлектрического теплообменного аппарата с условием, что теплоток в зазорах между полупроводниками отсутствуют. Построены зависимости температур охлаждаемой и нагреваемой жидкостей на выходе из теплообменного аппарата от коэффициента теплоотдачи к внутренней поверхности теплообменного аппарата и приведенного коэффициента теплоотдачи от внешней поверхности теплообменного аппарата. Доказано, что при одинаковом изменении значений коэффициента теплоотдачи к внутренней поверхности теплообменного аппарата и приведенного коэффициента теплоотдачи от внешней поверхности теплообменного аппарата уменьшение температуры охлаждаемой жидкости более ощутимо, чем увеличение температуры нагреваемой жидкости.

Обобщены основные результаты полученной модели, анализ проведен с использованием пакета MathCAD.

Ключевые слова: термоэлектричество, теплообменные устройства, термоэлектрические модули, полупроводниковые теплообменники.

Abstract. *The necessity of detailed research, relevant consume cal semiconductor heat transfer devices. Distinctive features of thermoelectric devices flow type caused by the change of temperature of streams of coolant along the junctions of termoelectromotoare are identified. Differential equations systems determining the temperature change of the coolants, excluding from them the values of the temperatures of the junctions are used. A mathematical model for parallel flow and counter-flow thermoelectric heat pumps has been constuctucted.*

A mathematical model of a thermoelectric heat exchanger without any flows of heat in the gaps between the semiconductors has been developed. The cooled and heated liquids temperature dependences at the outlet of the heat exchanger from the heat transfer coefficient to the inner surface of the heat exchanger and reduced heat transfer coefficient from the outer surface of the heat exchanger have been constucted. It is proved that for the same values of heat transfer coefficient to the inner surface of the heat exchanger and reduced heat transfer coefficient from the outer surface of the heat exchanger reducing the temperature of fluid to be cooled significantly more than the increase in the temperature of the heated liquid. The main results obtained by the model are summarized. The analysis is carried out using MathCAD.

Key words: *thermoelectricity, heatexchange devices, thermoelectric modules, semiconductor heat exchangers.*

Введение. Необходимость разработки и всестороннего исследования термоэлектрических полупроводниковых теплообменных устройств непосредственно связана с решением задач температурной стабилизации и управления режимами приборов и устройств с высокими тепловыми нагрузками. Несмотря на значительный прогресс в области термоэлектричества работы по полупроводниковым теплообменным устройствам (ТЭУ) практически отсутствуют.

Как показало исследование, в настоящее время не достаточно проанализированы различные тепловые схемы и режимы работы ТЭУ проточного типа, что, безусловно, препятствует широкому использованию их в народном хозяйстве.

Постановка задачи. Отличительной особенностью термоэлектрических устройств проточного типа является изменение температуры потоков теплоносителей вдоль спаев термоэлектробатареи, что определяет индивидуальные режимы работы термоэлементов на каждом элементарном участке длины батареи. Математические модели для прямоточных и противоточных термоэлектрических тепловых насосов (ТТН) с учетом изменения температур теплоносителей в виде системы дифференциальных уравнений, построенные в соответствии со схемой устройства, приведены в работе [1].

Они включают в себя уравнения холодо - и теплопроизводительности термобатареи на теплопоглощающих и тепловыделяющих спаях и уравнения теплового баланса для потоков теплоносителей.

Система уравнений в этом случае в безразмерной форме имеет следующий вид [1]:

$$\frac{d\Theta_1}{dx} = N(\Theta_1' - \Theta_1);$$

$$\frac{d\Theta_2}{dx} = \frac{\eta}{m} N(\Theta_2' - \Theta_2); \quad (1)$$

$$\Theta_1 - \Theta_1' = \beta(\gamma \cdot \Theta_1' - \frac{\gamma^2}{2} - \Delta\Theta');$$

$$\Theta_2' - \Theta_2 = m\beta(\gamma \cdot \Theta_2' + \frac{\gamma^2}{2} - \Delta\Theta');$$

где $N = \frac{\alpha_1}{W} S$; $\eta = \frac{W_1}{W_2}$; $m = \frac{Bi_1}{Bi_2}$; $\beta = Bi_1^{-1}$; $Bi_{1,2} = \alpha_{1,2}d / \lambda$; $S = lL$;

$$\Delta\Theta' = \Theta_2' - \Theta_1' .$$

Θ_1, Θ_2 - температуры охлаждаемых и нагреваемых теплоносителей соответственно;

x - координата на оси OX, направленной вдоль термобатареи;

l - длина термобатареи вдоль потока теплоносителей;

α_1, α_2 - коэффициенты теплоотдачи на охлаждаемых и нагреваемых сторонах термобатареи соответственно;

d - высота термоэлемента;

λ - коэффициент теплопроводности термоэлемента;

L - ширина термобатареи;

W_1, W_2 - водяные эквиваленты охлаждаемых и нагреваемых теплоносителей.

Методы исследования. Для получения системы дифференциальных уравнений, определяющих изменение температуры теплоносителей вдоль координаты X , исключим из выше указанных уравнений значения температур спаев Θ_1' и Θ_2' .

Решение такой системы для прямоточных ТТН имеет вид:

$$\begin{aligned} \Theta_1(x) &= \frac{1}{\Psi} [\Theta_1^* (\Psi ch \Psi x - vsh \Psi x) + \Theta_2^* b \eta sh \Psi x] e^{-Ux} - 1 + \frac{v}{2}; \\ \Theta_2(x) &= \frac{1}{\Psi} [\Theta_2^* (\Psi ch \Psi x + vsh \Psi x) + \Theta_1^* b \eta sh \Psi x] e^{-Ux} - 1 - \frac{v}{2}. \end{aligned} \quad (2)$$

где:

$$\Theta_1^* = \Theta_1^H + 1 - \frac{\nu}{2}; \quad \Theta_2^* = \Theta_2^H + 1 + \frac{\nu}{2}; \quad H_1 = 1 + \nu - \nu^2 m \beta, \quad H_2 = 1 - \nu - \nu^2 \beta;$$

$$U = \frac{b}{2}(H_1 + \eta H_2); \quad \nu = \frac{b}{2}(H_1 - \eta H_2); \quad \Psi = \sqrt{\nu^2 + \eta b^2}; \quad b = \frac{KS}{W_1}.$$

При граничных условиях: $\Theta_1|_{x=0} = \Theta_1^H; \Theta_2|_{x=0} = \Theta_2^H;$

Решение данной системы дифференциальных уравнений для случая противотока имеет вид:

$$\Theta_1(x) = \frac{\Theta_2^*[Ush\varphi(1-x) + \varphi ch\varphi(1-x)] + \Theta_1^* b e^{\varphi x} sh\varphi x}{(Ush\varphi + \varphi ch\varphi)e^{\varphi x}} - (1 - \frac{\nu}{2}); \quad (3)$$

$$\Theta_2(x) = \frac{\Theta_2^*(Ush\varphi x)e^{\varphi x} + \Theta_1^* b \eta sh\varphi(1-x)}{(Ush\varphi + \varphi ch\varphi)e^{\varphi x}} - (1 + \frac{\nu}{2}).$$

при граничных условиях: $\Theta_1|_{x=0} = \Theta_1^H; \Theta_2|_{x=0} = \Theta_2^H.$

где $\varphi = \sqrt{U^2 - \eta b^2}; \varphi^2 > 0$

Приведенная математическая модель разрабатывалась в предположении, что теплоперетоки в зазорах между полупроводниками отсутствуют.

Рассмотрим трубчатый термоэлектрический теплообменный аппарат, стенки которого изготовлены из полупроводниковых термоэлектрических элементов, соединенных последовательно, причем, снаружи аппарат обретен продольными ребрами на рисунке 1.

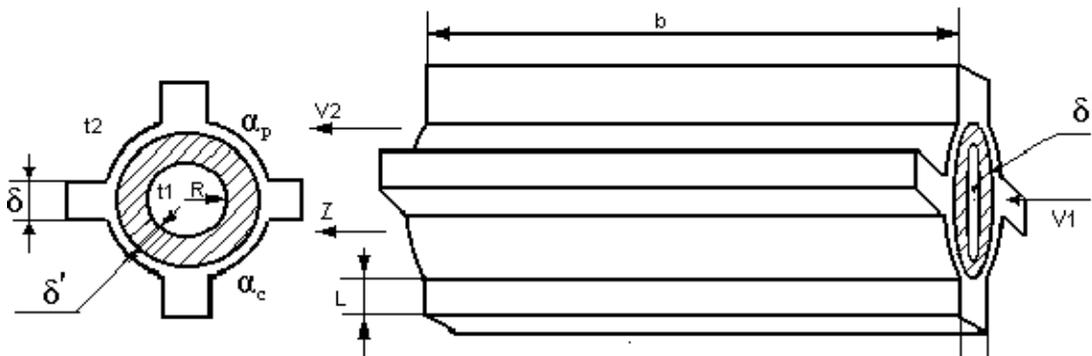


Рисунок 1. - Принципиальная схема термобатареи с продольными ребрами

На рисунке 1 термобатарей заштрихованы. С одного конца в термоэлектрический теплообменник втекает жидкость со скоростью V_1 , а снаружи теплообменник в этом же направлении Z омывается другой жидкостью со скоростью V_2 . Необходимо составить математическую модель указанного процесса, позволяющую определить температуры жидкостей вне и внутри теплообменника, на его выходе при учете указанного типа оребрения.

При составлении математической модели предполагалось, что значение коэффициента теплопроводности ребра достаточно велико, а его линейные размеры таковы, что можно допустить изменение температуры в нем только на высоте, и коэффициент теплоотдачи от поверхности ребра к окружающей среде считается постоянным для всей поверхности.

Используя дифференциальные уравнения [2], описывающие изменение температуры при сделанных выше допущениях, а также теплового баланса на спаях термобатарей в стационарном режиме, получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений, определяющих изменение температур жидкостей вдоль теплообменника:

$$\frac{d\Theta_1}{dx} = b_1 \left\{ [v^2 m_1 \beta - (1+v)] \Theta_1 + \Theta_2 + \frac{v^2}{2} [1 + (2-v)m_1 \beta] \right\}, \quad (4)$$

$$\frac{d\Theta_2}{dx} = \eta b_1 \left\{ [v^2 \beta - (1-v)] \Theta_2 + \Theta_1 + \frac{v^2}{2} [1 + (2+v)\beta] \right\}. \quad (5)$$

$$\text{где } b_1 = 2\pi R \frac{bK}{W_1}; \quad K = \left[\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_{np}} + \frac{\delta'}{\lambda_1} + v \left(\frac{1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_{np}} - \frac{v\lambda_1}{\alpha_1 \alpha_{np} \delta'} \right) \right]^{-1}.$$

Данная система уравнений позволяет определить температуры жидкостей вдоль теплообменника, в частности, на выходе из него при $x=1$.

Полученная система уравнений, хотя и совпадает по виду с системой, приведенной в работе [3], отличается от нее коэффициентами, учитывающими конфигурацию теплообменника и наличие на нем продольных ребер.

Обсуждение результатов. Рассмотрим основные результаты, полученные при расчетах теплообменного аппарата проточного типа с продольными ребрами. В данном случае рассмотрим распределение температуры как внутри теплообменного аппарата, так и снаружи.

При этом считаем, что охлаждаемая жидкость протекает внутри теплообменного аппарата, а нагреваемая – снаружи.

Для определения степени влияния условий теплообмена между стенками теплообменного аппарата и температурами протекающих охлаждаемых и нагреваемых жидкостей, построены зависимости температур охлаждаемой и нагреваемой жидкостей на выходе из теплообменного аппарата от коэффициен-

та теплоотдачи к внутренней поверхности теплообменного аппарата и приведенного коэффициента теплоотдачи от внешней поверхности теплообменного аппарата.

Данные зависимости соответственно показаны на рис.2. и рис.3.

График зависимости температуры охлаждаемой жидкости на выходе из теплообменного аппарата от коэффициента теплоотдачи к внутренней поверхности теплообменного аппарата имеет убывающий характер.

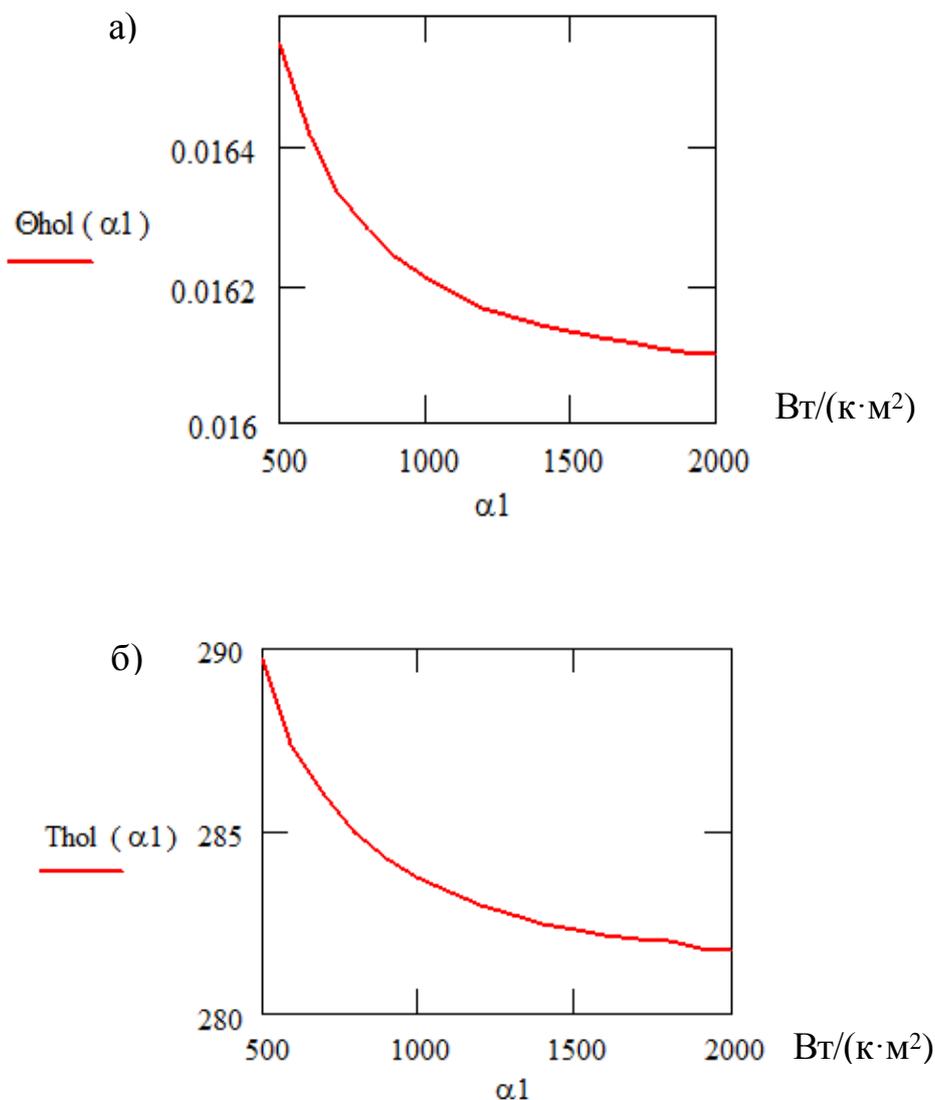


Рисунок 2.- Зависимость температуры охлаждаемой жидкости на выходе из теплообменного аппарата от коэффициента теплоотдачи к внутренней поверхности трубы при токе питания 8 А

(а – безразмерная температура, б – температура в К)

При увеличении коэффициента теплоотдачи к внутренней поверхности теплообменного аппарата с 500 Вт/(К·м²) до 2000 Вт/(К·м²) температура охлаждаемой жидкости уменьшается с 290 К до 282,5 К при величине электрического тока 8 А.

График зависимости температуры нагреваемой жидкости на выходе из теплообменного аппарата от приведенного коэффициента теплоотдачи от внешней поверхности теплообменного аппарата имеет возрастающий характер.

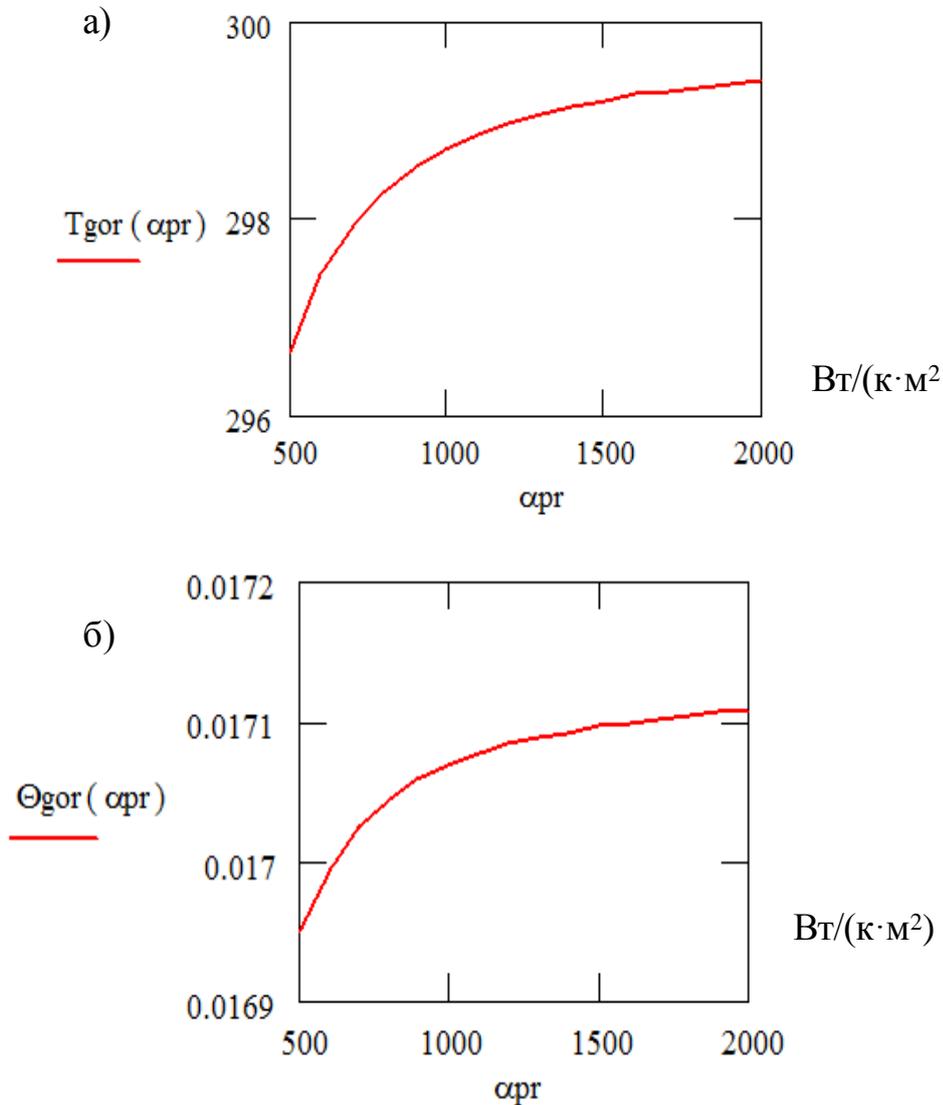


Рисунок 3. - Зависимость температуры охлаждаемой жидкости из теплообменного аппарата от приведенного коэффициента теплоотдачи от внешней поверхности теплообменного аппарата
(а – безразмерная температура, б – температура в К)

При увеличении приведенного коэффициента теплоотдачи от внешней поверхности теплообменного аппарата с 500 Вт/ К·м² до 2000 Вт/ К·м² температура нагреваемой жидкости на выходе теплообменного аппарата увеличивается с 296,7 К до 299,5 К.

Вывод. Как видно из полученных данных, при одинаковом изменении значений коэффициента теплоотдачи к внутренней поверхности теплообменного аппарата и приведенного коэффициента теплоотдачи от внешней поверхности теплообменного аппарата уменьшение температуры охлаждаемой жидкости

более ощутимо, чем увеличение температуры нагреваемой жидкости (для охлаждаемой жидкости уменьшение температуры составило 7,5 К, а для нагреваемой жидкости увеличение температуры составило 3 К).

Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании термоэлектрических теплообменных аппаратов подобного типа. В частности, увеличивать приведенный коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности теплообменного аппарата за счет более развитого оребрения.

Таким образом, получены математические модели стационарных режимов работы термоэлектрических теплообменных устройств проточного типа.

Библиографический список:

1. Цветков Ю.Н., Исмаилов Т.А. Термоэлектрические системы кондиционирования системы кондиционирования воздуха и приборы контроля. – Л.: Энергоатомиздат, ленинградское отделение, 1988. – 240 с.
2. Мурадова М.М., Гаджиева С.М. Моделирование стационарных режимов интенсификаторов теплопередачи с поперечными ребрами. – Изв.вузов., Приборостроение, 2000. -№ 5. – С. 48 -50.
3. Мурадова М.М. Моделирование стационарных режимов работы термоэлектрических теплообменных аппаратов. Изв.вузов., Приборостроение.- 2004.- № 7, С. 29-31.

References:

1. Yu. Tsvetkov, T.A. Ismailov Thermoelectric air conditioning systems air conditioning systems and control devices. - L. : Energoatomisdat, Leningrad department, 1988. - 240 p.
2. M.M.Muradova, S.M. Gadzhiev Simulation of stationary modes of heat transfer intensifiers with transverse ribs. - Izv.vuzov, Instrument, 2000. -№ 5. -. p. 48-50.
3. M. Muradova Simulation of steady-state operation of thermoelectric heat exchangers. Izv.vuzov., 2004.- Priborostroenie.- number 7, pp. 29-31.