

References:

1. Slesarenko V. N. The desalination plant. Vladivostok, dvgma, 1999.
2. Avdonin, N.. The mathematical description of crystallization processes. Riga: Zinatne, 1980.
3. Bondarev E. A., Vasiliev V. I., the Stefan Problem with an unknown temperature phase transition. Proceedings of the 7 Russian conference on heat and mass transfer. Vol. 7. – Minsk, 1984 pp. 34-39.
4. Shatalina I. N. Heat transfer in the processes of freezing and melting of ice. HP: Energoatomizdat. Leningr. otd-nie, 1990.- 120p.
5. Petrov A. G. the thermal diffusion problem with small initial impurity concentration. Dynamics of continuous medium. SB. scientific papers, Novosibirsk, 1983.
6. Ovcharova A. S. Numerical solution of stationary Stephan problem in a region with a free boundary. Computational technologies.- 1999.-Т. 4, Т. - pp. 88-99.
7. Grankina T. B. Mathematical modeling of the process of ice cover formation waters of different salinity – the dissertation on competition of a scientific degree of PhD of medical Science, Novosibirsk, 2006.
8. V. N. Lukanin Engineering. -M.: Higher school, 2006
9. S. L. Rivkin, A. A. Aleksandrov, Thermodynamic properties of in-water and water vapor. Reference. – M.:Energoatomizdat, 1984.
10. V. V. Biryuk, A. I. Shepelev, the formation of ice on the surface of cryogenic tanks. Vestnik of Samara state aerospace University. – 2008. - No. 3. – pp. 15-20.

УДК 621.362

Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Магомедова П.А., Челушкин Д.А.

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА СПИРАЛЬНОГО ТИПА

Ismailov T.A., Gadjiyev H.M., Magomedova P.A., Chelushkin D.A.

DEVELOPMENT OF THE ENERGY EFFICIENT THERMOELECTRIC HEAT PUMP OF SPIRAL TYPE

Аннотация. Обоснована необходимость интенсифицировать процесс теплопередачи в тепловом насосе. Показана возможность использования тепловых насосов для охлаждения жидкости в трубе двигателя.

Предложена новая конструкция теплового насоса спирального типа со светодиодными кольцевыми полупроводниковыми структурами, питание которой осуществляется за счет индукции магнитного поля. Выявлена эффек-

тивность светодиодных кольцевых полупроводниковых структур, которые работают при низких температурах за счет разницы энергетических уровней зарядов в *p*- и *n*-областях.

Разработана математическая модель для расчета электрических и теплофизических параметров энергоэффективного термоэлектрического теплового насоса спирального типа. Построен график зависимости температуры охлаждаемой жидкости на выходе из энергоэффективного термоэлектрического теплового насоса спирального типа от тока питания.

Доказана эффективность применения термоэлектрического теплового насоса спирального типа для охлаждения двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: теплообмен, термоэлектрическое устройство, тепловой насос, энергоэффективность, охлаждаемая жидкость.

Abstract. The necessity to intensify the process of heat transfer in the heat pump is justified. The possibility of heat pumps using for liquid cooling in the engine pipe is shown. The new heat pump design of spiral type with LED ring semiconductor structures, powered by magnetic induction is proposed. The efficiency of LED ring semiconductor structures that operate at low temperatures due to the difference in the levels of energy charges in *p*- and *n*-regions is revealed.

The mathematical model for the electrical and thermal parameters calculating of energy-efficient thermoelectric heat pump of the spiral type is developed. The diagram of coolant temperature dependence at the outlet of energy-efficient thermoelectric heat pump of spiral type on the supply current is built. The efficiency of spiral type thermoelectric heat pump application for cooling of the internal combustion engine is proven.

Key words: heat exchange, thermoelectric device, heat pump, energy efficiency, coolant.

Введение. Существуют различные способы теплообмена при помощи термоэлектрических устройств, в которых используется способность теплового насоса интенсифицировать процесс теплопередачи [5, 6, 9, 13].

Однако, несмотря на все вариации, увеличение количества энергии, переносимой тепловым насосом в теплообменнике, является актуальной задачей [2]. Повысить количество передаваемого тепла в окружающую среду возможно за счет изменения конструкции теплового насоса [7].

Также, в настоящее время, актуальна проблема по разработке эффективных теплообменных устройств для автомобильных двигателей с жидкостным охлаждением [8, 15, 16]. От теплофизических параметров автомобильного радиатора для охлаждения жидкости и отводу тепла в окружающую среду зависят основные технические характеристики автомобиля – мощность и надежность.

Постановка задачи. Применив новую конструкцию теплового насоса для охлаждения жидкости в трубе двигателя, можно повысить эффективность его работы.

Методы исследования. Для увеличения количества энергии, переносимой тепловым насосом от жидкости в трубе в окружающую среду можно применить конструкцию, в которой помимо конвективного и кондуктивного теплопереноса большая часть энергии отводится в виде оптического излучения, формируемого светодиодными кольцевыми полупроводниковыми структурами, причем питание осуществляется за счет индукции магнитного поля.

На рисунке 1 представлен энергоэффективный термоэлектрический тепловой насос спирального типа [12].

По трубе 1 протекает охлаждаемая жидкость. Питание осуществляется за счет индукции магнитного поля, формируемого соленоидом 2. Кольцевые светодиодные полупроводниковые структуры состоят из полупроводников р-типа 3 и n-типа 4, разделенных диэлектриком 5.

Работает энергоэффективный термоэлектрический тепловой насос спирального типа следующим образом. При протекании импульсного тока через соленоид 2 формируется импульсное магнитное поле, которое индуцирует в кольцевых термоэлектрических структурах токи питания.

При протекании импульсного индукционного тока от полупроводника р-типа к n-типу, за счет охлаждающего термоэлектрического эффекта Пельтье, происходит поглощение тепловой энергии от трубы 1 у охлаждаемой жидкости. При протекании импульсного индукционного тока от полупроводника n-типа к р-типу светодиодные переходы генерируют фотоны, которые мгновенно безынерционно отводят энергию в окружающую среду.

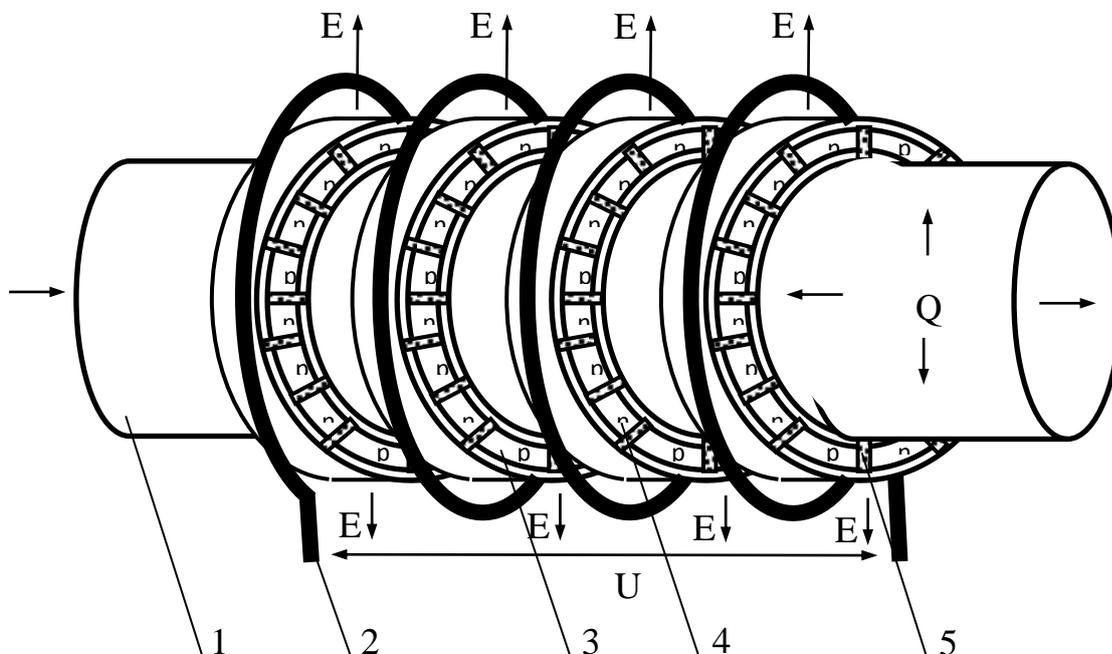


Рисунок 1 - Энергоэффективный термоэлектрический тепловой насос спирального типа

Вместо нагревающего термоэлектрического эффекта Пельтье внешние р-п-переходы светодиодов без тепловыделения преобразуют энергию рекомбинирующих зарядов в полупроводниках р- и п-типа в электромагнитное излучение.

Причем, в отличие от обычного отвода тепла излучением, от нагретых тел не требуется высокая температура излучающей поверхности, при которой, за счет соударений, кинетическая энергия атомов преобразуется в изменение орбитальной энергии электронов, и испускание квантов электромагнитного излучения тем большей частоты, чем больше энергетический перепад между этими электронными орбитами [3, 4, 8, 10, 11, 14].

В светодиодах процесс излучения может протекать даже при низких температурах за счет разницы энергетических уровней зарядов в р- и п-областях. Поэтому отсутствуют паразитные тепловыделения и паразитный кондуктивный теплоперенос.

Таким образом, энергоэффективный термоэлектрический тепловой насос спирального типа позволяет увеличить количество энергии, переносимой от жидкости в трубе в окружающую среду в виде электромагнитного излучения.

Применение энергоэффективного термоэлектрического теплового насоса спирального типа в качестве автомобильного радиатора позволяет не включать фары ближнего света в процессе движения (в соответствии с правилами дорожного движения), так как свет от радиатора может полностью заменить свет от фар для обеспечения безопасности движения. При этом будет достигнута существенная экономия топлива, так как для работы автомобильных фар требуется работа автомобильного электрогенератора и двигателя внутреннего сгорания, причем незначительный КПД обоих узлов приводит к дополнительным энергозатратам.

Для расчета электрических и теплофизических параметров энергоэффективного термоэлектрического теплового насоса спирального типа была разработана математическая модель. Температура теплоносителя внутри автомобильного теплообменника в любом поперечном сечении одна и та же, характеристики термоэлементов не зависят от температуры, размеры термоэлементов малы по сравнению с длиной термобатареи. Коэффициенты теплопередачи принимаем постоянными, а течение охлаждаемой жидкости стабилизированным ламинарным [1].

В рамках сделанных допущений рассмотрим случай, когда жидкость внутри автомобильного теплообменника считается охлаждаемой. В этом случае для определения температуры охлаждаемой жидкости вдоль теплообменника можно выписать в безразмерном виде следующую систему соотношений:

$$\frac{d\Theta}{dx} = N_1 (\Theta' - \Theta),$$

$$\Theta - \Theta' = \beta \left[\nu \Theta' - \frac{v^2}{2} - (\Theta_1' - \Theta_1') \right],$$

$$\Theta_1' - \Theta_1 = \beta m \left[\nu \Theta_1' + \frac{v^2}{2} - (\Theta_1' - \Theta_1') \right],$$
(1)

где Θ – температура охлаждаемой жидкости внутри автомобильного теплообменника:

$$\Theta = \bar{e} 2 T / \rho \lambda ;$$

\bar{E} – средний коэффициент термо-ЭДС, Вт/А К ;

ρ – удельное сопротивление термоэлектрического вещества, Ом. м;

λ – коэффициент теплопроводности ТЭБ, Вт/м К;

T – температура охлаждаемой жидкости, К;

Θ' – безразмерная температура внутреннего "холодного" спая термобатареи, $\Theta' = \bar{e} 2 T' / \rho \lambda$;

$$N_1 = 2 \pi r_0 L \alpha_1 / W_1,$$

r_0 - внутренний радиус трубы,

L – длина теплообменника;

α_1 – коэффициент теплоотдачи от охлаждаемой жидкости к внутренней стенке теплообменника, зависящей от режима течения, Вт/м² К;

$W = C_1 \rho_1 \pi r_0^2 V_1$ – водяной эквивалент охлаждаемой жидкости;

ρ_1 – плотность охлаждаемой жидкости, кг/м³;

C_1 – удельная теплоемкость жидкости, Дж/кг К;

V_1 – скорость течения охлаждаемой жидкости в теплообменнике, м/с;

Θ_1 – безразмерная постоянная температура внешней среды,

$$\Theta_1 = \bar{e} 2 T_1 / \rho \lambda ;$$

Θ_1' – безразмерная температура внешнего «горячего» спая термобатареи,

$$\Theta_1' = \bar{e}_2 T_1' / \rho \lambda ;$$

$m = \alpha_1 / \alpha_{пр}$ – безразмерный параметр;

$\alpha_{пр}$ – приведенный коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности автомобильного теплообменника к окружающей среде, Вт/м² К;

$\beta = \lambda / \alpha_1 \delta_1$ – безразмерный параметр;

δ_1 – толщина стенки трубы автомобильного теплообменника (высота термобатареи),

$$\delta_1 = r_1 - r_0 ;$$

r_1 – внешний радиус трубы автомобильного теплообменника;

$\nu = \bar{e} \delta_1 I / S \lambda$ – безразмерная плотность тока питания;

S – площадь поперечного сечения одной ветви полупроводникового термоэлемента, м²;

I – сила тока, А.

Исключая из первого уравнения системы (2) Θ' с помощью второго и третьего уравнений этой же системы, получим следующее уравнение для определения Θ :

$$\frac{d\Theta}{dx} = b(v^2 m\beta - v - 1)\Theta + b(\Theta_1 + \frac{v^2}{2} + v^2 m\beta - \frac{v^3}{2} m\beta), \quad (2)$$

где $b = 2\pi r_0 LK / W_1$;

$$K = \left[\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_{np}} + \frac{\delta_1}{\lambda} + v \left(\frac{1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_{np}} - \frac{v\lambda}{\alpha_1 \alpha_{np} \delta_1} \right) \right]^{-1}.$$

На входе в теплообменник температура охлаждаемой жидкости равна:

$$\Theta|_{x=0} = \Theta_{ex},$$

где

$$\Theta_{ex} = T_{ex} \bar{e}^2 / \rho\lambda. \quad (3)$$

Температуру охлаждаемой жидкости на выходе из теплообменника обозначим через $\Theta_{вых}$. Тогда:

$$\Theta|_{x=1} = \Theta_{вых},$$

где

$$\Theta_{вых} = T_{вых} \bar{e}^2 / \rho\lambda. \quad (4)$$

Решая уравнения (1 – 4), можно определить $\Theta_{вых}$ при $x=1$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Theta_{вых} = \left(\Theta_{ex} + \frac{\Theta_1 + \frac{v^2}{2} + v^2 m\beta}{v^2 m\beta - v - 1} \right) e^{b(v^2 m\beta - v - 1)} - \frac{\Theta_1 + \frac{v^2}{2} + v^2 m\beta - \frac{v^3}{2} m\beta}{v^2 m\beta - v - 1}, \\ \text{если } v^2 m\beta - v - 1 \neq 0 \end{array} \right. \quad (5)$$

или

$$\left\{ \begin{array}{l} \Theta_{вых} = \Theta_{ex} + b \left(\Theta_1 + \frac{v^2}{2} + v^2 m\beta - \frac{v^3}{2} m\beta \right), \\ \text{если } v^2 m\beta - v - 1 = 0 \end{array} \right. \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) определяют значение температуры теплоносителя в теплообменнике в случае, когда идет процесс отбора тепла от внутренней охлаждаемой жидкости и передачи его окружающей среде [1].

Температуры поверхностей автомобильного теплообменника снаружи и изнутри на выделенных элементарных участках шириной dx считаем постоянными. При таком условии уравнения теплового баланса выглядят так:

$$\alpha_{np} (T_1 - T_1') = \bar{e} j T_1' - \frac{1}{2} j^2 \rho \delta_1 - \frac{\lambda}{\delta_1} (T_1' - T_1'). \quad (7)$$

$$\alpha_1 (T' - T) = \bar{e} j T' + \frac{1}{2} j^2 \rho \delta_1 - \frac{\lambda}{\delta_1} (T' - T_1'). \quad (8)$$

где $j = i/S$ – плотность тока питания.

Введем безразмерные величины: $\Theta = T_1 \bar{e}_2 / \rho\lambda$; $\Theta' = T'_1 \bar{e}_2 / \rho\lambda$; $\Theta'' = T''_1 \bar{e}_2 / \rho\lambda$; $\Theta = T \bar{e}_2 / \rho\lambda$; $\nu = \bar{e} \delta_1 j / \lambda$; $\beta_1 = \lambda / \alpha_{np} \delta_1$. Тогда получим:

$$\frac{d\Theta_1}{dx} = N_2 (\Theta'_1 - \Theta_1) \tag{9}$$

$$\frac{d\Theta}{dx} = \eta_1 \frac{N_2}{m_1} (\Theta' - \Theta) , \tag{10}$$

$$\Theta_1 - \Theta'_1 = \beta_1 \left[\nu \Theta'_1 - \frac{1}{2} \nu^2 - (\Theta' - \Theta'_1) \right] . \tag{11}$$

$$\Theta' - \Theta = m_1 \beta_1 \left[\nu \Theta' + \frac{1}{2} \nu^2 - (\Theta' - \Theta'_1) \right] . \tag{12}$$

где $N_2 = 2\pi RL \alpha_{np} / W$; $\eta_1 = W r_0 / W_1 R$; $m_1 = \alpha_{np} / \alpha_1$.

Исключим Θ'_1 и Θ' из уравнений (9) – (12), и обозначив через $b_1 = K_1 2\pi RL / W$, где: $K_1 = \left[\frac{\delta_1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{np}} + \frac{1}{\alpha_1} + \nu \left(\frac{1}{\alpha_{np}} - \frac{1}{\alpha_1} - \frac{\lambda \nu}{\alpha_1 \alpha_{np} \delta_1} \right) \right]^{-1}$, то система уравнений (9), (10) переписывается так:

$$\frac{d\Theta_1}{dx} = b_1 \left\{ \left[\nu^2 m_1 \beta_1 - (1 + \nu) \right] \Theta_1 + \Theta + \frac{\nu^2}{2} \left[1 + (2 - \nu) m_1 \beta_1 \right] \right\} , \tag{13}$$

$$\frac{d\Theta}{dx} = \eta_1 b_1 \left\{ \left[\nu^2 \beta_1 - (1 - \nu) \right] \Theta + \Theta_1 + \frac{\nu^2}{2} \left[1 + (2 + \nu) \beta_1 \right] \right\} . \tag{14}$$

Так как, по предположению, температура внешней среды постоянна, то из уравнения (13) следует соотношение $b \ll 1$, т.е. водяной эквивалент W внешней среды намного больше остальных параметров. В этом случае решение уравнения (14) для граничного условия $\Theta_1(0) = \Theta_{вх}$ выглядит следующим образом:

$$\Theta = \begin{cases} \left(\Theta_{вх} + \frac{B}{A} \right) e^{Ax} - \frac{A}{B}, \text{ если } A \neq 0 \\ \Theta_{вх} + Bx, \text{ если } A = 0. \end{cases} \tag{15}$$

где $A = \varphi \left[\nu^2 \beta_1 - (1 - \nu) \right]$;

$$B = \varphi \left(\Theta_1 + \frac{\nu^2}{2} \left[1 + (2 + \nu) \beta_1 \right] \right) ;$$

$$\varphi = \eta_1, \quad b_1 = K_1 2\pi r_0 L / W_1 .$$

Температура охлаждаемой жидкости на выходе из теплообменника при $x=1$ из выражения (15) определяется так:

$$\Theta_{\text{вых}} = \begin{cases} \left(\Theta_{\text{вх}} + \frac{\Theta_1 + \frac{v^2}{2} + v^2 \beta_1 + \frac{v^3}{2} \beta_1}{v^2 \beta + v - 1} \right) e^{\varphi(v^2 \beta_1 + v - 1)} - \frac{\Theta_1 + \frac{v^2}{2} + v^2 \beta_1 + \frac{v^3}{2} \beta_1}{v^2 \beta + v - 1} \\ \text{если } v^2 \beta + v - 1 \neq 0. \end{cases} \quad (16)$$

или

$$\Theta_{\text{вых}} = \begin{cases} \Theta_{\text{вх}} + \varphi \left(\Theta_1 + \frac{v^2}{2} + v^2 \beta_1 + \frac{v^3}{2} \beta_1 \right), \\ \text{если } v^2 \beta_1 + v - 1 = 0 \end{cases} \quad (17)$$

В выражениях (5), (6), (16), (17) $\beta_1 = m\beta = \lambda/\alpha_{\text{пр}} \delta_1$; коэффициенты b и φ отличаются параметрами K и K_1 .

Обозначим через $p = \lambda/\alpha_{\text{пр}} \delta_1$; $H = 2\pi r_0 L K_2 / W_1$;

$$K_2 = \left[\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_{\text{пр}}} + \frac{\delta_1}{\lambda} + v \left(\frac{q}{\alpha_1} - \frac{q}{\alpha_{\text{пр}}} - \frac{v\lambda}{\alpha_1 \alpha_{\text{пр}} \delta_1} \right) \right]^{-1}. \quad (18)$$

Тогда (5), (6), (16), (17) можно выразить одной формулой:

$$\Theta_{\text{вых}} = \begin{cases} \left(\Theta_{\text{вх}} + \frac{\Theta_1 + \frac{v^2}{2} + v^2 p - \frac{v^3}{2} pq}{v^2 p - vq - 1} \right) e^{H(v^2 - vq - 1)} - \frac{\Theta_1 + \frac{v^2}{2} + v^2 p - \frac{v^3}{2} pq}{v^2 p - vq - 1}, \\ \text{если } v^2 p - vq - 1 \neq 0. \\ \Theta_{\text{вх}} + H \left(\Theta_1 + \frac{v^2}{2} + v^2 p - \frac{v^3}{2} pq \right), \text{ если } v^2 p - vq - 1 = 0 \end{cases} \quad (19)$$

В некоторых случаях температура охлаждаемой жидкости в теплообменнике может меняться не монотонно. Это связано с наличием противоположно действующих потоков тепла – тепла за счет теплопроводности и тепла Пельтье, соотношение между которыми меняется вдоль термоэлектрической батареи [7].

В выражении (19) для вычисления температуры теплоносителя на выходе из теплообменника остаются неопределенными коэффициенты α_1 и $\alpha_{\text{пр}}$.

Коэффициент теплоотдачи α_1 при гидродинамически стабилизированном ламинарном течении охлаждаемой жидкости с неизменными физическими свойствами вычисляется по формуле:

$$\alpha_1 \approx \lambda Nu \frac{1}{2r_0}. \quad (20)$$

где $Nu=4,36$ – число Нусельта.

Коэффициент теплоотдачи внешней поверхности термоэлектрического устройства α_{np} определим из следующего выражения:

$$\alpha_{np} = \frac{1}{F_{PC}} \left(\alpha_P F_P \frac{th(\mu h')}{\mu h'} + \alpha_C F_C \right), \quad (21)$$

где α_P, α_C – коэффициенты теплоотдачи поверхности термоэлектрического устройства и гладкой части трубы, соответственно, F_P, F_C – площади поверхности термоэлектрического устройства и гладкой части трубы, соответственно.

$$\mu = \sqrt{2\alpha_P / \lambda_P \delta}; \quad h' = (r_2 - r_1) \left(1 + 0,35 \ln \frac{r_2}{r_1} \right); \quad (22)$$

где δ – толщина одного модуля термоэлектрического устройства;

λ_P – коэффициент теплопроводности ребра, Вт/м·К;

F_{PC} – площадь условной поверхности термоэлектрического устройства, приходящейся на единицу длины автомобильного теплообменника;

r_2 – радиус модуля термоэлектрического устройства.

$$F_P = \frac{2\pi N}{L} (r_2^2 - r_1^2 - r_2 \delta); \quad F_C = 2\pi r_1 (L - N\delta) / L; \quad F_{PC} = nS / L, \quad (23)$$

где N – число модулей термоэлектрического устройства теплообменника;

n – число ветвей в термобатарее.

Формулы (19) с учетом (20) и (21) рассчитаны для теплообменника, имеющего следующие параметры: $\lambda=1,4$ Вт/м·К; $N=33$; $\lambda_p=400$ Вт/м·К; $\alpha_c=10$ Вт/м²·К; $\alpha_p=10$ Вт/м²·К; $r_2=0,036$ м; $r_1=0,012$ м; $r_0=0,003$ м; $n=200$; $\delta=0,002$ м; $\delta_1=0,01$ м; $L=0,44$ м; $\bar{e}=0,0002$ Вт/А·К; $S=0,000008$ м²; $v_1=0,113$ м/с; $C_1=4200$ Дж/кг·К; $\rho_1=1000$ кг/м³; $T_{вх}=285,5$ К; $T_1=292,5$ К.

На рис. 2 представлен график зависимости температуры охлаждаемой жидкости на выходе из энергоэффективного термоэлектрического теплового насоса спирального типа от тока питания, полученный на основе численного эксперимента по предложенной модели.

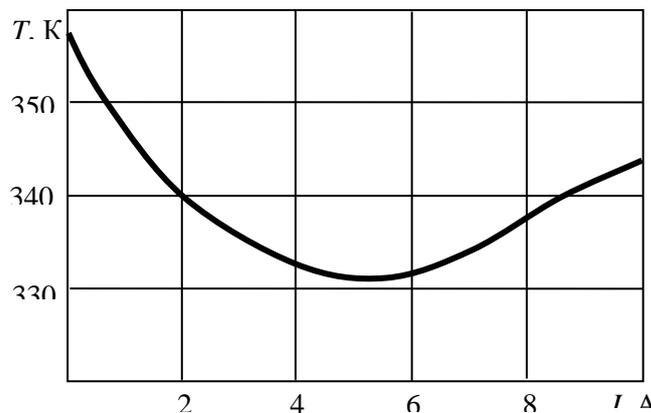


Рисунок 2 – Зависимость температуры охлаждаемой жидкости на выходе из энергоэффективного термоэлектрического теплового насоса спирального типа от тока питания

Обсуждение результатов. В целом рассмотрение результатов расчетов показывает, что предложенная математическая модель энергоэффективного термоэлектрического теплового насоса спирального типа при работе его в режиме охлаждения, нагрева и интенсификации учитывает теплофизические процессы, происходящие в нем с учетом воздействующих факторов.

Вывод. Предлагаемый энергоэффективный термоэлектрический тепловой насос спирального типа трансформирует в свет паразитное тепло от работы двигателя внутреннего сгорания. Это повысит энергосберегающие характеристики автомобиля при условии сохранения безопасности дорожного движения.

Библиографический список:

1. Исмаилов Т.А. Термоэлектрические полупроводниковые устройства и интенсификаторы теплопередачи. – С.-Пб.: ОАО «Издательство «Политехник»», 2005. – 534 с.
2. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Термоэлектрическое охлаждение тепло выделяющих компонентов микроэлектронной техники. – М.: «Академия», 2012. – 136 с.
3. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Гаджиева С.М. Многослойное излучающее термоэлектрическое устройство // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2013. - №1.- С.90-93.
4. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Гаджиева С.М. Тонкопленочные термоэлектрические устройства с отводом тепла в виде излучения для охлаждения микросистемной техники // Научное приборостроение. - 2013. – Т.23. - №3. - С.120-124.
5. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Нежведилов Т.Д. Термостабилизация микроэлектронной аппаратуры при помощи полупроводниковых термоэлектрических устройств. - Махачкала: ИПЦ ДГТУ, 2013. – 149 с.
6. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. Интенсификация теплопереноса от кристалла интегральной схемы к теплоотводу за счет применения нанопленочного термоэлектрического теплового насоса // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2014. - №32. – С. 7-15.
7. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. Высокоэффективные полупроводниковые термоэлектрические устройства и приборы. – Махачкала: ИПЦ ФГБОУ ВПО «ДГТУ», 2014. –112 с.
8. Исмаилов Т.А. Гаджиев Х.М. Микроэлектронные компоненты с интегральным использованием эффекта Пельтье и оптического излучения. – Махачкала: ИПЦ ФГБОУ ВО «ДГТУ», 2015. –112 с.
9. Гаджиев Х.М. Челушкин Д.А. Полупроводниковое термоэлектрическое устройство для термостатирования компьютерного процессора с применением материалов в состоянии фазового перехода // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2015. – №38 – С. 37 – 43.

10. Патент RU №2156424. МПК: F28D7/10, F28D21/00. Термоэлектрический полупроводниковый теплообменник / Исмаилов Т.А., Магомедов К.А., Гаджиева С.М., Мурадова М.М.// Оpubл. 20.09.2000.

11. Патент RU №2405230, МПК: H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Способ отвода тепла от тепловыделяющих электронных компонентов в виде излучения / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А.// Оpubл. 01.06.2009. Бюл. №33.

12. Патент RU №2205279, МПК: F01P3/20. Термоэлектрический автомобильный радиатор / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Зарат А., Гафуров К.А.// Оpubл. 27.05.2003. Бюл. №27.

13. Патент RU №2098725, МПК: F25B21/02, H01M10/50. Способ охлаждения объекта каскадной термоэлектрической батареей и устройство для его осуществления / Манухин В.В., Дубинин Н.И., Колобаев В.А., Кудрявцев А.В., Волков В.Ю., Марковский М.А.// Оpubл. 10.12.1997.

14. Патент RU №2507613. МПК: G12B 15/06, H01L 23/34, H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Каскадное светоизлучающее термоэлектрическое устройство / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А.// Оpubл. 20.02.2014. Бюл. №5.

15. Патент RU №2368877. МПК: G01K 7/22. Термостат с дискретными полупроводниковыми термоэлектрическими преобразователями/ Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Гафуров К.А.// Оpubл. 08.08.2006. Бюл. №27.

16. Патент RU №2535597, МПК: F28D 15/06. Способ интенсификации теплообмена в тепловой трубе / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д.// Оpubл. 20.12.2014. Бюл. №35

References:

1. T.A. Ismailov. Thermoelectric semiconductor devices and the heat transfer enhancers. – S.-Pb.: OJSC «Polytechnic «Publisher»», 2005. – 534 p.

2. T.A. Ismailov, H.M. Gadjeiev. Thermoelectric cooling fuel components of microelectronic technology. - M.: «Academy», 2012. - 136 p.

3. T.A. Ismailov, H.M. Gadjeiev, S.M. Gadjeieva. Laminated emitting thermoelectric device. Proceedings of Russian higher educational institutions. Electronics. - 2013. - №1. - pp.90-93.

4. T.A. Ismailov, H.M. Gadjeiev, S.M. Gadjeieva. Thin-film thermoelectric devices with heat in the form of radiation for cooling microsystem technology. Scientific instrument. - 2013. - T.23. - No. 3. - pp.120-124.

5. T.A. Ismailov, H.M. Gadjeiev, T.D. Nejvedilov. Thermal stabilization of microelectronic devices using semiconductor thermoelectric devices. – Makhachkala DSTU CPI, 2013. - 149 p.

6. T.A.Ismailov, H.M.Gadjiev, T.A.Chelushkina, D.A.Chelushkin. Intensification of heat transfer from the integrated circuit chip to the heat sink through the use nanoplennogo thermoelectric heat pump. Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science. - 2014. - №32. - pp. 7-15.
7. T.A.Ismailov, H.M.Gadjiev, T.A.Chelushkina, D.A.Chelushkin. High-performance semiconductor thermoelectric devices and appliances. - Makhachkala: CPI VPO «DSTU», 2014. -112 p.
8. T.A.Ismailov, H.M.Gadjiev. Microelectronic components integrated using the Peltier effect and optical radiation. – Makhachkala: CPI FGBOU IN «DSTU», 2015. -112 p.
9. H.M.Gadjiev, D.A.Chelushkin. Solid state thermoelectric device for computer CPU temperature control using materials in a state of transition phase. Herald of Daghestan state technical University. Technical sciences. - 2015. - №38- pp.37-43.
10. Patent RU № 2156424. IPC: F28D7 / 10, F28D21 / 00. The thermoelectric semiconductor heat exchanger. T.A.Ismailov, K.A.Magomedov, S.M.Gadjieva, M.M.Muradova. Publ. 20.09.2000.
11. Patent RU № 2405230, IPC: H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. A method of removing heat from the heat generating electronic components in the form of radiation. T.A.Ismailov, H.M.Gadjiev, S.M.Gadjieva, T.D.Nejvedilov, D.A.Chelushkin. Publ. 01.06.2009. Bull. №33.
12. Patent RU № 2205279, IPC: F01P3 / 20. Thermoelectric car cooler. T.A.Ismailov, H.M.Gadjiev, Zarat A., K.A.Gafurov. Publ. 27.05.2003. Bull. №27.
13. Patent RU №2098725, IPC: F25B21 / 02, H01M10 / 50. A method of cooling an object cascade thermoelectric battery and device for its implementation. V.V.Manukhin, N.I.Dubinin, V.A.Kolobaev, A.V.Kudryavtsev, V.Y.Volkov, M.A.Markov. Publ. 10.12.1997.
14. Patent RU №2507613. IPC: G12B 15/06, H01L 23/34, H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Cascading light emitting thermoelectric device. T.A.Ismailov, H.M.Gadjiev, S.M.Gadjieva, T.D.Nejvedilov, D.A.Chelushkin. Publ. 02.20.2014. Bull. №5.
15. Patent RU №2368877. IPC: G01K 7/22. Thermostat with discrete semiconductor thermoelectric converters. T.A.Ismailov, H.M.Gadjiev, S.M.Gadjieva, K.A.Gafurov. Publ. 08.08.2006. Bull. №27.
16. Patent RU № 2535597, IPC: F28D 15/06. The process of heat transfer enhancement in the heat pipe. T.A.Ismailov, H.M.Gadjiev, S.M.Gadjieva, T.D.Nejvedilov. Publ. 20.12.2014. Bull. №35.