

К. т. н. В. П. ЗАЙКОВ, д. т. н. В. М. МЕЩЕРЯКОВ, к. т. н. Ю. И. ЖУРАВЛЁВ

Украина, Одесский государственный экологический университет

E-mail: gradan@ua.fm

МОДЕЛЬ ВЗАИМОСВЯЗИ ГЕОМЕТРИИ ВЕТВЕЙ ТЕРМОЭЛЕМЕНТОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОДНОКАСКАДНЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ В РЕЖИМЕ $Q_{0\max}$

Рассмотрено влияние геометрии ветвей термоэлементов на показатели надежности однокаскадных термоэлектрических устройств (ТЭУ), работающих в режиме максимальной холодопроизводительности, при тепловой нагрузке 2,0 Вт для различных перепадов температуры (от 10 до 60 К). Предложена модель взаимосвязи этих параметров. Показано, что с уменьшением отношения высоты ветви термоэлемента к площади ее поперечного сечения интенсивность отказов однокаскадно-го ТЭУ уменьшается, а следовательно, вероятность безотказной работы увеличивается.

Ключевые слова: термоэлектрическое устройство, геометрия ветви термоэлемента, интенсивность отказов, вероятность безотказной работы, надежность.

В настоящее время термоэлектрическое охлаждение широко применяется в различных отраслях современной техники. Область его использования распространяется на радиоэлектронику, квантовую оптику, СВЧ-технику, автономные и возобновляемые источники энергии, измерительную технику, метрологию, медицинскую аппаратуру, а также на устройства кондиционирования и многочисленные приборы бытовой техники.

Основные преимущества термоэлектрического способа охлаждения перед другими заключаются в высокой надежности, малых габаритах, простоте управления и быстрейшем времени устройств. Эти преимущества по своей сути являются следствием твердотельной природы таких охладителей, т. е. отсутствия движущихся частей, перекачиваемых жидкостей или газов.

Вопросам теоретического и экспериментального исследования охлаждающих термоэлектрических устройств (ТЭУ) посвящено достаточно много работ, например [1–7]. Вместе с тем, изучение такого важного для практического применения ТЭУ вопроса, как повышение их надежности, остается весьма актуальным.

Существуют различные способы достижения необходимого уровня показателей надежности ТЭУ [8]. Одним из них является выбор величины рабочего тока I и, соответственно, режима работы ТЭУ при заданной геометрии ветви термоэлемента (отношении высоты l ветви к площади ее поперечного сечения S) [9–11]. Другой способ – параметрический – заключается в улучшении качества исходных термоэлектрических материалов, в первую очередь в повышении их эффективности, а также в применении различных сочетаний таких параметров исходных ма-

териалов, как термо-эдс и коэффициент электропроводности [12–15]. В тех случаях, когда при построении ТЭУ используются унифицированные модули, номенклатура размеров которых достаточно широка, перед разработчиком стоит задача рационального выбора геометрии ветвей термоэлементов в зависимости от условий функционирования.

В настоящей работе рассмотрен конструктивный метод повышения надежности однокаскадного ТЭУ и предложена модель взаимосвязи показателей надежности и геометрии ветвей термоэлементов в режиме $Q_{0\max}$.

Исследования проводились для следующих исходных данных:

- тепловая нагрузка $Q_0 = 2,0$ Вт;
- температура тепловыделяющего спая $T = 300$ К;
- значения перепада температуры $\Delta T = 0; 20; 40; 60$ К;
- усредненная термоэлектрическая эффективность $\bar{z}_M = 2,4 \cdot 10^{-3}$ 1/К;
- номинальная интенсивность отказов $\lambda_0 = 3 \cdot 10^{-8}$ 1/ч;
- назначенный ресурс $t = 10$ ч.

Основные параметры и показатели надежности ТЭУ рассчитывались для различных значений l/S с использованием известных соотношений [1]:

$$Q_0 = nI^2_{\max} R(2B - B^2 - \Theta) = n\gamma(2B - B^2 - \Theta); \quad (1)$$

$$W = 2n\gamma B[B + (\Delta T_{\max}/T_0)\Theta]; \quad (2)$$

$$E = Q_0/W = [2B - B^2 - \Theta]/[2B(B + (\Delta T_{\max}/T_0)\Theta)]; \quad (3)$$

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ

— относительная величина интенсивности отказов

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{nB^2 [\Theta + C] [B + (\Delta T_{\max}/T_0)\Theta]}{[1 + (\Delta T_{\max}/T_0)\Theta]^2} K_T; \quad (4)$$

— вероятность безотказной работы

$$P = \exp(-\lambda t), \quad (5)$$

где n — количество термоэлементов;

I_{\max} — максимальный рабочий ток, $I_{\max} = \bar{e}T_0/R$;

B — относительный рабочий ток, $B = I/I_{\max}$;

I — величина рабочего тока;

R — электрическое сопротивление ветви термоэлемента;

\bar{e} , $\bar{\sigma}$, \bar{z} — усредненные значения коэффициента термо-эдс, электропроводности и термоэлектрической эффективности ветви термоэлемента соответственно;

T_0 — температура теплопоглощающего спая;

Θ — относительный перепад температуры,

$$\Theta = \Delta T / \Delta T_{\max} = (T - T_0) / \Delta T_{\max};$$

ΔT_{\max} — максимальный перепад температуры,

$$\Delta T_{\max} = 0,5\bar{z}T_0^2;$$

γ — максимальная термоэлектрическая мощность охлаждения, $\gamma = I_{\max}^2 R = \bar{e}^2 \bar{\sigma} T_0^2 S/l$;

C — относительная тепловая нагрузка,
 $C = Q_0 / (nI_{\max}^2 R) = Q_0 / (n\gamma)$;

K_T — коэффициент значимости, зависящий от температуры.

При проведении расчетов учитывалось, что в режиме $Q_{0\max}$ относительный рабочий ток $B = 1,0$ и что при одинаковой тепловой нагрузке Q_0 и перепаде температуры ΔT произведение $n\gamma = \text{const}$ независимо от геометрии ветви термоэлемента.

Результаты расчета основных параметров и показателей надежности ТЭУ для различных соотношений l/S , где $S = a \cdot b$, при постоянной высоте ветви $l = 4$ мм приведены в табл. 1. В табл. 2 приведены результаты расчетов для некоторых возможных вариантов геометрии ветвей термоэлементов при изменении l от 4 до 1 мм.

Анализ приведенных в таблицах расчетных значений основных параметров и показателей надежности показал, что при уменьшении отношения l/S при заданном перепаде температуры ΔT и тепловой нагрузке Q_0 происходит следующее (рис. 1, рис. 2):

— увеличивается термоэлектрическая мощность охлаждения γ , т. е. растет холодопроизводительность, приходящаяся на один термоэлемент;

Таблица 1

Основные параметры и показатели надежности ТЭУ в режиме $Q_{0\max}$ при $l = 4$ мм для различных значений соотношения l/S и при $T = 300$ К, $Q_0 = 2,0$ Вт; $\bar{z} = 2,4 \cdot 10^{-3}$ 1/К

l/S , см ⁻¹	γ , Вт	$\bar{e} \cdot 10^4$, В/К	$\bar{\sigma}$, См/См	$\bar{z} \cdot 10^3$, ВТ/(См·К)	n , шт.	$R \cdot 10^3$, Ом	I_{\max} , А	I , А	U , В	λ/λ_0	$\lambda \cdot 10^8$, 1/ч	P	$a \times b$, мм
$\Delta T = 0$; $\Theta = 0$; $\Delta T_{\max} = 108$ К; $\Delta T_{\max}/T_0 = 0,36$; $W = 4,0$ Вт; $E = 0,5$; $\bar{z} = 2,4 \cdot 10^{-3}$ 1/К; $K_T = 1,0$													
40,0	0,081	2,0	900	15,0	24,7	44,4	13,5	1,35	3,0	24,7	74,1	0,99262	1,0×1,0
20,0	0,162				12,3	22,2	2,7	2,7	1,50	12,3	36,9	0,9963	1,41×1,41
10,0	0,324				6,15	11,1	5,4	5,4	0,74	6,15	18,5	0,99815	2,0×2,0
4,5	0,720				2,8	5,0	12,0	12,0	0,33	2,8	8,3	0,99917	3,0×3,0
3,25	0,997				2,0	3,6	16,6	16,6	0,24	2,0	6,0	0,99940	3,5×3,5
2,0	1,62				1,23	2,22	27,0	27,0	0,15	1,23	3,7	0,99963	4,5×4,5
$\Delta T = 20$ К; $\Theta = 0,214$; $K_T = 1,011$; $\Delta T_{\max} = 93,3$ К; $T_{\max}/T_0 = 0,33$; $W = 5,45$ Вт; $E = 0,367$; $\bar{z} = 2,38 \cdot 10^{-3}$ 1/К; $K_T = 1,011$													
40,0	0,072	1,97	940	15,3	35,4	42,6	1,30	1,30	4,20	35,4	106,2	0,9894	1,0×1,0
20,0	0,143				17,8	21,3	2,60	2,60	2,10	17,8	53,3	0,9947	1,41×1,41
10,0	0,286				8,9	10,64	5,18	5,18	1,05	10,8	32,3	0,9968	2,0×2,0
4,5	0,676				4,0	4,80	11,5	11,5	0,47	4,0	12,1	0,9988	3,07×3,07
3,25	0,880				2,9	3,46	15,9	15,9	0,34	2,93	8,8	0,99912	3,5×3,5
2,0	1,43				1,8	2,13	25,9	25,9	0,21	1,82	5,46	0,99945	4,5×4,5
$\Delta T = 40$ К; $\Theta = 0,5$; $\Delta T_{\max} = 79,8$ К; $\Delta T_{\max}/T_0 = 0,31$; $W = 9,24$ Вт; $E = 0,22$; $\bar{z} = 2,37 \cdot 10^{-3}$ 1/К; $K_T = 1,022$													
40,0	0,0625	1,94	980	15,6	64,0	40,8	1,24	1,24	7,45	65,4	196,2	0,9806	1,0×1,0
20,0	0,125				32,0	20,4	2,47	2,47	3,74	32,7	98,1	0,9902	1,42×1,42
10,0	0,249				16,1	10,2	4,95	4,95	1,87	16,45	49,4	0,9951	2,0×2,0
4,5	0,554				7,2	4,59	11,0	11,0	0,84	7,4	22,1	0,9978	3,0×3,0
3,25	0,767				5,2	3,32	15,2	15,2	0,61	5,31	15,9	0,99841	3,5×3,5
2,0	1,246				3,2	2,0	25,2	25,2	0,37	3,27	9,81	0,99902	4,5×4,5

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ

Продолжение табл. 1

l/S , см ⁻¹	γ , Вт	$\bar{\epsilon} \cdot 10^4$, В/К	$\bar{\sigma}$, СМ/СМ	$\bar{\alpha} \cdot 10^3$, ВТ/(СМ·К)	n , шт.	$R \cdot 10^3$, Ом	I_{max} , А	I , А	U , В	λ/λ_0	$\lambda \cdot 10^8$, 1/ч	P	$a \times b$, мм
$\Delta T = 60 \text{ K}; \Theta = 0,90; \Delta T_{max} = 66,8 \text{ K}; T_{max}/T_0 = 0,28;$ $W = 50 \text{ Вт}; E = 0,04; \bar{z} = 2,32 \cdot 10^{-3} \text{ 1/К}; K_T = 1,035$													
40,0	0,053	1,89	1030	15,9	378	38,8	1,17	1,17	42,7	391,0	1171,8	0,8894	1,0×1,0
20,0	0,106				189	19,4	2,34	2,34	21,4	195,3	586,0	0,9431	1,41×1,41
10,0	0,212				94,3	9,71	4,63	4,63	10,7	97,6	293,0	0,9711	2,0×2,0
4,5	0,471				42,5	4,37	10,4	10,4	4,80	44,0	132,0	0,9869	3,0×3,0
3,25	0,652				30,7	3,16	14,4	14,4	3,50	31,8	95,3	0,9905	3,5×3,5
2,0	1,06				18,9	1,94	23,4	23,4	2,14	19,6	58,7	0,9941	4,5×4,5

Таблица 2

Основные параметры и показатели надежности ТЭУ в режиме Q_{0max} для различных значений соотношения l/S при $T = 300 \text{ K}$, $\Delta T = 40 \text{ K}$, $Q_0 = 2,0 \text{ Вт}$; $\Delta T_{max} = 79,8 \text{ K}$; $\Theta = 0,5$; $W = 9,24 \text{ Вт}$; $E = 0,22$; $K_T = 1,022$

l/S , см ⁻¹	$I=I_{max}$, А	γ , Вт	$R \cdot 10^3$, Ом	n , шт.	U , В	$\lambda \cdot 10^8$, 1/ч	P	l , мм	$a \times b$, мм
40,0	1,24	0,0625	40,8	64,0	7,50	196,2	0,9806	4,0	1,0×1,0
								3,0	0,9×0,9
								2,0	0,7×0,7
								1,5	0,6×0,6
								1,0	0,5×0,5
20,0	2,47	0,125	20,4	32,0	3,74	98,1	0,9902	4,0	1,4×1,4
								3,0	1,2×1,2
								2,0	1,0×1,0
								1,5	0,9×0,9
								1,0	0,7×0,7
10,0	4,95	0,25	10,2	16,0	1,87	49,4	0,9951	4,0	2,0×2,0
								3,0	1,7×1,7
								2,0	1,4×1,4
								1,5	1,2×1,2
								1,0	1,0×1,0
4,5	11,0	0,55	4,6	7,2	0,84	22,1	0,9978	4,0	3,0×3,0
								3,0	2,6×2,6
								2,0	2,1×2,1
								1,5	1,8×1,8
								1,0	1,5×1,5
3,25	15,2	0,767	3,32	5,2	0,61	15,9	0,9984	4,0	3,5×3,5
								3,0	3,0×3,0
								2,0	2,5×2,5
								1,5	2,15×2,15
								1,0	1,8×1,8
2,0	25,2	1,246	2,0	3,2	0,37	9,8	0,99902	4,0	4,5×4,5
								3,0	3,9×3,9
								2,0	3,2×3,2
								1,5	2,7×2,7
								1,0	2,2×2,2

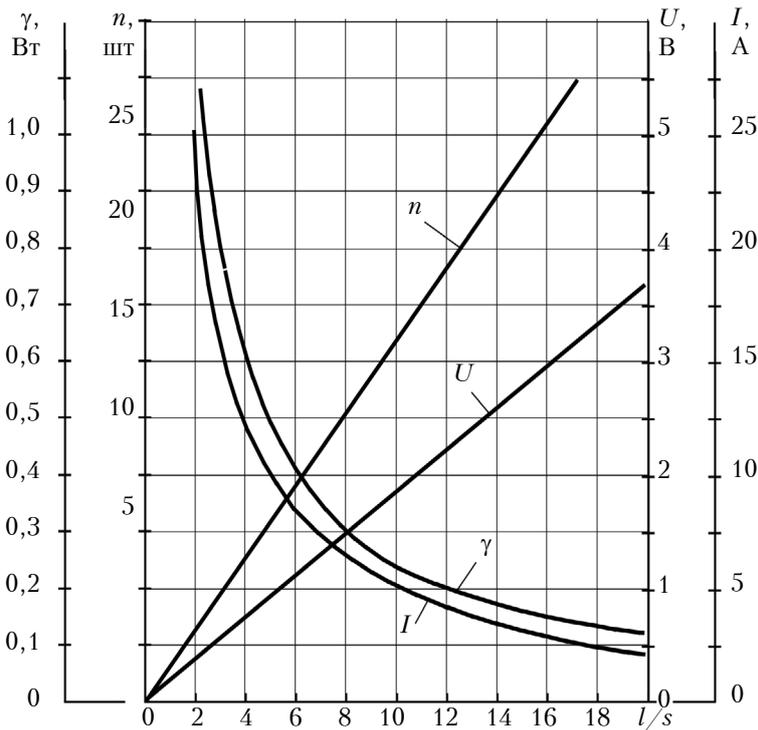


Рис. 1. Зависимость параметров γ , n , I , U однокаскадного ТЭУ от отношения l/S при $T = 300$ К, $\Delta T = 40$ К, $Q_0 = 2,0$ Вт в режиме $Q_{0\max}$

- уменьшается количество термоэлементов n ;
- увеличивается величина рабочего тока I ;
- уменьшается падение напряжения U ;
- уменьшается интенсивность отказов λ ;
- увеличивается вероятность безотказной работы P , при этом мощность потребления W и холодильный коэффициент E остаются постоянными.

Так, например, использование в ТЭУ термоэлемента с геометрией ветви $l/S = 10$ вместо $l/S = 20$ позволяет в два раза увеличить термоэлектрическую мощность охлаждения γ и во столько же раз уменьшить количество термоэлементов и интенсивность отказов λ .

Анализ результатов проведенных расчетов показал, что с ростом перепада температуры ΔT для различных фиксированных значений l/S происходит следующее (рис. 3—6):

- уменьшается максимальная термоэлектрическая мощность охлаждения γ ;

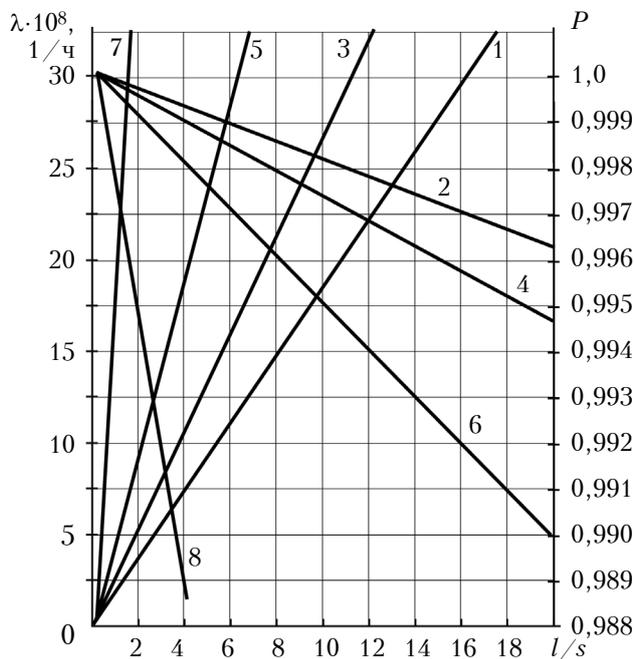


Рис. 2. Зависимость интенсивности отказов λ (1, 3, 5, 7) и вероятности безотказной работы P (2, 4, 6, 8) однокаскадного ТЭУ от отношения l/S для режима $Q_{0\max}$ при $T = 300$ К, $Q_0 = 2,0$ Вт и различных значений ΔT :
 1, 2 — $\Delta T = 0$ ($W = 4,0$ Вт; $E = 0,5$); 3, 4 — $\Delta T = 20$ К ($W = 5,45$ Вт; $E = 0,367$); 5, 6 — $\Delta T = 40$ К ($W = 9,2$ Вт; $E = 0,22$); 7, 8 — $\Delta T = 60$ К ($W = 50$ Вт; $E = 0,04$)

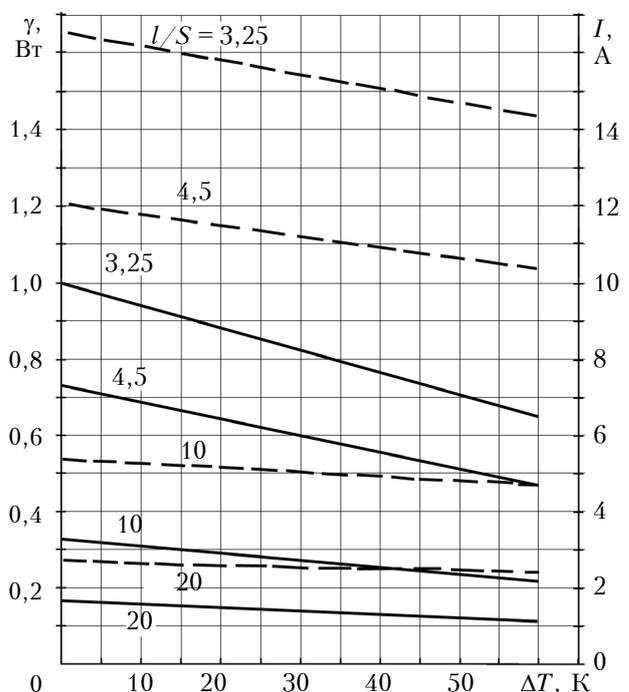


Рис. 3. Зависимость максимальной термоэлектрической мощности охлаждения γ (сплошные линии) и рабочего тока I (пунктир) однокаскадного ТЭУ от перепада температуры ΔT для различных значений отношения l/S в режиме $Q_{0\max}$ при $T = 300$ К, $Q_0 = 2,0$ Вт

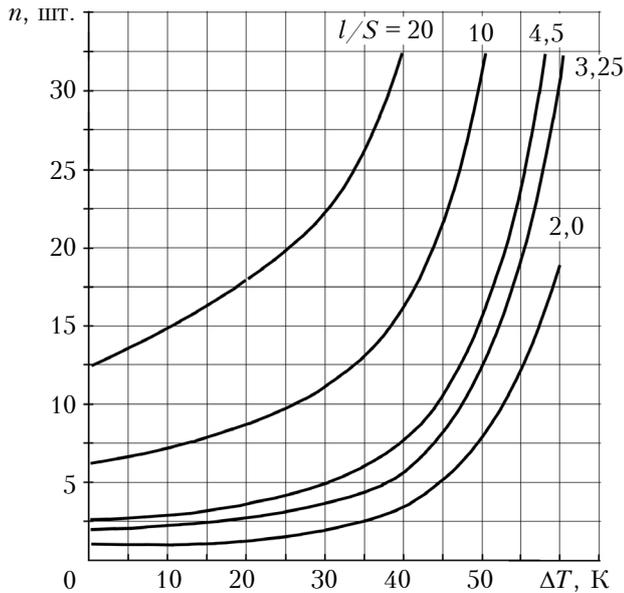


Рис. 4. Зависимость количества термоэлементов n однокаскадного ТЭУ от перепада температуры ΔT для различных значений l/S в режиме Q_{0max} при $T = 300$ К, $Q_0 = 2,0$ Вт

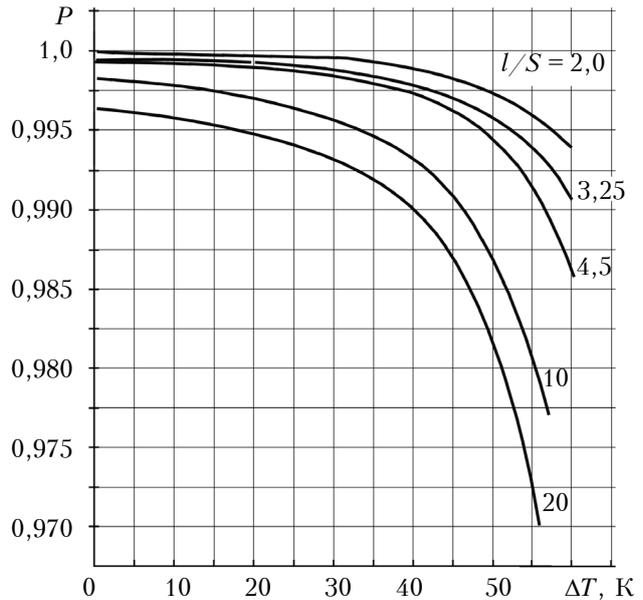


Рис. 6. Зависимость вероятности безотказной работы P однокаскадного ТЭУ от перепада температуры ΔT для различных значений l/S в режиме Q_{0max} при $T = 300$ К, $Q_0 = 2,0$ Вт

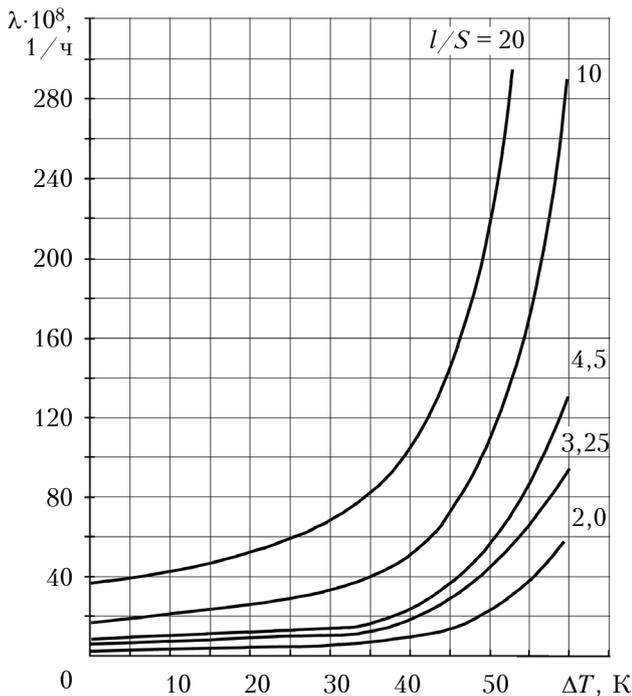


Рис. 5. Зависимость интенсивности отказов λ однокаскадного ТЭУ от перепада температуры ΔT для различных значений l/S в режиме Q_{0max} при $T = 300$ К, $Q_0 = 2,0$ Вт, $\lambda_0 = 3 \cdot 10^{-8}$ 1/ч

- уменьшается величина рабочего тока I ;
- увеличивается количество термоэлементов n ;
- увеличивается интенсивность отказов λ ;
- уменьшается вероятность безотказной работы P .

Повышение показателей надежности с ростом перепада температуры возможно при использо-

вании ветвей термоэлементов с меньшим отношением l/S . Так, например, при увеличении ΔT от 20 до 40 К использование термоэлементов с геометрией ветви $l/S = 10$ вместо $l/S = 20$ приводит к уменьшению количества термоэлементов в два раза, при этом интенсивность отказов λ также уменьшается вдвое и, следовательно, увеличивается вероятность безотказной работы P .

Таким образом, приведенные результаты расчетов однокаскадных ТЭУ, работающих в режиме Q_{0max} , показали, что использование ТЭУ с меньшим отношением высоты ветви термоэлемента к площади ее поперечного сечения, а значит и лучшими массогабаритными характеристиками, позволяет существенно повысить показатели его надежности при неизменной мощности потребления (энергозатратах).

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Anatyshuk L., Vikhor L. Rozver Yu. et al. Research and development on performances of large-sized thermoelectric module with heat pipes // Heat Pipe Science and Technology, An International Journal. — 2011. — Vol. 2, iss. 1-4. — P. 115–120. <http://dx.doi.org/10.1615/HeatPipeScieTech.v2.i1-4.120>
2. Zebajradi, M. Esfarjani, K., Dresselhaus, M. S., Ren, Z. F., Chen, G. Perspectives on thermoelectrics: from fundamentals to device applications // Energy & Environmental Science. — 2012, 5 (1), 5147–5162. <http://dx.doi.org/10.1039/c1ee02497c>
3. Николаенко Ю.Е., Вихор Л.Н. Моделирование нагрузочных характеристик оптимального каскадного термоэлектрического охладителя // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2001. — № 6. — С. 33–35.
4. Николаенко Ю.Е., Вихор Л.Н. Влияние тепловых переходов на температурный перепад многокаскадной термоэлектрической батареи // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2002. — № 4–5. — С. 16–18.
5. Анагычук Л. И., Вихор Л. М., Николаенко Ю. Е. та ін. Великоформатний термоелектричний модуль охолоджен-

ня з тепловими трубами // Термоелектрика. — 2011. — № 1. — С. 51–57.

6. Anatyshuk L.I., Vikhor L.N., Rozver Yu.Yu. et al. Research and development on performances of large-sized thermoelectric module with heat pipes // Proc. of the VIII Minsk Int. Seminar "Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources". — Minsk, Belarus. — 2011. — Vol. 1. — P. 239-242.

7. Ащеулов А. А., Охрем В. Г., Романюк І. С. Нові термоелектричні ефекти та елементи. — Черновці: Видавничий дім «Родовід», 2015.

8. Зайков В. П., Мещеряков В. И., Журавлев Ю. И. Анализ возможностей повышения надежности термоэлектрических охлаждающих устройств // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2015. — Т. 4, № 8. — С. 17–25. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2015.46553>

9. Моисеев В. Ф., Зайков В. П. Влияние режима работы термоэлектрического устройства на его надежность // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2001. — № 4–5. — С. 30–32.

10. Зайков В. П., Киншова Л. А., Казанжи Л. Д., Храмова Л. Ф. Прогнозирование показателей надежности двухкаскадного термоэлектрического охлаждающего устройства в режиме Q_{0max} // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2009. — № 5. — С. 34–37.

11. Зайков В. П., Киншова Л. А., Моисеев В. Ф. Прогнозирование показателей надежности термоэлектрических охлаждающих устройств. Книга 1. Однокаскадные устройства. — Одесса: Политехперіодика, 2009.

12. Зайков В. П., Мещеряков В. И., Гнатовская А. А., Журавлев Ю. И. Влияние эффективности исходных материалов на показатели надежности термоэлектрических охлаждающих устройств. Часть I: Однокаскадные ТЭУ // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2015. — № 1. — С. 44–48. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2015.1.44>

13. Зайков В. П., Мещеряков В. И., Гнатовская А. А., Журавлев Ю. И. Влияние эффективности исходных материалов на показатели надежности термоэлектрических охлаждающих устройств. Часть II: Двухкаскадные ТЭУ // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2015. — № 2-3. — С. 34–38. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2015.2-3.34>

14. Зайков В. П., Мещеряков В. И., Журавлев Ю. И. Выбор сочетаний параметров термоэлектрических материалов для разработки охладителей повышенной надежности // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2015. — Т. 3, № 8. — С. 4–14. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2015.42474>

15. Зайков В. П., Мещеряков В. И., Журавлев Ю. И. Сравнительный анализ основных параметров и показателей надежности однокаскадных термоэлектрических устройств при использовании различных сочетаний параметров исходных материалов одинаковой эффективности // Холодильная техника и технология. — 2015. — Т. 51, № 4. — С. 37–44. <http://dx.doi.org/10.15673/0453-8307.4/2015.39289>

Дата поступления рукописи
в редакцию 08.09 2016 г.

В. П. ЗАЙКОВ, В. И. МЕЩЕРЯКОВ, Ю. И. ЖУРАВЛЬОВ

Україна, Одеський державний екологічний університет
E-mail: gradan@ua.fm

МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ГЕОМЕТРІЇ ГІЛОК ТЕРМОЕЛЕМЕНТІВ І ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ОДНОКАСКАДНИХ ОХОЛОДЖУВАЧІВ У РЕЖИМІ Q_{0max}

Розглянуто вплив геометрії гілок термоелементів на показники надійності однокаскадних термоелектричних пристроїв (ТЕП), що функціонують в режимі максимальної холодопродуктивності, при тепловому навантаженні 2,0 Вт для різних перепадів температури (від 10 до 60 К). Запропоновано модель взаємозв'язку цих параметрів. Показано, що зі зменшенням відношення висоти гілки термоелемента до площі її поперечного перерізу інтенсивність відмов однокаскадного ТЕП зменшується, а отже, ймовірність безвідмовної роботи збільшується.

Ключові слова: термоелектричний пристрій, геометрія гілки термоелемента, інтенсивність відмов, ймовірність безвідмовної роботи, надійність.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Ащеулов А. А., Даналакий О. Г., Романюк І. С. Термоэлектрические термостатирующие устройства для элементной базы интернет-оборудования. — Черновцы: Издательский дім «Родовід», 2016. — 132 с.

Приведены базовые сведения о существующих методах и устройствах для термостатирования и охлаждения ЭТЭ, рассмотрены особенности их температурных режимов, предложен ряд математических моделей термоэлектрических термостатирующих устройств для нескольких конструкций охлаждающихся приборов.

Использование предложенных устройств и методов позволит повысить надежность аппаратуры связи в экстремальных условиях.

Книга предназначена для инженеров, научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов ВУЗов технического и классического типов.



MODEL OF CORRELATION BETWEEN GEOMETRY
OF THERMOELECTRIC BRANCHES AND RELIABILITY INDICATORS
OF SINGLE-STAGE COOLERS IN Q_{0max} MODE

The authors consider the influence of the geometry of thermoelectric branches on the performance reliability of single-stage thermoelectric devices (TED) operating at maximum cooling capacity at 2.0 W thermal load for any values of temperature difference (from 10 to 60 K). A model of correlation of these parameters is presented. It is shown that when the ratio of height of a thermoelectric branch to its cross-section area decreases, failure rate of a single-stage TED reduces, and therefore failure-free operation probability increases.

Keywords: thermoelectric device, geometry of thermoelectric branch, failure rate, failure-free operation probability, reliability.

REFERENCES

1. Anatyshuk L., Vikhor L., Rozver Yu., Rassamakin B., Khairnasov S., Nikolaienko Yu. Research and development on performances of large-sized thermoelectric module with heat pipes. *Heat Pipe Science and Technology, An International Journal*, 2011, vol. 2, iss. 1-4, pp. 115-120. <http://dx.doi.org/10.1615/HeatPipeScieTech.v2.i1-4.120>
2. Zebajadi, M. Esfarjani, K., Dresselhaus, M. S., Ren, Z. F., Chen, G. (2012). Perspectives on thermoelectrics: from fundamentals to device applications. *Energy & Environmental Science*, 5 (1), 5147-5162. <http://dx.doi.org/10.1039/c1ee02497c>
3. Nikolaienko Yu., Vikhor L. [Simulation of load characteristics of optimal cascade thermoelectric cooler]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2001, no. 6, pp. 33-35. (Rus)
4. Nikolaienko Yu., Vikhor L. [Effect of heat transmission to the temperature difference in multistage thermoelectric battery]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2002, no. 4-5, pp. 16-18. (Rus)
5. Anatyshuk L.I., Vikhor L.N., Nikolayenko Yu.E., Rassamakin B.M., Rozver Yu.Yu. Large-sized thermoelectric cooling module with heat pipes. *Journal of Thermoelectricity*, 2011, no. 1, pp. 50-55.
6. Anatyshuk L.I., Vikhor L.N., Rozver Yu.Yu., Nikolaienko Yu.E., Rassamakin B.M., Hairnasov S.M. Research and development on performances of large-sized thermoelectric module with heat pipes. *Proc. of the VIII Minsk International Seminar "Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources"*, Minsk, Belarus, 2011, vol. 1, pp. 239-242.
7. Ashcheulov A. A., Okhrem V. G., Romanyuk I.S. *Novi termoelektrychni efekty ta elementy* [New thermoelectric effects and elements]. Chernovtsy, Rodovid, 2015. (Rus)
8. Zaikov V. P., Meshcheryakov V. I., Zhuravlev Yu. I. Analysis of reliability improvement possibilities of thermoelectric cooling. *Eastern-european journal of enterprise technologies*, 2015, vol. 4, no. 8, pp. 17-25. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2015.46553> (Rus)
9. Moiseev V. F., Zaykov V. P. [Effect thermoelectric device operating mode to its reliability]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2001, no. 4-5, pp. 30-32. (Rus)
10. Zaykov V. P., Kinshova L. A., Kazanji L. D., Khranova L. F. Forecasting of parameters of reliability two-cascade thermoelectrical cooling device in a mode Q_{0max} . *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2009, no. 5, pp. 34-37. (Rus)
11. Zaykov V. P., Kinshova L. A., Moiseev V. F. *Prognozirovaniye pokazatelei nadezhnosti termoelektricheskikh okhlazhdayushchikh ustroystv. Kniga 1. Odnokaskadnye ustroystva* [Reliability indicators prediction for thermoelectric cooling devices. Book 1. Single-stage unit]. Odesa, Politehperiodika, 2009, 120 p. (Rus)
12. Zaikov V. P., Meshcheryakov V. I., Gnatovskaya A. A., Zhuravlev Yu. I. Influence of the effectiveness of raw materials on the reliability of thermoelectric cooling devices. Part I: Single-stage TEDs. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2015, no. 1, pp. 44-48. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2015.1.44> (Rus)
13. Zaikov V. P., Meshcheryakov V. I., Gnatovskaya A. A., Zhuravlev Yu. I. Influence of the effectiveness of raw materials on the reliability of thermoelectric cooling devices. Part I: Two-stage TEDs. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2015, no. 2-3, pp. 34-38. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2015.2-3.34> (Rus)
14. Zaikov V. P., Meshcheryakov V. I., Zhuravlev Yu. I. Selection of parameters combination of thermoelectric materials for development of high-reliability coolers. *Eastern-european journal of enterprise technologies*, 2015, vol. 3, no. 8, pp. 4-14. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2015.42474>
15. Zaykov V.P., Meshcheryakov V.I., Zhuravlev Yu. I. Comparative analysis of the main parameters and reliability indicators of single-stage thermoelectric cooling devices while using different combinations of initial materials settings of a similar efficiency. *Refrigeration Engineering And Technology*, 2015, vol. 51, no 4, pp. 37-44. <http://dx.doi.org/10.15673/0453-8307.4/2015.39289>