



Анатычук Л.И.

Анатычук Л.И.^{1,2} *ак. НАН Украины,*
Прибыла А.В.^{1,2} *канд. физ.-мат. наук*

¹Институт термоэлектричества НАН и МОН
Украины, ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина;
e-mail: anatyuch@gmail.com;

²Черновицкий национальный университет
им. Юрия Федьковича, ул. Коцюбинского, 2,
Черновцы, 58000, Украина;
e-mail: anatyuch@gmail.com



Прибыла А.В.

О ВЛИЯНИИ КАЧЕСТВА ТЕПЛООБМЕННИКОВ НА СВОЙСТВА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ЖИДКОСТЬ-ЖИДКОСТЬ

В работе приводятся результаты расчетов влияния качества системы теплообмена на свойства термоэлектрического теплового насоса жидкость-жидкость, в частности для их использования в качестве высокоэффективного нагревателя для прибора очистки воды космического назначения. Библ. 7, Рис. 2.

Ключевые слова: термоэлектрический тепловой насос, эффективность, дистиллятор, теплообменник.

Введение

Общая характеристика проблемы. Повышение эффективности термоэлектрических тепловых насосов (ТТН), нашедших свое применение в системах кондиционирования разного назначения [1 – 5], является важной и сложной задачей, которая может быть решена с использованием современных методов компьютерного проектирования [6, 7]. Ее особенностью является также то, что достигнутые значения эффективности ТТН близки к предельным, что требует проведения их исследования с учетом максимально точных и полных физических моделей.

В работе [7] проведено исследование с целью установления предельных возможностей термоэлектрического теплового насоса жидкость-жидкость. Однако полученные данные являются приближенными, поскольку при расчетах была использована упрощенная физическая модель ТТН, которая не учитывает качества системы теплообмена, обеспечивающей передачу теплового потока к термоэлектрическим модулям и от них.

Цель нашей работы – определение влияния качества системы теплообмена на свойства термоэлектрического теплового насоса жидкость-жидкость.

Физическая модель ТТН

Физическая модель термоэлектрического теплового насоса жидкость-жидкость представлена на рис. 1. Она состоит из системы теплообменников 1, обеспечивающих

прохождение теплового потока Q_G через горячую сторону термоэлектрических модулей, собственно термоэлектрических модулей 3, теплообменников 2, обеспечивающих прохождение теплового потока Q_X через холодную сторону термоэлектрических модулей, и системы гидравлически связанных каналов 4, обеспечивающих циркуляцию жидкости в термоэлектрическом тепловом насосе.

В модели учтены потери в перепаде температур между теплоносителем и поверхностью термоэлектрических модулей, приводящие в целом к снижению эффективности термоэлектрического теплового насоса.

Для обеспечения оптимальной работы термоэлектрических модулей, каждый из них имеет индивидуальный источник питания.

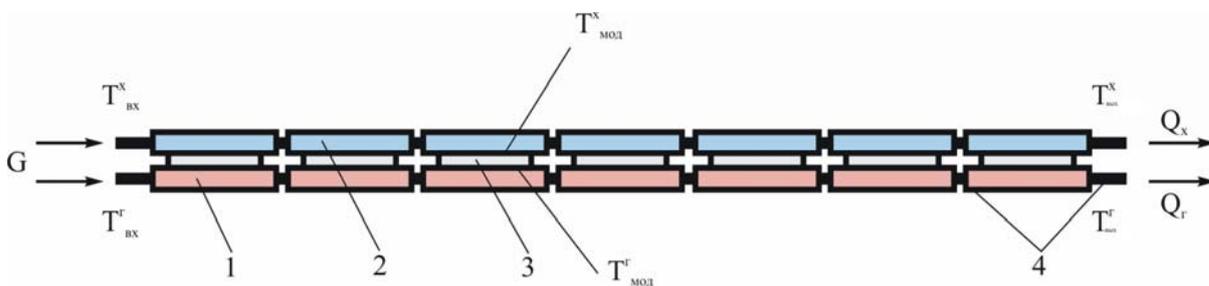


Рис. 1. Физическая модель термоэлектрического теплового насоса.

Математическое и компьютерное описание модели

Для описания потоков тепла и электричества воспользуемся законами сохранения энергии

$$\operatorname{div} \vec{E} = 0 \quad (1)$$

и электрического заряда

$$\operatorname{div} \vec{j} = 0, \quad (2)$$

где

$$\vec{E} = \vec{q} + U\vec{j}, \quad (3)$$

$$\vec{q} = \kappa \nabla T + \alpha T \vec{j}, \quad (4)$$

$$\vec{j} = -\sigma \nabla U - \sigma \alpha \nabla T. \quad (5)$$

Здесь \vec{E} – плотность потока энергии; \vec{q} – плотность теплового потока; \vec{j} – плотность электрического тока; U – электрический потенциал; T – температура; α , σ , κ – коэффициенты термоЭДС, электропроводности и теплопроводности.

Учитывая (3) – (5), можно получить

$$\vec{E} = -(\kappa + \alpha^2 \sigma T + \alpha U \sigma) \nabla T - (\alpha \sigma T + U \sigma) \nabla U. \quad (6)$$

Тогда законы сохранения (1), (2) приобретают вид:

$$-\nabla [(\kappa + \alpha^2 \sigma T + \alpha U \sigma) \nabla T] - \nabla [(\alpha \sigma T + U \sigma) \nabla U] = 0, \quad (7)$$

$$-\nabla (\sigma \alpha \nabla T) - \nabla (\sigma \nabla U) = 0. \quad (8)$$

Нелинейные дифференциальные уравнения второго порядка в частных производных (7) и

(8) определяют распределение температуры T и потенциала U в термоэлементах.

В стационарном случае уравнение, описывающее процесс переноса тепла в стенках теплообменников, записывается так:

$$\nabla(-k_1 \cdot \nabla T_1) = Q_1, \quad (9)$$

где k_1 – коэффициент теплопроводности стенок теплообменника, ∇T_1 – градиент температуры, Q_1 – тепловой поток.

Из решения уравнений (7) – (9) мы получим распределения температур и электрического потенциала в термоэлектрическом тепловом насосе.

Для решения рассмотренных выше дифференциальных уравнений с соответствующими граничными условиями использован пакет прикладных программ COMSOL Multiphysics.

Результаты компьютерного моделирования

Ниже приведены результаты расчетов параметров термоэлектрического насоса согласно физической модели, изображенной на рис.1. Было определено оптимальное количество термоэлектрических модулей N для обеспечения необходимой холодопроизводительности Q_0 , а также оптимальный ток питания I_{opt} каждого из модулей для обеспечения наивысшего интегрального холодильного коэффициента $\epsilon_{инт}$ с учетом реальных потерь перепада температуры в системе теплообмена $\Delta T^{пот}$ (от $\Delta T^{пот} = 0$ до 2 К).

Входные данные для расчетов:

холодопроизводительность – 600 Вт;

температура теплоносителя на входе в горячий теплообменный контур – 36 °С;

температура теплоносителя на входе в холодный теплообменный контур – 31 °С;

затраты теплоносителя в каждом контуре – 22 мл/с.

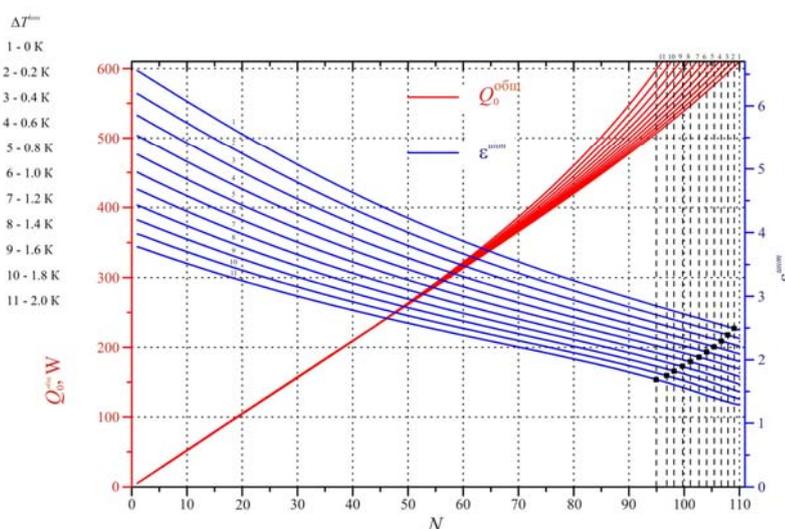


Рис. 2. Зависимость суммарной холодопроизводительности и интегрального холодильного коэффициента термоэлектрического теплового насоса от количества термоэлектрических модулей для случаев разных потерь перепада температур в теплообменниках.

Таким образом, в результате моделирования установлено, что с ухудшением качества

системы теплообмена (рост потерь в перепаде температур от $\Delta T^{\text{пот}} = 0$ до 2 К) холодильный коэффициент термоэлектрического теплового насоса уменьшается. Так при обеспечении необходимой холодопроизводительности ТТН $Q_0 = 600$ Вт, холодильный коэффициент уменьшается от $\varepsilon = 2.5$ ($\Delta T^{\text{ном}} = 0$ К) до $\varepsilon = 1.7$ ($\Delta T^{\text{ном}} = 2$ К). При этом общее количество термоэлектрических модулей, необходимых для обеспечения холодопроизводительности $Q_0 = 600$ Вт, уменьшается от 110 штук ($\Delta T^{\text{ном}} = 0$ К) до 95 штук ($\Delta T^{\text{ном}} = 2$ К). Такое уменьшение количества модулей связано с ростом тока их питания при росте перепада температур на них.

Сравнение полученных результатов с результатами экспериментальных исследований термоэлектрического теплового насоса [7], свидетельствует о том, что достигнутое на сегодняшний день значение холодильного коэффициента ТТН $\varepsilon = 1.85$ отвечает уровню наиболее плохого из рассмотренных вариантов потерь в системе теплообмена. Это позволяет сделать вывод о необходимости дальнейших исследований по оптимизации системы теплообмена ТТН с целью приближения её эффективности к предельно возможным значениям.

Выводы

1. Установлено, что с ухудшением качества системы теплообмена холодильный коэффициент термоэлектрического теплового насоса уменьшается от $\varepsilon = 2.5$ (для $\Delta T^{\text{ном}} = 0$ К) до $\varepsilon = 1.7$ (для $\Delta T^{\text{ном}} = 2$ К) (при обеспечении необходимой холодопроизводительности ТТН $Q_0 = 600$ Вт).
2. Общее количество термоэлектрических модулей, необходимых для обеспечения холодопроизводительности $Q_0 = 600$ Вт, уменьшается от 110 штук ($\Delta T^{\text{ном}} = 0$ К) до 95 штук ($\Delta T^{\text{ном}} = 2$ К).
3. Сравнение полученных результатов с результатами экспериментальных исследований ТТН, свидетельствует о том, что достигнутое на сегодняшний день значение холодильного коэффициента ТТН $\varepsilon = 1.85$ отвечает уровню наиболее плохого из рассмотренных вариантов потерь в системе теплообмена.

Литература

1. Розвер Ю.Ю. Термоэлектрический кондиционер для транспортных средств // Термоэлектричество. – № 2. – 2003. – С. 52 – 56.
2. Анатычук Л.И., Вихор Л.Н., Розвер Ю.Ю. Исследование характеристик термоэлектрического охладителя потоков жидкости или газа // Термоэлектричество. – № 1. – 2004. – С. 73 – 80.
3. Анатычук Л.И., Сузуки Н., Розвер Ю.Ю. Термоэлектрический кондиционер для помещений // Термоэлектричество. - № 3. - 2005. - С. 53 - 56.
4. Разработка и испытание системы регенерации воды из жидких отходов жизнедеятельности на борту пилотируемых космических аппаратов с использованием термоэлектрического теплового насоса / В.Г. Риферт, В.И. Усенко, П.А. Барабаш [и др.] // Термоэлектричество. – 2011. – № 2. – С. 63 – 74.
5. Термоэлектрический тепловой насос как средство повышения эффективности систем очистки воды при космических полетах / Анатычук Л.И., Барабаш П.А., Риферт В.Г., Розвер Ю.Ю., Усенко В.И., Черкез Р.Г. // Термоэлектричество. – 2013. – № 6. – С. 78 – 83.
6. Анатычук Л.И., Прибыла А.В. О предельных возможностях термоэлектрического теплового насоса жидкость-жидкость // Термоэлектричество. - 2017. - №4. - С. 33 - 39.

7. Анатычук Л.И., Розвер Ю.Ю., Прибыла А.В. Экспериментальное исследование термоэлектрического теплового насоса жидкость-жидкость // Термоэлектричество. - 2017. - № 3. - С. 33 - 39.

Поступила в редакцию 15.11.2017

L. I. Anatyчук^{1,2} *acad. National Academy of Sciences of Ukraine,*
A. V. Prybyla^{1,2} *Candidate Phys.-math. Sciences*

¹Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1, Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine *e-mail: anatyuch@gmail.com;*

²Yu.Fedkovych Chernivtsi National University,
2, Kotsiubynskyi str., Chernivtsi, 58000, Ukraine;
e-mail: anatyuch@gmail.com

THE INFLUENCE OF QUALITY OF HEAT EXCHANGERS ON THE PROPERTIES OF THERMOELECTRIC LIQUID-LIQUID HEAT PUMPS

The paper presents the results of calculations of the influence of quality of heat exchange system on the properties of thermoelectric liquid-liquid heat pumps, in particular, for their use as a high-performance heater for a space-purpose water purifying device. Bibl. 7, Fig. 2.

Key words: thermoelectric heat pump, efficiency, distiller, heat exchanger.

References

1. Rozver Yu.Yu. (2003). Termoelektrychni kondytsioner dlia transportnykh zasobiv [Thermoelectric air-conditioner for vehicles]. *Termoelektryka – J. Thermoelectricity*, 2, 52 – 56 [in Ukrainian].
2. Anatyчук L.I., Vikhor L.N., Rozver Yu.Yu. (2004). Issledonaniie kharakteristik termoelektricheskogo okhladitel'ia potokov zhidkosti ili gaza [Investigation on performance of thermoelectric cooler of liquid or gas flows]. *Termoelektrichestvo - J. Thermoelectricity*, 1, 73-80 [in Russian].
3. Anatyчук L.I., Sudzuki N., Rozver Yu.Yu. (2005). Termoelektrychni kondytsioner dlia prymyshchen [Indoor thermoelectric air-conditioner]. *Termoelektryka – J. Thermoelectricity*, 3, 53-56 [in Ukrainian].
4. Rifert V.G., Usenko V.I., Barabash P.A., et al. (2011). Razrabotka i ispytaniie sistemy regeneratsii vody iz zhidkikh othodov zhiznediel'telnosti na bortu pilotiruemykh kosmicheskikh apparatov s ispolzovaniem termoelektricheskogo teplovogo nasosa [Development and test of water regeneration system from liquid biowaste on board of manned spacecrafts with the use of thermoelectric heat pump]. *Termoelektrichestvo – J. Thermoelectricity*, 2, 63-74 [in Russian].
5. Anatyчук L.I., Barabash P.A., Rifert V.G., Rozver Yu.Yu., Usenko V.I., Cherkez R.G. (2013). Termoelektricheskii teplovoi nasos kak sredstvo povysheniia effektivnosti sistem ochistki vody pri kosmicheskikh polyotakh [Thermoelectric heat pump as a means of improving efficiency of water purification systems on space missions]. *Termoelektrichestvo – J. Thermoelectricity*, 6, 78-83 [in Russian].

Russian].

6. Anatyчук L.I., Prybyla A.V. (2017). Pro hranychni mozhlyvosti termoelektrychnoho teplovoho nasosa ridyna-ridyna [Limiting possibilities of thermoelectric heat pump liquid-liquid]. *Termoelektryka – J. Thermoelectricity*, 4, 33-39 [in Ukrainian].
7. Anatyчук L.I., Rozver Yu.Yu., Prybyla A.V. (2017). Elsperymentalne doslidzhennia termoelektrychnoho teplovoho nasosa ridyna-ridyna [Experimental study of thermoelectric liquid-liquid heat pump]. *Termoelektryka – J. Thermoelectricity*, 3, 33-39 [in Ukrainian].

Submitted 15.11.2017