

Анатычук Л.И.<sup>1,2</sup>, Прибыла А.В.<sup>1</sup>, Короп Н.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины, ул. Науки, 1,  
Черновцы, 58029, Украина;

<sup>2</sup>Черновицкий национальный университет им. Юрия Федьковича,  
ул. Коцюбинского, 2, Черновцы, 58000, Украина

---

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И КОМПРЕССИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

---

*В работе представлены результаты сравнительного анализа термоэлектрических и компрессионных тепловых насосов при условии их использования в кондиционерах для человека при повышенных температурах окружающей среды.*

**Ключевые слова:** термоэлектрический тепловой насос, компрессионный тепловой насос, кондиционер для человека.

*The paper presents the results of comparative analysis of thermoelectric and compression heat pumps for their use in human air conditioners at elevated ambient temperatures.*

**Key words:** thermoelectric heat pump, compression heat pump, human air conditioner.

### Введение

*Общая характеристика проблемы.* В литературе упоминается о возможности кондиционирования тела человека разными методами [1–9]. Особый интерес представляют методы, основанные на использовании компрессионных и термоэлектрических тепловых насосов. Это обусловлено их преимуществами – высокой эффективностью преобразования энергии и возможностью функционирования как в режиме охлаждения, так и нагрева. В работе [10] приведен сравнительный анализ термоэлектрических и компрессионных тепловых насосов для индивидуальных кондиционеров по их энергетическим и массогабаритным характеристикам в диапазоне температур окружающей среды 20–30 °С. Это позволило выявить преимущества термоэлектрических тепловых насосов при небольших (до 500 Вт) значениях мощности питания, что соответствует условиям функционирования кондиционеров для человека.

Однако особый интерес вызывает использование кондиционеров для человека при повышенных температурах окружающей среды (37 °С и выше), что связано с затрудненным теплообменом организма с окружающей средой. Как свидетельствует анализ литературы, такие режимы работы тепловых насосов недостаточно изучены.

*Целью предлагаемой работы* является определение возможностей дальнейшего улучшения качества индивидуальных кондиционеров для человека на основе термоэлектрических и компрессионных тепловых насосов путем проведения их сравнительного анализа в условиях повышенных температур окружающей среды.

### Расчеты энергетических характеристик термоэлектрического теплового насоса

Для проведения сравнительного анализа характеристик тепловых насосов проведены компьютерные расчеты термоэлектрического теплового насоса на основе физической модели, приведенной на рис. 1. Она состоит из термоэлектрических модулей 1 с электромощностью  $W_{TE}$ , горячего 3 и холодного 6 теплообменников, тепловых контактных сопротивлений между ними 4, 5 и жидкостных насосов 2, 7, обеспечивающих движение теплоносителей через теплообменники ( $W_1$ ,  $W_2$ ). Перепады температур вдоль теплообменников считаются незначительными и их наличием можно пренебречь.

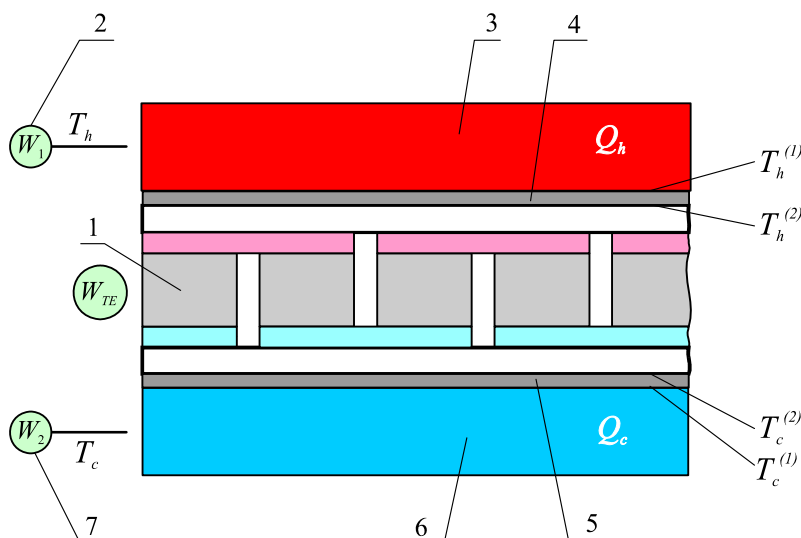


Рис. 1. Физическая модель термоэлектрического теплового насоса.

Система уравнений для описания холодильного коэффициента в зависимости от параметров элементов физической модели определяется из уравнений теплового баланса в тепловом насосе:

$$\begin{cases} Q_c = \chi_1(T_c^{(1)} - T_c), \\ Q_c = \chi_2(T_c^{(2)} - T_c^{(1)}), \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} Q_h = \chi_3(T_h^{(2)} - T_h^{(1)}), \\ Q_h = \chi_4(T_h^{(1)} - T_h), \end{cases} \quad (2)$$

$$Q_h = Q_c + W_{TE}. \quad (3)$$

Здесь  $T_c$  – температура холодного теплоносителя,  $T_c^{(1)}$  – температура холодного теплообменника,  $T_c^{(2)}$  – температура холодной стороны термоэлектрического модуля,  $T_h$  – температура горячего теплоносителя,  $T_h^{(1)}$  – температура горячего теплообменника,  $T_h^{(2)}$  – температура горячей стороны термоэлектрического модуля,  $\chi_1$  – тепловое сопротивление холодного теплообменника 6,  $\chi_2$  – тепловое контактное сопротивление 4,  $\chi_3$  – тепловое контактное сопротивление 5,  $\chi_4$  – тепловое сопротивление горячего теплообменника 3,  $Q_c$  – холодопроизводительность теплового насоса,  $Q_h$  – его теплопроизводительность.

С учетом (1)–(3), выражение для реального холодильного коэффициента термоэлектрического теплового насоса приводится к виду:

$$\varepsilon_r = \frac{Q_c}{W_{TE} + W_1 + W_2} = \frac{\alpha I(T_c + Q_c N_1) - 0.5 I^2 R - \lambda(T_h - T_c - (Q_h N_2 + Q_c N_1))}{W_{TE} + W_1 + W_2}, \quad (4)$$

$$\text{где } N_1 = \frac{(\chi_1 + \chi_2)}{\chi_1 \chi_2}, \quad N_2 = \frac{(\chi_3 + \chi_4)}{\chi_3 \chi_4}.$$

При моделировании использованы конструктивные параметры термоэлектрического теплового насоса, а также методика компьютерного моделирования, которые были детально описаны в [10]. Результаты моделирования представлены ниже.

### Сравнение термоэлектрических и компрессионных индивидуальных кондиционеров для человека

Для сравнения проведен анализ литературы по компрессионным тепловым насосам в условиях повышенных температур окружающей среды. Анализ свидетельствует о том, что использование компрессионных тепловых насосов ограничивается максимальной температурой окружающей среды 45 °С [11]. При этом значение эффективности охлаждения с ростом температуры резко снижается. Вопреки недостаточно большому количеству информации о характеристиках компрессионных тепловых насосов при повышенных температурах, они были найдены в работах [12, 13] (рис. 2). Описанный компрессионный тепловой насос имеет электрическую мощность 3 кВт, что не соответствует диапазону использования индивидуальных кондиционеров для человека. Однако, используя зависимости эффективности компрессионных тепловых насосов от их мощности, полученные в [10], были найдены зависимости холодильного коэффициента компрессионных тепловых насосов от температуры окружающей среды для разных их мощностей (рис. 2).

Для наглядности построена графически сравнительная характеристика зависимости холодильного коэффициента компрессионных и термоэлектрических тепловых насосов от температуры окружающей среды (рис. 2).

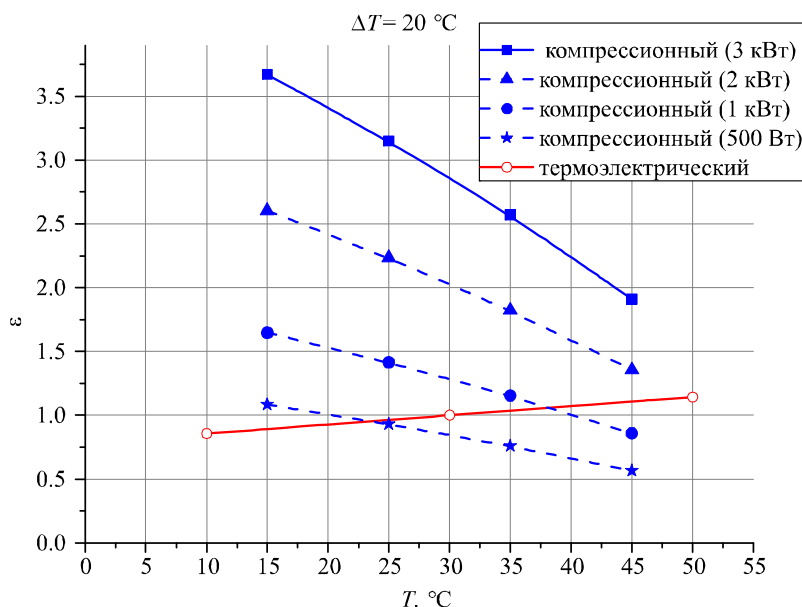


Рис. 2 Зависимость холодильного коэффициента компрессионных (синие линии) и термоэлектрических (красная линия) тепловых насосов от температуры окружающей среды.

Как видно из рис. 2, холодильный коэффициент компрессионных тепловых насосов значительно снижается при повышении температуры окружающей среды. Холодильный

коэффициент термоэлектрических тепловых насосов в таком случае не только не уменьшается, а даже возрастает. Таким образом, термоэлектрические тепловые насосы имеют бесспорное преимущество перед компрессионными при повышенных температурах окружающей среды в области небольших холодопроизводительностей (до 500 Вт), что соответствует режимам работы индивидуальных кондиционеров для человека.

### Выводы

1. Рассчитана зависимость холодильного коэффициента термоэлектрического теплового насоса от температуры окружающей среды и показано, что холодильный коэффициент возрастает с увеличением температуры.
2. Показано, что холодильный коэффициент компрессионных тепловых насосов резко уменьшается с ростом температуры окружающей среды.
3. Определено, что термоэлектрические тепловые насосы имеют бесспорное преимущество перед компрессионными при повышенных температурах окружающей среды (выше 30 °С) в области небольших холодопроизводительностей (до 500 Вт), что соответствует режимам работы кондиционеров для человека.

### Литература

1. Одяг для захисту від перегрівання: пат. 66389 Україна: МПК 2011.01.; опубл. 26.12.11, Бюл. № 24.
2. Pat. US 3950789.- Dry ice cooling jacket / Stephan A. Konz, Jerry R. Duncan.- Pub. Date: Apr. 20, 1976.
3. Pat. CN 203633537 U.- Fan type cooling human body air conditioning clothes / Tian Weiguo.- Pub. Date: June, 11, 2014.
4. Pat. US 20060191270 A1.- Air conditioning system for a garment / Ray Warren.- Pub. Date: Aug, 31, 2006.
5. Pat. US 20020073481 A1.- Cooling garment / Christopher Creagan, Charles Bolian, Irwin Singer.- Pub. Date: June, 20, 2002.
6. Нойтель К.-Х.- Системы рабочей одежды для экстремально холодных условий труда.- Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. № 2.
7. Pat. US3524965 A.- Electric heating element for apparel / Stanley Arron.- Pub. Date: Aug. 18, 1970.
8. Pat. US 2010/0107657 A1.- Apparel with heating and cooling capabilities / Kranthi K. Vistakula. – Pub. Date: May. 6, 2010.
9. Прибыла А.В. Физические модели индивидуальных кондиционеров для человека (часть первая). *Термоэлектричество*. 2016. № 1. С. 18 – 44.
10. Анатычук Л.И., Прибыла А.В. Сравнительный анализ термоэлектрических и компрессионных тепловых насосов для индивидуальных кондиционеров. *Термоэлектричество*. 2016. № 2. С. 35 – 44.
11. ГОСТ 16317-87. Приборы холодильные электрические. Общие технические условия.
12. Ейдеюс А.И., Кошелев В.Л. Эффективность работы кондиционеров с капиллярной трубкой на нерасчетных режимах. *АВОК*. 2007. № 5. С. 42 – 46
13. <http://www.airwell-residential.com/>

Поступила в редакцию 10.11.2016