

Анатичук Л.І.^{1,2}, Прибила А.В.¹, Корот М.М.¹

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;

²Чернівецький національний університет
ім. Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,
Чернівці, 58000, Україна

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ТА КОМПРЕСІЙНИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ КОНДИЦІОНЕРІВ В УМОВАХ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУР НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

У роботі наводяться результати порівняльного аналізу термоелектричних та компресійних теплових насосів для умов їх використання у кондиціонерах для людини при підвищених температурах оточуючого середовища.

Ключові слова: термоелектричний тепловий насос, компресійний тепловий насос, кондиціонер для людини.

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.

Вступ

Загальна характеристика проблеми. У літературі згадується про можливість кондиціонування тіла людини різними методами [1 – 9]. Особливий інтерес становлять методи, засновані на використанні компресійних та термоелектричних теплових насосів. Це зумовлено їх перевагами – високою ефективністю перетворення енергії та можливістю функціонування як в режимі охолодження, так і нагріву. В роботі [10] наведено порівняльний аналіз термоелектричних та компресійних теплових насосів для індивідуальних кондиціонерів по їх енергетичних та масогабаритних характеристиках в діапазоні температур оточуючого середовища 20 – 30 °С. Це дозволило виявити переваги термоелектричних теплових насосів при невеликих потужностях живлення (до 500 Вт), що відповідають умовам функціонування кондиціонерів для людини.

Проте особливий інтерес викликає використання кондиціонерів для людини при підвищених температурах оточуючого середовища (37 °С і вище), що пов'язано із затрудненим теплообміном організму з оточуючим середовищем. Як свідчить аналіз літератури, такі режими роботи теплових насосів є недостатньо вивченими.

Метою пропонованої роботи є визначення можливостей подальшого покращення якості індивідуальних кондиціонерів для людини на основі термоелектричних та компресійних теплових насосів шляхом проведення їх порівняльного аналізу в умовах підвищених температур оточуючого середовища.

Розрахунок енергетичних характеристик термоелектричного теплового насоса

Для проведення порівняльного аналізу характеристик теплових насосів проведені комп'ютерні розрахунки термоелектричного теплового насоса на основі фізичної моделі наведеної на рис. 1. Вона складається із термоелектричних модулів 1 (електропотужністю W_{TE}), гарячого 3 та холодного 6 теплообмінників, теплових контактних опорів між ними 4, 5 та рідинних насосів 2, 7, що забезпечують рух теплоносіїв через теплообмінники (W_1 , W_2). Перепади температур вздовж теплообмінників вважаються незначними і їх наявністю можна знехтувати.

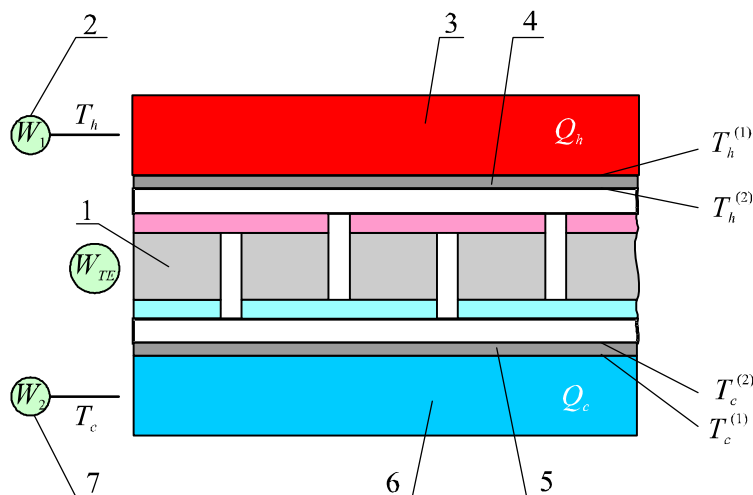


Рис. 1. Фізична модель термоелектричного теплового насоса.

Система рівнянь для опису холодильного коефіцієнта в залежності від параметрів елементів фізичної моделі визначається із рівнянь теплового балансу в тепловому насосі:

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

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

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

Тут T_c – температура холодного теплоносія, $T_c^{(1)}$ – температура холодного теплообмінника, $T_c^{(2)}$ – температура холодної сторони термоелектричного модуля, T_h – температура гарячого теплоносія, $T_h^{(1)}$ – температура гарячого теплообмінника, $T_h^{(2)}$ – температура гарячої сторони термоелектричного модуля, χ_1 – тепловий опір холодного теплообмінника 6, χ_2 – тепловий контактний опір 4, χ_3 – тепловий контактний опір 5, χ_4 – тепловий опір гарячого теплообмінника 3, Q_c – холодопродуктивність теплового насоса, Q_h – його теплопродуктивність.

Із врахуванням (1)–(3), вираз для реального холодильного коефіцієнта термоелектричного теплового насоса матиме вигляд:

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

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

При моделюванні використано конструктивні параметри термоелектричного теплового насоса, а також методику комп'ютерного моделювання, що були детально описані в [10]. Результати моделювання представлено нижче.

Порівняння термоелектричних та компресійних індивідуальних кондиціонерів для людини

Для порівняння проведено аналіз літератури по компресійним тепловим насосам в умовах підвищених температур оточуючого середовища. Аналіз свідчить про те, що використання компресійних теплових насосів обмежується максимальною температурою оточуючого середовища 45 °С [11]. При цьому значення ефективності охолодження зі зростанням температури різко знижується. Попри недостатньо велику кількість інформації про характеристики компресійних теплових насосів при підвищених температурах, вони були знайдені в роботах [12, 13] (рис. 2). Описаний компресійний тепловий насос має електричну потужність 3 кВт, що не відповідає діапазону використання індивідуальних кондиціонерів для людини. Проте, використовуючи залежності ефективності компресійних теплових насосів від їх потужності, отримані в [10], були знайдені залежності холодильного коефіцієнта компресійних теплових насосів від температури оточуючого середовища для різних їх потужностей (рис. 2).

Для наочності побудуємо графічно порівняльну характеристику залежності холодильного коефіцієнта компресійних і термоелектричних теплових насосів від температури оточуючого середовища (рис. 2).

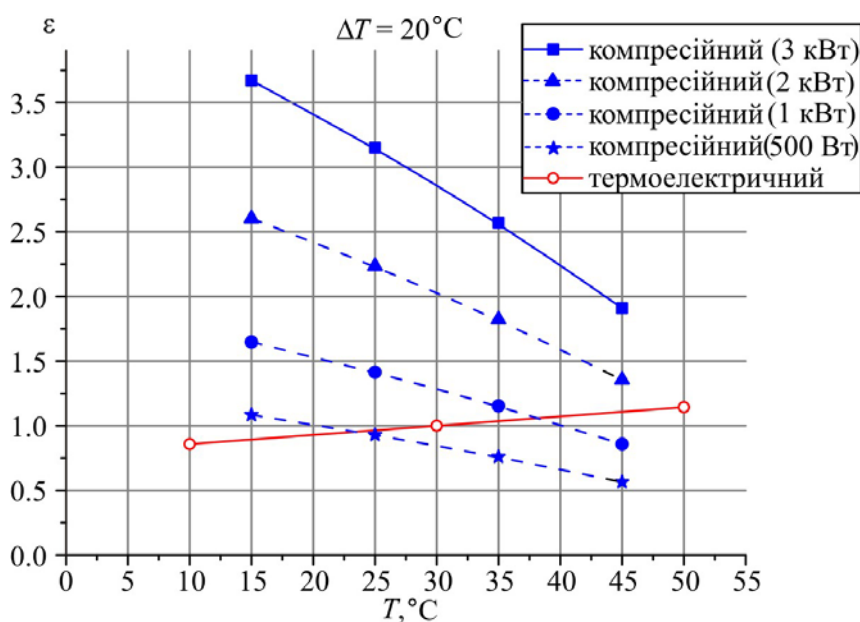


Рис. 2. Залежність холодильного коефіцієнта компресійних (сині лінії) та термоелектричних (червона лінія) теплових насосів від температури оточуючого середовища.

Як видно з рис. 2, холодильний коефіцієнт компресійних теплових насосів значно знижується при підвищенні температури оточуючого середовища. Холодильний коефіцієнт термоелектричних теплових насосів в такому випадку не тільки не зменшується, а навіть зростає. Таким чином, термоелектричні теплові насоси мають безперечну перевагу перед компресійними при підвищених температурах оточуючого середовища в області невеликих холодопродуктивностей (до 500 Вт), що відповідають режимам роботи індивідуальних кондиціонерів для людини.

Висновки

1. Розраховано залежність холодильного коефіцієнта термоелектричного теплового насоса від температури оточуючого середовища та показано, що холодильний коефіцієнт зростає із збільшенням температури.
2. Показано, що холодильний коефіцієнт компресійних теплових насосів різко зменшується із зростанням температури оточуючого середовища.
3. Визначено, що термоелектричні теплові насоси мають безперечну перевагу перед компресійними при підвищених температурах оточуючого середовища (вище 30 °С) в області невеликих холодопродуктивностей (до 500 Вт), що відповідають режимам роботи кондиціонерів для людини.

Література

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 бюлетьень. 202. № 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. Прибила А.В. Фізичні моделі індивідуальних кондиціонерів для людини (частина перша). *Термоелектрика*. 2016. № 1. С. 16 – 41.
10. Прибила А.В. Порівняльний аналіз термоелектричних та компресійних теплових насосів для індивідуальних кондиціонерів. *Термоелектрика*. 2016. № 2. С. 33 – 42.
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.
13. <http://www.airwell-residential.com/>

Надійшла до редакції 10.11.2016