



Філін С.О.

Філін С.О., докт. техн. наук
Закшевський Б., докт. техн. наук

Західнопоморський технологічний
університет у Щецині алея Піаст 17,
Щецин, 70-310, Польща;
e-mail: sergiy.filin@zut.edu.pl



Закшевський Б.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМА РОБОТИ ВЕНТИЛЯТОРА І МОДУЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ОХОЛОДЖУВАЧА НАПОЇВ

На прикладі охолоджувача напоїв експериментально визначена залежність температури T_c камери (ємності) охолоджувача від напруги живлення U_f вентилятора на гарячій стороні агрегату при різних значеннях напруги живлення модуля U_m . Правильний вибір напруги живлення U_f цього вентилятора дозволяє не лише знизити споживану потужність виробу в цілому, а й на $1-6^\circ\text{C}$ знизити температуру камери охолоджувача, що автоматично призводить до підвищення його продуктивності. При зміні напруги живлення термоелектричного модуля U_m в діапазоні від 0,3-0,4 до 0,75-0,8 номінального значення спостерігається мінімум функції $T_c(U_f)$. Бібл. 14, рис. 4, табл. 2.

Ключові слова: термоелектричний охолоджувач напоїв, глибина охолодження, вентилятор, напруга живлення, експериментальні дослідження.

Вступ

Ряд попередніх авторських публікацій [1-5] був присвячений проектуванню термоелектричних охолоджувачів напоїв в оригінальній тарі, тобто в металевих банках і пластикових пляшках. В рамках проведених досліджень було проаналізовано ринок сучасних побутових і автомобільних термоелектричних охолоджувачів напоїв з точки зору їх швидкості охолодження. Показано, що швидкодія цих пристроїв не задовольняє запити споживачів. Запропоновано використання «мокрого» контакту для збільшення швидкодії охолоджувачів і показано ефективність цього рішення як розрахунковим шляхом, так і експериментально. Дана робота є продовженням попередніх досліджень. Черговий етап присвячений аналізу впливу різних чинників на основні технічні характеристики згаданих охолоджувачів.

Як видно з таблиці 1, вибір найважливіших технічних характеристик термоелектричного пристрою залежить від його призначення і режими роботи (постійна робота або епізодична). Для

холодильників і міні-барів такими характеристиками є середня споживана потужність P , добове або річне енергоспоживання E і створюваний перепад температур ΔT . Для охолоджувачів напоїв – це швидкість охолодження V , звана також швидкодією, і глибина охолодження ΔT .

Таблиця 1

Якісний аналіз ступеня впливу обраних конструктивних і експлуатаційних факторів на найважливіші технічні характеристики побутових термоелектричних приладів

Група виробів фактор	Холодильники міні-бари	Охолоджувачі напоїв	Льодогенератори	Кондиціонери
Робота (режим роботи)	Постійна	Епізодична	Епізодична	Сезонна
Найважливіші характеристики	P або E , ΔT	V , ΔT , \$	G , \$	E або P , ΔT , \$
Ефективність термоелектричного матеріалу і модулів	++	++	++	++
Загальна компоновка, форма	+	+	++	+
Умови теплообміну на радіаторах (теплообмінниках)	++	++	+	++
Ефективність термічної ізоляції камери (ємності, льодоформи)	++	+	0	0
К.к.д. джерела живлення AC/DC	+	+	+	+
Спосіб регулювання температури	++	+	0	+
Економічність допоміжного обладнання (освітлення камери, автоматика, вентилятори і т.п.)	+	+	0	++

де: E - енергоспоживання, [кВт • год / добу]; P - споживана потужність, [Вт]; ΔT - створювана різницю температур (для холодильника), глибина охолодження (для охолоджувача напоїв), [°C]; температурний діапазон роботи (для кондиціонера); V - швидкість охолодження, [°C / год]; G - продуктивність, [кг / год]; $\$$ - ціна [\\$].

++ - сильний вплив, + - помірний вплив, 0 - вплив відсутній або мізерно мало.

У табл. 1 представлені фактори, що впливають на характеристики обраних типів пристроїв. Досвід створення і експлуатації побутових термоелектричних виробів показує, що вдосконалення їх характеристик не зводиться тільки до підвищення ефективності термоелектричних матеріалів. Сумарний вплив інших факторів порівняний, а в ряді випадків істотніший від впливу ефективності матеріалів. Серед цих інших факторів слід виділити умови теплообміну на радіаторах по обидва боки термоелектричного модуля або модулів. Температури переохолодження холодного радіатора і перегріву гарячого радіатора безпосередньо впливають на холодопродуктивність і енергетичну ефективність термоелектричного модуля [6, 7]. Тому умови теплообміну на радіаторах виділені як фактор сильного впливу.

Короткий аналіз літератури, мета і об'єкт дослідження

Ефективність теплообміну на обох сторонах термоелектричного модуля залежить від продуктивності вентилятора, яка, в свою чергу, залежить від напруги його живлення. Отже, головним змінним параметром було вибрано напругу живлення вентилятора. При цьому слід пам'ятати, що в побутових приладах, що живляться від мережі змінного струму 220-230 В через випрямляч, просто реалізувати незалежне живлення модуля і вентилятора. Дослідження впливу напруги живлення вентилятора розміщеного в камері холодильника або вітрини на середню температуру в камері було проведено досить давно і описано у працях [8 – 10]. У той же час ще більший інтерес являє дослідження впливу режиму роботи вентилятора на гарячій стороні модуля на температурні характеристики термоелектричного виробу. Окрім праці [10], де подібні дослідження велися в дуже обмеженому обсязі, такі експериментальні роботи до теперішнього часу не проводилися. Останні роботи присвячені експериментальним дослідженням термоелектричних охолоджувачів [11 – 14] також не зачіпають ці питання. Метою дослідження було заповнення зазначеної прогалини.

Як об'єкт дослідження було обрано термоелектричний охолоджувач напоїв з «мокрим контактом» типу TSSN-0.5, представлений на рис. 1 і докладно описаний у працях [1 – 5]. Охолоджувач призначений для охолодження напоїв в металевих банках об'ємом 0.33 і 0.5 літра і в пластикових пляшках того ж обсягу. В охолоджувачі встановлений один термоелектричний модуль типу MT2-1.6-127, що контактує своєю холодною стороною з дном теплоізолюваної циліндричної ємності з алюмінію. Гаряча сторона модуля пов'язана з радіатором, який обдувається вентилятором марки Everflow тип R128025DM з номінальною напругою живлення

12 В постійного струму. У досліджуваному об'єкті передбачено незалежне електроживлення модуля і вентилятора.



Рис. 1. Прототип побутового термоелектричного охолоджувача напоїв TSSN-0.5 [3]: а - загальний вигляд, б - момент випробувань.

Метод дослідження, короткий опис експериментального стенду і методики випробувань

Для реалізації поставленої мети було обрано експериментальний шлях досліджень. Випробування проводилися в лабораторії термоелектричного охолодження кафедри кондиціонування та холодильного транспорту Західнопоморського технологічного університету в Щецині в період 2020-2021 рр.

Спрощена схема експериментального стенду і схема установки датчиків температури показані на рис.2. Для вимірювання температур використовувалися термодавачі опору ТСМ-100, які входять до складу вимірювального комплексу ІТ-10. Результати вимірювань реєструвалися з частотою 10 с. за допомогою програмного забезпечення Channel 2.0. Вимірювання температур дублювалося термопарами типу J, підключеними до 8-канального реєстратора AR206. Живлення модуля і вентилятора здійснювалося від зовнішнього двоканального джерела живлення типу M10-DP-305E з незалежним регулюванням вихідних електричних параметрів. Після стабілізації температури камери при черговому значенні напруги живлення вентилятора джерело живлення

переклюалося на таке саме значення напруги за сталої величини напруги живлення термоелектричного модуля. Типову динаміку зміни температури камери в ході випробувань представлено на рис. 3.

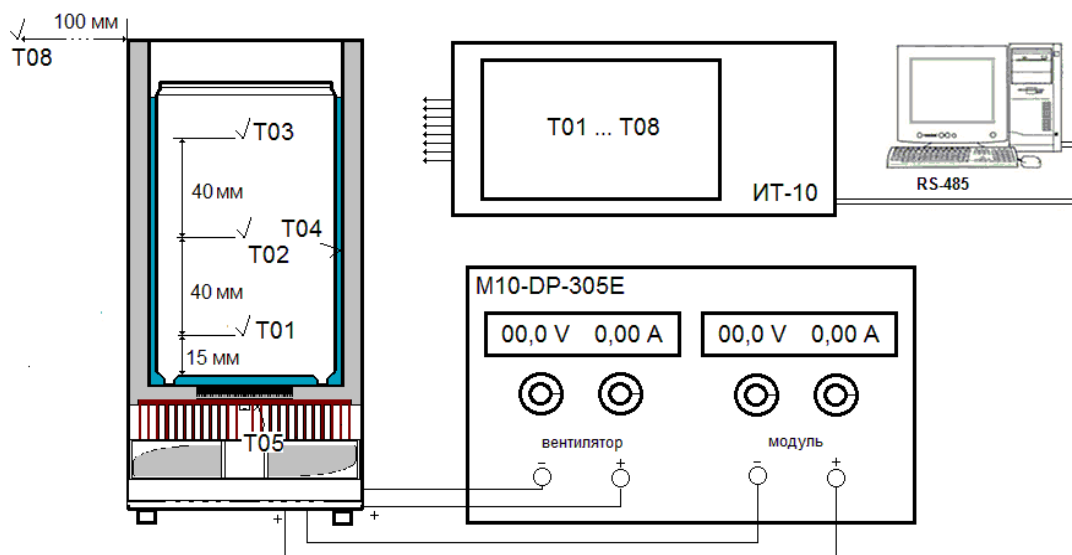


Рис. 2. Блок-схема експериментального стенду
із зазначенням місць установки термодар.

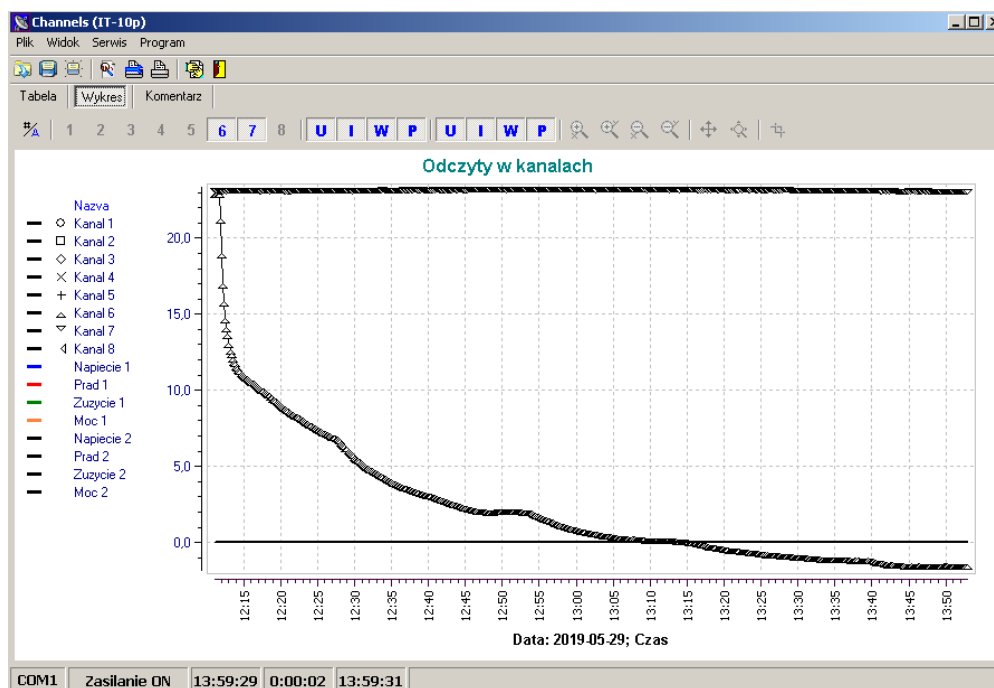


Рис. 3. Динаміка зміни температури
камери T_c в ході випробувань при $U_m = 10$ В.

Випробування проводились за температури в приміщенні лабораторії $22 \pm 1^\circ\text{C}$, підтримуваної за допомогою побутового кондиціонера типу split. Випробування проведено для двох режимів роботи охолоджувача: з порожньою камерою (ємністю) і з напоєм в банці ємністю 0.33 літра (рис. 1б).

Результати випробувань і їх аналіз

Результати випробувань охолоджувача з металевої банкою в синтетичному вигляді представлено в табл. 2. Напруга живлення вентилятора регулювалась в діапазоні від 6 до 14 В, що впливає з багаторічного досвіду експлуатації осьових вентиляторів даного типу. Вони зберігають свою працездатність при зміні напруги живлення в діапазоні від 5 до 15 В. В експерименті ми обмежилися діапазоном 6-14 В з наступних причин. За напруги нижчої від 6В виникають проблеми зі стартом вентилятора, хоча при плавному зниженні напруги з 6 до 5 В він продовжує працювати на малих обертах. Напруга понад 14 В пов'язана зі збільшенням енерговитрат і підвищенням шумом.

Таблиця 2

*Результати випробувань термоелектричного
охолоджувача при змінних значеннях напруги
харчування модуля U_m і вентилятора U_w*

температури $^\circ\text{C} \rightarrow$	T_c			T_h			ΔT		
напруги $U_m \rightarrow$ $\downarrow U_f$	6 В	8 В	10 В	6 В	8 В	10 В	6 В	8 В	10 В
6 В	5.1	5.9	6.7	34.3	39.3	50.2	29.2	33.4	43.5
8 В	4.3	4.3	2.0	32.2	35.9	45.2	27.9	31.6	43.2
10 В	4.1	4.3	0.1	31.0	34.7	42.3	26.9	30.4	42.2
12 В	4.4	4.3	-1.0	30.3	32.7	40.4	25.9	28.4	41.4
14 В	4.6	5.4	-1.3	29.6	31.9	39.4	25.0	26.5	40.4

Діапазон змін напруги модуля було звужено до меж від 6 до 10 В, що впливало з попередніх експериментів [3]. Зміна температури гарячого радіатора T_h повністю відповідала нашим очікуванням: за кожного сталого значення напруги живлення модуля U_m (6, 8 і 10 В) зі збільшенням напруги живлення вентилятора U_f температура гарячого радіатора T_h зменшувалася, причому це зменшення було більш значимим за вищих значень U_m . Зовсім інакше ситуація виглядала на холодній стороні, де вимірювалася температура стінки ємності (камери), в якій знаходилася банка з напоєм. Тут спостерігалися мінімальні значення температури ємності T_c за напруги живлення $U_f = 10$ В при напрузі живлення модуля 6 В і 8 В, причому за $U_m = 8$ В мінімум був розмитий. За $U_m = 10$ В спостерігалася монотонне зниження температури T_c при збільшенні U_f (рис. 4).

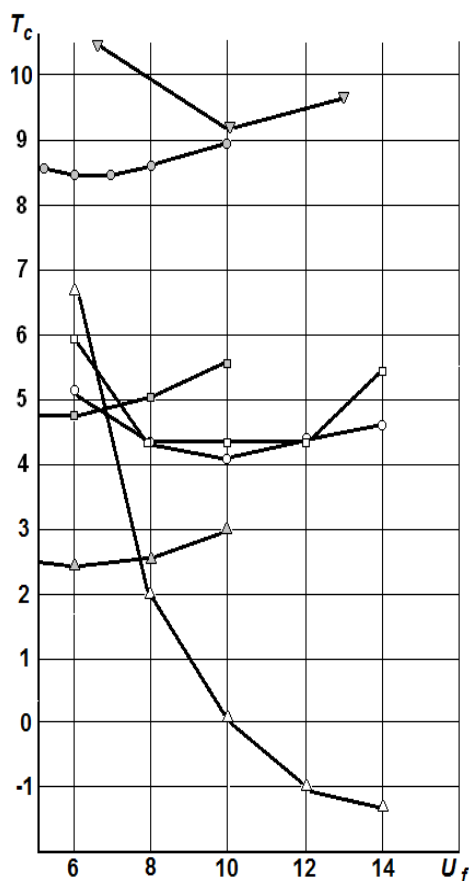


Рис.4. Залежність температури ємності (камери) T_c від напруги живлення вентилятора U_f встановленого на гарячій стороні модуля при різних значеннях напруги його живлення,
а саме: $\circ$ - $U_m = 6$ В; $\square$ - $U_m = 8$ В; $\triangle$ - $U_m = 10$ В;
інші графіки і позначення стосуються порівняння результатів з даними інших досліджень і пояснені в тексті

На рис. 4 також представлено порівняння отриманих результатів з результатами відомих, більш ранніх робіт. Символом ∇ позначено залежність температури в камері термоелектричної холодильної вітрини об'ємом 103 літри від напруги живлення вентиляторів на гарячій стороні агрегату [10], а символами $\circ$, $\square$, $\triangle$ показано залежність температури в камері термоелектричного холодильника для напоїв обсягом 13.5 літра від напруги живлення вентилятора в камері, тобто на холодній стороні агрегату [8]. Перша зі згаданих залежностей (∇) має мінімум поблизу $U_f = 10$ В. Ця величина збігається з результатами даного дослідження. Чи впливає з цього універсальна рекомендація вибору U_f ?

Беручи до уваги, що на оптимальне значення U_f впливає не лише напруга живлення модуля, а й конструкція гарячого теплообмінника, тип вентилятора, спосіб регулювання температури і ряд інших факторів, остаточний висновок про це робити поки рано. У той же час можна з упевненістю зробити якісний висновок: існує оптимальна з точки зору зниження температури T_c в камері величина напруги живлення вентилятора на гарячій стороні, і вона менша за номінальну напругу живлення вентилятора. Ще один, не настільки очевидний, але важливий висновок: чим більшу поверхню теплообміну матиме гарячий радіатор, тим менше буде оптимальна величина напруги живлення вентилятора. У стаціонарних термоелектричних холодильниках та інших пристроях, в яких зниження маси не є пріоритетним завданням, використання радіатора з більшою поверхнею призводить до зростання собівартості холодильника в межах 5-6 %. При цьому відповідне зменшення напруги живлення вентилятора означає від 2 % до 4 % зниження споживаної потужності. Результат техніко-економічного аналізу залежить від частоти (інтенсивності) використання холодильника. Якщо стаціонарний холодильник або охолоджувач напоїв використовується в цілодобовому режимі більше 3 місяців на рік упродовж мінімум 5 років, економія експлуатаційних витрат є пріоритетною по відношенню до економії інвестиційних витрат. Результат техніко-економічного аналізу залежить від частоти (інтенсивності) використання холодильника. Якщо стаціонарний холодильник або охолоджувач напоїв використовується в цілодобовому режимі більше 3 місяців на рік упродовж мінімум 5 років, економія експлуатаційних витрат є пріоритетним по відношенню до економії інвестиційних витрат.

Аналогічна залежність T_c від U_f , але на цей раз по холодній стороні агрегату, також демонструє мінімум для різних величин U_m ($\circ - U_m = 6$ В; $\square - U_m = 8$ В; $\triangle - U_m = 10$ В), який відповідає мінімальному значенню напруги живлення вентилятора, тобто 6В. Фізичний сенс такої поведінки функції $T_c(U_f)$ полягає в наступному. При переході від природної конвекції до примусової, який спостерігається за $U_f = 5-6$ В, відбувається стрибкоподібне зниження середньої температури в камері холодильника. Однак подальше зростання напруги живлення вентилятора, чому відповідає збільшення швидкості циркуляції повітря в камері, призводить до того, що сумарний термічний опір теплообміну на стінках камери (з урахуванням нещільності ізоляції дверей) зменшується швидше, ніж опір на холодному радіаторі.

Висновки

Проведені дослідження в черговий раз показали важливе значення узгодження режимів роботи модуля (модулів) і вентиляторів, що використовуються в агрегатах різних термоелектричних виробів. На прикладі охолоджувача напоїв експериментально визначена залежність температури T_c камери (ємності) охолоджувача від напруги харчування U_f вентилятора на гарячій стороні агрегату при різних значеннях напруги харчування модуля U_m . Правильний вибір напруги живлення U_f цього вентилятора дозволяє не тільки знизити споживану потужність всього виробу, а й на 1-6°C знизити температуру камери охолоджувача, що автоматично призводить до підвищення його швидкодії. При зміні напруги живлення термоелектричного модуля U_m в діапазоні від 0.3-0.4 до 0.75-0.8 номінального значення спостерігається мінімум функції $T_c(U_f)$.

Література

1. Filin SO The influence of thermal contact between cooling surface and object on quick-speed thermoelectric coolers for beverages. Journal of Thermoelectricity, n.1, 2018, p. 66-77.
2. Filin SO Poprawa dynamicznych charakterystyk małych termoelektrycznych schładzaczy i podgrzewaczy napojów. Ciepłownictwo, ogrzewnictwo, wentylacja, n.12, 2018, s. 525-529. DOI: 10.15199 / 9.2018.12.9
3. Filin SO, Zakrzewski B. Експериментальні дослідження швидкодії термоелектричних охолоджувачів напоїв з мокрим контактом. Інженерно-фізичний журнал. (JEPTER). Том 94, вип.1. 2 021.
4. Filin SO Calculation of the cooling speed of the thermoelectric beverage cooler with "wet" contact. Journal of Thermoelectricity. n. 2, 2020 року, p. .
5. Filin S., Anatychuk L. Termoelektryczne schładzacz napojów. Zgłoszenie patentowe nr 426737 z dnia 22.08.2018.
6. Анатичук Л. І. Термоелементи і термоелектричні пристрої: Довідник. Київ: Наукова думка, 1979. 768 с.
7. НАЕР В.А., Гарачук В.К. Теоретичні основи термоелектричного охолодження. Одеса: ОПИ, 1982. 112 с.
8. Filin S., Owsicki A. Badania wpływu parametrów pracy wentylatora w komorze na cechy eksploatacyjne chłodziarki termoelektrycznej, Chłodnictwo, tom XL, 4, 2005, s. 8-12,30.
9. Filin SO, Owsicki A. Experimental research of thermoelectric glass door refrigerators. Journal of Thermoelectricity, n. 2, 2006, p.68-73.
10. Zakrzewski B., Filin S., Owsicki A. Design and experimental research of glass door refrigeration of 100 l volume with thermoelectric cooling unit. Proceeding of 4-th Congress CEFood, 2006, Bulgarian, Sofia, may 22-24, 2006.
11. Fairuz Remeli M., Ezzah Bakaruddin N., Shawal S., Husin H., Fauzi Othman M., Singh B.

Experimental study of a mini cooler by using Peltier thermoelectric cell. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 788 (1), 2020 року, 012 076, DOI: 10.1088 / 1757-899X / 788/1/012076.

12. Reid E., Barkes J., Morrison C., Ung A., Patel R., Rebarker C., Panchal P., Vasa S. Design and Testing of a Thermoelectrically- Cooled Portable Vaccine Cooler. Journal of Young Investigators 35 (2), 2018, pp. 50-55, DOI: 10.22186 / jyi.35.2.50-55.
13. Mirmanto Mirmanto, Syahrul Syahrul, Yusi Wirdan. Experimental performances of a thermoelectric cooler box with thermoelectric position variations. Engineering Science and Technology an International Journal, 22 (1), 2018, DOI: 10.1016 / j.jestch.2018.09.006.
14. Yasser Abdulrazak Alghanima, Osama Mesalhy, Ahmed Farouk Abdel Gawad. Effect of position and design parameters of a fan-cooled cold-side heat-sink of a Thermoelectric cooling-module on the performance of a hybrid refrigerator. Proceedings of ICFD14: Fourteenth International Conference of Fluid Dynamics, 2-3 April, Cairo, 2021, Egypt.

Надійшла до редакції 17.09.2020

Филин С.О., докт. техн. наук

Закшевский Б., докт. техн. наук

Західнопоморський технологічний університет у Щецині

алея Пиастив 17, Щецин, 70-310, Польща,

e-mail: e-mail: sergiy.filin@zut.edu.pl

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИСЛЕДОВАНИЕ ВЛЕЯНИЯ РЕЖИМА РОБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРА И МОДУЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧНОГО ОХЛАДИТЕЛЯ НАПИТКОВ

На примере охладителя напитков экспериментально определена зависимость температуры T_c камеры (емкости) охладителя от напряжения питания U_f вентилятора на горячей стороне агрегату при различных значениях напряжения питания модуля U_m . Правильный вибир напряжения питания U_f этого вентилятора позволяет не только снизить потребляемую мощность всего изделия, но и на 1-6°C снизить температуру камеры охладителя, что автоматически приводит к повышению его производительности. При изменении напряжения питания термоэлектрического модуля U_m в диапазоне від 0.3-0.4 до 0.75-0.8 номинального значения наблюдается минимум функции $T_c(U_f)$. Библ. 14, рис. 4, табл. 2.

Ключовые слова: термоэлектрический охладитель напитков, глубокость охлаждения, вентилятор, напряжение питания, экспериментальные исследование.

Filin S.O., doctor Tech. Sciences
Zakrzewski Bogusław, doctor Tech. Sciences

West-Pomeranian Technological University,
Szczecin, 17, al.Piastow, Szczecin, 70-310, Poland,
e-mail: sergiy.filin@zut.edu.pl

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF THE FAN AND MODULE OPERATING MODE ON THE CHARACTERISTICS OF THERMOELECTRIC BEVERAGE COOLER

Using a beverage cooler as an example, the dependence of the temperature T_c of the chamber (container) of the cooler on the supply voltage U_f of the fan on the hot side of the unit was experimentally determined for various values of the supply voltage U_m of the module. The correct choice of the supply voltage U_f of this fan allows not only to reduce the power consumption of the entire product, but also to reduce the temperature of the cooler chamber by 1-6 ° C, which automatically leads to an increase in its speed. When the supply voltage of the thermoelectric module U_m changes in the range from 0.3-0.4 to 0.75-0.8 of the nominal value, a minimum of the $T_c(U_f)$ function is observed. Bibl. 14, Fig 4, table 2.

Key words: thermoelectric beverage cooler, cooling depth, fan, supply voltage, experimental studies.

References

1. Filin S.O. (2018). The influence of thermal contact between cooling surface and object on quick-speed thermoelectric coolers for beverages. *J.Thermoelectricity*, 1, 66-77.
2. Filin S.O. (2018). Poprawa dynamicznych charakterystyk małych termoelektrycznych schładzaczy i podgrzewaczy napojów. *Ciepłownictwo, ogrzewnictwo, wentylacja*, 12, 525-529. DOI: 10.15199/9.2018.12.9
3. Filin S.O., Zakrzewski B. (2021). Experimental studies of the performance of thermoelectric coolers of drinks with wet contact. *JEPTER*, 94 (1).
4. Filin S.O. (2020). Calculation of the cooling speed of the thermoelectric beverage cooler with "wet" contact. *J. Thermoelectricity*, 2 .
5. Filin S., Anatychuk L. Termoelektryczne schładzacz napojów. Zgłoszenie patentowe nr 426737 z dnia 22.08.2018.
6. Anatychuk L.I. (1979). *Termoelementy i termoelektryczne urządzenia: Spravochnik [Thermoelements and thermoelectric devices: Handbook]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].

7. Naer V.A., Garachuk V.K. (1982). *Teoreticheskiye osnovy termoelektricheskogo okhlazhdeniya* [Theoretical foundations of thermoelectric cooling]. Odessa: OPI [in Russian].
8. Filin S., Owsicki A. (2005). Badania wpływu parametrów pracy wentylatora w komorze na cechy eksploatacyjne chłodziarki termoelektrycznej. *Chłodnictwo*, XL, 4, 8-12,30.
9. Filin S.O, Owsicki A. (2006). Experimental research of thermoelectric glass door refrigerators. *J.Thermoelectricity*, 2, 68-73.
10. Zakrzewski B., Filin S., Owsicki A. (2006). Design and experimental research of glass door refrigeration of 100 l volume with thermoelectric cooling unit. *Proceedings of 4-th Congress CEFood* (Bulgaria, Sofia, May 22-24, 2006).
11. Fairuz Remeli M., Ezzah Bakaruddin N., Shawal S., Husin H., Fauzi Othman M., Singh B. (2020). Experimental study of a mini cooler by using Peltier thermoelectric cell. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 788(1), 012076, DOI: 10.1088/1757-899X/788/1/012076.
12. Reid E., Barkes J., Morrison C., Ung A., Patel R., Rebarker C., Panchal P., Vasa S. (2018). Design and testing of a thermoelectrically-cooled portable vaccine cooler. *Journal of Young Investigators*, 35(2), 50–55, DOI: 10.22186/jyi.35.2.50-55.
13. Mirmanto Mirmanto, Syahrul Syahrul, Yusi Wirdan. (2018). Experimental performances of a thermoelectric cooler box with thermoelectric position variations. *Engineering Science and Technology an International Journal*, 22(1), DOI: 10.1016/j.jestch.2018.09.006.
14. Yasser Abdulrazak Alghanima, Osama Mesalhy, Ahmed Farouk Abdel Gawad. (2021). Effect of position and design parameters of a fan-cooled cold-side heat-sink of a thermoelectric cooling-module on the performance of a hybrid refrigerator. *Proceedings of ICFD14: Fourteenth International Conference of Fluid Dynamics* (Egypt, Cairo, April 2-3, 2021).

Submitted 17.09.2020