

УДК 621.565.83

**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ВЕНТИЛЯТОРА НА ПРОЦЕС ОХОЛОДЖУВАННЯ В ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОМУ ХОЛОДИЛЬНИКУ****Кулініч Р. В., Біла Т. Я.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** Підвищення ефективності процесу охолодження в термоелектричному холодильнику.

**Методика.** В роботі використовуються експериментальні методи досліджень та методи регресійного аналізу оброблення даних.

**Результати.** Розроблено лабораторний стенд для дослідження процесів, що відбуваються в холодильнику. Показано, що одним з шляхів підвищення ефективності процесу охолодження в термоелектричному холодильнику є регулювання швидкістю обдування повітрям гарячого боку термоелектричної батареї.

**Наукова новизна.** Отримали подальший розвиток методи підвищення ефективності роботи термоелектричних холодильників.

**Практична значимість.** Термоелектричний холодильник з керованою швидкістю обертання вентилятора дозволяє скоротити час охолодження та енерговитрати.

**Ключові слова:** термоелектрична батарея, охолодження, вентилятор, регулювання, швидкість, вимірювання, температура

Термоелектричне охолодження в теперішній час, крім електропобутової техніки, знайшло використання в різних сферах діяльності людини, а саме, в радіоелектронній і нафтовій промисловості, в готельному бізнесі та медицині, індустріальному та лабораторному обладнанні, тощо [1].

Термоелектричні холодильники (ТЕХ) побутового призначення випускаються двох типів: переносні (автомобільні) та стаціонарні [2]. Переносні термоелектричні холодильні пристрої призначені для короткочасного зберігання продуктів та охолодження напоїв під час руху або зупинки автомобіля або автобуса. Це обумовлено тим, що напруга живлення термоелектричних пристроїв збігається з напругою бортової мережі, а компресорне охолодження важко застосувати в зв'язку з механічними вібраціями і тремтінням. Напруга живлення таких холодильників становить 12 В або 24 В постійного струму.

Суттєвою перевагою ТЕХ є легкість переходу із режиму охолодження в режим нагрівання шляхом зміни полярності напруги живлення. Вони мають низький ККД в порівнянні з компресійними холодильниками, проте набагато простіші за конструкцією, не мають рухомих частин (за виключенням вентилятора), безшумні та надійні в роботі.

Завдяки відсутності холодоагентів, на відміну від інших типів холодильників, термоелектричні холодильники є найбільш екологічно чистими, оскільки повітря не буде забруднюватися шкідливими речовинами. Ця особливість робить термоелектричний холодильник досить безпечним для використання у побуті.

На даний час актуальним питанням є створення термоелектричних холодильників з більшою холодопродуктивністю термоелектричних батарей (ТЕБ) та більш ефективною системою охолодження їх гарячих спаїв.

Тому вдосконалення термоелектричного холодильника є актуальним завданням.

### ***Постановка завдання***

Метою роботи є підвищення ефективності процесу охолодження в термоелектричному холодильнику шляхом керування швидкістю обдування повітрям гарячого боку термоелектричної батареї.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- встановлення параметри процесу термоелектричного охолодження, що впливають на його ефективність;
- розроблення функціональної схеми лабораторного стенду;
- створення діючого стенду для дослідження параметрів процесу охолодження в різних режимах роботи;
- проведення експериментальних досліджень для оцінки ефективності впровадження системи регулювання швидкістю обдування повітрям гарячого боку термоелектричної батареї.

### ***Результати досліджень***

Термоелектричний ефект Пельтьє є поверхневим, при цьому при проходженні електричного струму певної величини одна поверхня термоелектричної батареї охолоджується, а інша нагрівається [2]. Для забезпечення ефективної і надійної експлуатації термоелектричного пристрою необхідно забезпечити відведення теплоти від гарячого боку ТЕБ в більш холодне навколишнє середовище. Режим роботи ТЕБ та термоелектричної системи в цілому визначають необхідну швидкість «скидання» теплоти з гарячого боку ТЕБ, при цьому необхідна швидкість скидання може бути в кілька разів вище швидкості відведення тепла від холодного боку.

Більшість термоелектричних систем будуються із застосуванням радіаторів. Радіатор – це пристрій, що покращує передачу теплоти від гарячої поверхні ТЕБ в

навколишнє середовище (як правило, в повітря або воду, але бувають і інші варіанти) [1]. На практиці застосовуються три основних типи радіаторів: радіатори з природним (конвекційним), примусовим (обдуваються вентилятором) і рідинним охолодженням. Радіатори з вентилятором найбільш поширені в побутових переносних ТЕХ, що обумовлено можливістю істотно зменшити габарити пристрою охолодження при певному значенні холодинної потужності  $Q$ .

Основними параметрами вентилятора, що встановлюється на радіатор для охолодження, є обсяг в одиницю часу потоку повітря, швидкість обертання валу, тип підшипника, максимальна робоча температура та ресурс напрацювання на відмову (як правило, приводиться тільки для відносно дорогих моделей) [3]. Тому підвищити ефективність охолодження можна за допомогою керування швидкістю потоку повітря, що створюється вентилятором.

Для реалізації запропонованого рішення розроблена функціональна схема експериментального стенда для дослідження впливу швидкості обертання вентилятора на температуру в камері термоелектричного холодильника (рис. 1).

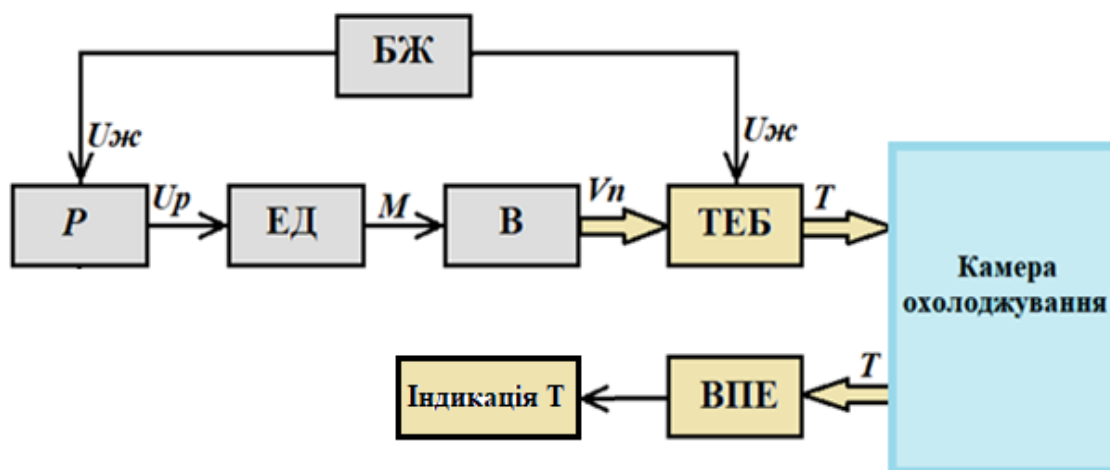


Рис. 1. Функціональна схема експериментального стенда

Схема складається з БЖ – блоку живлення, Р – регулятора, ТЕБ – термоелектричної батареї, ЕД – електродвигуна постійного струму, В – вентилятора обдування радіатора гарячих спаїв ТЕБ, ВПЕ – вимірювально-перетворювального елемента для контролю температури Т в камері охолодження ТЕХ. Напруга живлення  $U_{ж}$  одночасно подається на Р та ТЕБ. Від регулятора напруга керування  $U_{р}$  (залежно від необхідної швидкості обертання) подається на ЕД. Обертальний момент  $M$  передається

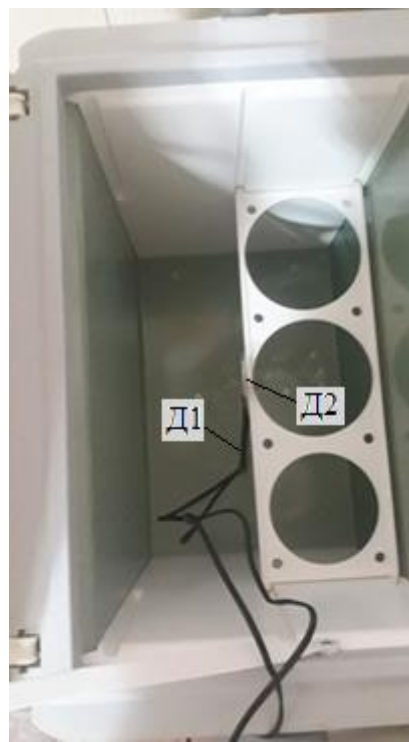
на вісь вентилятора, крильчатка якого створює потік повітря певної швидкості  $V_n$ , що обдуває гарячий бік ТЕБ. Тим самим забезпечується збільшення швидкості «скидання» теплоти з гарячого боку термоелектричної батареї.

Для дослідження обрано термоелектричний холодильник переносного типу «Goldstar-100». Цей холодильник призначений для зберігання харчових продуктів та охолодження напоїв, а у випадку необхідності може бути використаний для підігрівання напоїв та продуктів харчування. Холодильник «Goldstar-100» відноситься до холодильників параметричного ряду ХТЕП (модель ХТЕП-9,2-1).

Відповідно до функціональної схеми розроблено лабораторний стенд (рис. 2, а), що містить ТЕХ (1), радіатор (2) з вентилятором, блок живлення (3), термометри (4), панель керування (5) та з'єднувальні електричні дроти.



а)



б)

Рис. 2. Загальний вигляд:

а) лабораторного стенда; б) камери охолодження з датчиками

В холодильник «Goldstar-100» ТЕБ з радіатором охолодження розташовані в нижній частині корпусу, де додатково встановили ШІМ-контролер швидкості DC12-36V 3A. В якості ВПЕ застосували два цифрових термометри (4) із світлодіодними індикаторами та виносними датчиками температури типу НТ-1/DC1.

На рис. 2, б показана камера охолодження (вигляд зверху) з встановленими двома датчиками температури: Д1 встановлений на дні камери (вимірює температуру Т1, тобто температуру гарячого боку ТЕБ), Д2 – на тримачі для пляшок (вимірює температуру в камері охолодження Т2).

Експериментальні дослідження термоелектричного холодильника проводились за наступним алгоритмом.

1) Ввімкнути загальний вимикач блоку живлення лабораторного стенда напругою 12 В та записати початкові дані датчиків температури Д1 і Д2.

2) Перемикач режимів роботи на панелі керування ТЕХ перемикнути в режим охолодження.

3) Ввімкнути вимикач живлення ТЕХ, при цьому одночасно подається напруга на ТЕБ охолоджувача, регулятор та, відповідно, електродвигун постійного струму вентилятора обдування радіатора гарячого боку термоелектричної батареї.

4) Провести вимірювання температур Т1 і Т2 з інтервалом в 5 хвилин до досягнення усталеної температури.

За описаним алгоритмом на стенді проведена серія експериментальних досліджень параметрів процесу охолодження, що відбуваються в ТЕХ, за різних швидкостях обертання валу вентилятора  $n_{\text{вент}}$ . За отриманими даними від датчиків температури Д1 та Д2 побудовано часові графічні залежності змінювання температури в ТЕХ засобами програми Mathcad (рис. 3).

Оброблення результатів експериментальних вимірювань як масиву статистичних даних виконано методом регресійного аналізу з використанням вбудованих функцій програми Mathcad: функція  $corr(t, T)$  розраховує коефіцієнт кореляції Пірсона  $r$  між двома векторами, функції  $intercept(t, T)$  та  $slope(t, T)$  визначають значення параметрів рівняння лінійної регресії (вільного члена  $a$  та кутового коефіцієнта  $b$ , відповідно).

Отримані наступні результати.

Швидкість обертання валу вентилятора 4000 об/хв.:

- для температури на дні камери охолодження Т1  $r = -0,896$ ;  $a = 15,084$ ;  $b = -0,218$ ;
- для температури в камері охолодження Т2  $r = -0,986$ ;  $a = 17,814$ ;  $b = -0,158$ .

Рівняння регресії:

$$T1 = 15,084 - 0,218 t \quad \text{та} \quad T2 = 17,814 - 0,158 t$$

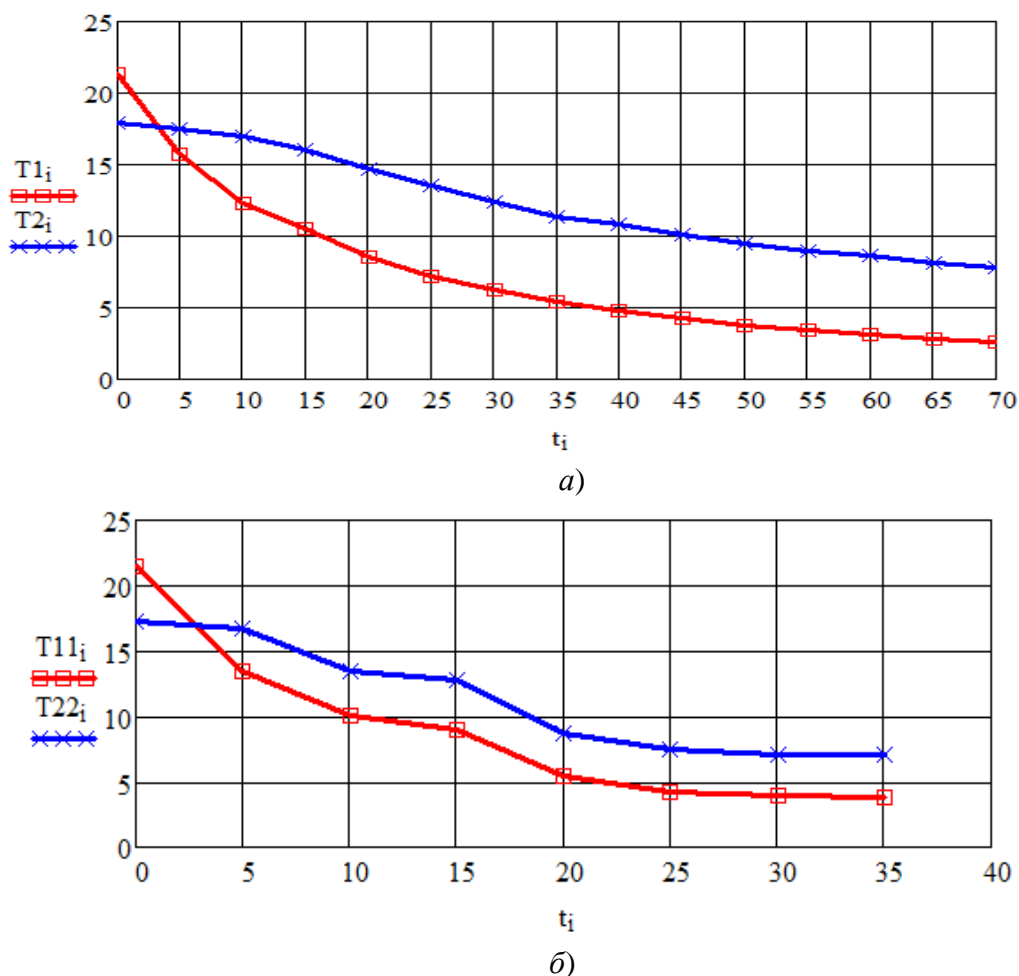


Рис. 3. Часові залежності змінювання температури в режимі охолодження:  
а)  $n_{\text{вент}} = 4000$  об/хв.; б)  $n_{\text{вент}} = 5000$  об/хв.

Швидкість обертання валу вентилятора 5000 об/хв.:

- для температури на дні камери охолодження  $T1$   $r = -0,914$ ;  $a = 16,908$ ;  $b = -0,457$ ;
- для температури в камері охолодження  $T2$   $r = -0,964$ ;  $a = 17,25$ ;  $b = -0,339$ .

Рівняння регресії:

$$T1 = 16,908 - 0,457t \quad \text{та} \quad T2 = 17,25 - 0,339t$$

Проаналізуємо вплив керування швидкістю обдування повітрям гарячого боку ТЕБ на процес охолодження. Як показують графічні залежності (рис. 3), при збільшенні швидкості до 5000 об/хв. температура на дні камери в  $3,8^{\circ}\text{C}$  досягається за 30 хв., тоді як при 4000 об/хв. – за 50 хвилин. Швидкість процесів оцінюємо за допомогою розрахованих коефіцієнтів  $b$ . За  $n_{\text{вент}} = 4000$  об/хв. швидкість охолодження складає: на дні камери  $-0,218$   $^{\circ}\text{C}/\text{хв.}$ , а в середині камери  $-0,158$   $^{\circ}\text{C}/\text{хв.}$ , за  $n_{\text{вент}} = 5000$  об/хв. – на дні камери  $-0,457$   $^{\circ}\text{C}/\text{хв.}$ , а в повітрі камери  $-0,339$   $^{\circ}\text{C}/\text{хв.}$

Таким чином, при збільшенні швидкості обертання валу вентилятора збільшується швидкість процесу охолодження як на дні, так і в середині камери термоелектричного холодильника.

### **Висновки**

В статті показано, що використання вентилятора з керованою швидкістю обертання значно підвищує інтенсивність відведення теплоти від гарячого боку термоелектричної батареї. Експериментально встановлено, що при збільшенні швидкості обертання валу вентилятора на 25% швидкість охолодження збільшується в середньому у 2 рази, що підвищує ефективність роботи термоелектричного холодильника.

### **Список використаних джерел**

1. Шостаковский П. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники / П. Шостаковский // Компоненты и технологии. – 2010. – № 1. – С. 130-137.
2. Петко І. В. Електропобутова техніка : підручник / І. В. Петко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла, М. Є. Скиба. – Хмельницький : ХНУ, 2018. – 234 с.
3. Дячек П. И. Технико-экономические аспекты применения вентиляторов / П. И. Дячек // Инженерные системы. – 2011. – № 1. – С. 86-91.

### **References**

1. Shostakovskij, P. (2010). *Sovremennye resheniya termoelektricheskogo ohlazhdeniya dlya radioelektronnoj, medicinskoj, promyshlennoj i bytovoj tehniki* [Modern solutions of thermoelectric cooling for electronic, medical, industrial and household appliances] *Komponenty i tehnologii - Components and Technology, 1, 130-137* [in Russian].
2. Petko I.V., Burmistenkov O.P., Bila T.Ya. & Skyba M. Ye. (2018). *Elektropobutova tekhnika* [Electrical household appliances]. Khmelnytskyi: KhNU [in Ukraine].
3. Dyachek P.I. (2011). *Tehniko-ekonomicheskie aspekty primeneniya ventilyatorov* [Technical and economic aspects of application of the fan] *Inzhenernyye sistemy – Engineering systems, 1, 86-91* [in Russian].

**Kulinich Roman**

[romankulinichhh22@gmail.com](mailto:romankulinichhh22@gmail.com)

Kyiv National University of  
Technologies and Design

**Bila Tetiana**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5014-9052>

ResearcherID: [AAG-1832-2020](https://orcid.org/AAG-1832-2020)

[bila.ty@knu.edu.ua](mailto:bila.ty@knu.edu.ua)

Kyiv National University of  
Technologies and Design

*Определение влияния скорости вращения вентилятора на процесс охлаждения в термоэлектрическом холодильнике*

**Кулинич Р. В., Белая Т. Я.**

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Повышение эффективности процесса охлаждения в термоэлектрическом холодильнике.

**Методика.** В работе используются экспериментальные методы исследований и методы регрессионного анализа обработки данных.

**Результаты.** Разработан лабораторный стенд для исследования процессов, протекающих в холодильнике. Показано, что одним из путей повышения эффективности процесса охлаждения в термоэлектрическом холодильнике является регулирование скоростью обдува воздухом горячей стороны термоэлектрической батареи.

**Научная новизна.** Получили дальнейшее развитие методы повышения эффективности работы термоэлектрических холодильников.

**Практическая значимость.** Термоэлектрический холодильник с управляемой скоростью вращения вентилятора позволяет сократить время охлаждения и энергозатраты.

**Ключевые слова:** термоэлектрическая батарея, охлаждение, вентилятор, регулирование, скорость, измерение, температура

*Determination of an influence of a fan rotation speed on a cooling process in thermoelectric refrigerator*

**Kulinich R. V., Bila T. Ya.**

*Kiev National University of Technology and Design*

**Purpose.** Improving the efficiency of the cooling process in a thermoelectric refrigerator.

**Methodology.** Experimental methods and methods of regression data analysis are used in research.

**Findings.** A laboratory stand has been developed to study the processes occurring in the refrigerator. It is shown that one of the ways to increase the efficiency of the cooling process in a thermoelectric refrigerator is to control the rate of air blowing on the hot side of the thermoelectric battery.

**Originality.** Methods for increasing the efficiency of thermoelectric refrigerators have been developed.

**Practical value.** The thermoelectric refrigerator with the controlled speed of rotation of the fan allows to reduce cooling time and energy consumption.

**Keywords:** thermoelectric battery, cooling, fan, regulation, speed, measurement, temperature