

Філін С.О.^{1,2}, Ясінська Б.¹



Філін С.О.

¹Західно-поморський технологічний університет
Ал. Пястів, 17, Щецин, 70310, Польща

²Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна



Ясінська Б.

ЕКОНОМІЧНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ХОЛОДИЛЬНИКИ ІЗ ДВОРІВНЕВИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ТЕМПЕРАТУРИ: ДОСВІД СТВОРЕННЯ Й РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ

У роботі описано досвід створення транспортних термоелектричних холодильників (TTEX) на базі шаф побутових термоелектричних холодильників фірми Ravanson з корисним об'ємом 48 літрів. Також представлено результати порівняльних випробувань базової моделі й двох нових зразків TTEX з різними типами термоелектричних модулів. Використання дворівневого регулювання температури дало можливість суттєво поліпити енергетичні показники холодильників, що забезпечує їх тривалу експлуатацію за електроживлення від акумулятора транспортного засобу без ризику його швидкої розрядки.

Ключові слова: термоелектричний холодильник, регулювання температури, електроживлення, енергозбереження.

The article describes the experience of creating Transport Thermoelectric Refrigerators (TTER) on the basis of household cabinets of thermoelectric refrigerators by Ravanson Company with a useful volume of 48 liters. Also the results of comparative tests of the basic model and the two new TTER samples with different types of thermoelectric modules are presented. Using two-level temperature control has significantly improved the energy performance of refrigerators, which enables their long-term operation with the power supply from the vehicle's battery without the risk of rapid discharge.

Key words: thermoelectric refrigerator, temperature control, electrical power, energy saving.

Вступ

Головною й глобальною метою технічного прогресу на початку XXI століття безперечно є підвищення енергетичної ефективності. Зниження енергоспоживання термоелектричних холодильників не тільки знаходиться в цьому руслі, але і є необхідною умовою конкурентноспроможності термоелектричних виробів на світовому ринку, і насамперед відносно компресорних аналогів.

На кафедрі кондиціонування й холодильного транспорту Західнопоморського технологічного університету в Щецині більше 15 років тривають дослідження переважно експериментального характеру, мета яких – поліпшення енергетичних показників термоелектричних холодильників різного призначення. Згадане поліпшення є наслідком обраного підходу в конструюванні стаціонарних термоелектричних холодильників і вітрин – це комбінація оптимізації конструкції холодильного агрегату й схеми його живлення з вибором відповідного способу регулювання температури в камері холодильника. Нові зразки холодильників характеризуються не тільки

зниженою потужністю споживання, але й зниженим добовим енергоспоживанням завдяки максимальному збільшенню часу роботи в енергозберігаючому режимі. Результати цих робіт регулярно публікуються в журналі «Термоелектрика». Видано кілька монографій польською та російською мовами. Упродовж останніх двох років дослідження спрямовано на те, щоб вищезгаданий підхід застосувати до транспортних холодильників, що живляться від мережі постійного струму 12 В. Попередні результати цих робіт доповідалися на XV Міжнародному форумі з термоелектрики [1]. Показаний у цій статті етап робіт виконано в рамках одного із проектів програми «Inkubator innowacyjności», яка фінансується Міністерством Науки й Вищої Освіти Польщі й спрямована на підтримку впровадження нових технологій [2].

Мета, об'єкти й методика дослідження

Метою проекту було створення й випробування нових конструкцій економічних транспортних термоелектричних холодильників (далі – ТТХ), що живляться від мережі постійного струму 12 В або від акумулятора, в яких використано принцип дворівневого регулювання температури. Ця ідея була раніше апробована на стаціонарних термоелектричних холодильниках і вітринах з об'ємом камери від 40 до 100 літрів і електроживленням від мережі змінного струму 230 В. Транспортні моделі холодильників такого об'єму застосовуються на яхтах, у залізничних вагонах, туристичних автобусах, будинках на колесах і в автопричепках, автомагазинах, мобільних кав'ярнях, на дачних ділянках. За відсутності зовнішньої електричної мережі або дизель-генератора тривала робота холодильника від акумулятора може призвести до його розрядки. Тому зниження споживаної потужності ТТХ хоча б на декілька ват має принципове значення.

Оскільки згадані ТТХ випускаються тільки під замовлення, а бюджет і строки виконання проекту були дуже обмеженими, було вирішено за базову модель прийняти наявний у роздрібній торгівлі побутовий термоелектричний холодильник Ravanson LK-48 з об'ємом камери 48 літрів. Його технічні характеристики наведено в табл. 1.

Було закуплено 4 екземпляри холодильника, з яких 2 призначені для порівняльних випробувань, а інші 2 – для переробки на транспортний варіант. Для створення двох зразків нових виробів від базової моделі використано тільки теплоізолювані шафи, у які було встановлено нові агрегати згідно із принциповими схемами, описаними у статті [1]. Моделі нових холодильників під аббревіатурою Chtt-48 відрізнялися один від одного тільки типом використаних термоелектричних модулів: MT2-2.5-127 (ChTT-48-1) і MT2-2,0-127 (ChTT-48-2). Загальний вигляд холодильників показано на рис. 1.

Програмою дослідження було передбачено проведення як порівняльних випробувань нових зразків і базової моделі, так і індивідуальні випробування нових зразків за різних зовнішніх температур і різних установках термостата. Крім випробувань, проведених у лабораторії кафедри, частина випробувань проводилася в сертифікованому Центрі холодної техніки в Кракові (СОСН), зокрема випробування в навколишній температурі $t_{\text{навк}} = 32^{\circ}\text{C}$ і випробування за умов завантаженої камери. Головні вимірювані величини – це енергетичні й динамічні характеристики, такі як: температура в камері, споживана потужність, добове енергоспоживання, час і умови переходу в енергозберігаючий режим.

Коректне порівняння показників холодильників з різною напругою живлення, родом струму та з різним принципом регулювання температури було забезпечено завдяки таким прийомам:

- за результатами попередніх випробувань було визначено електричний ККД джерела живлення LK-48 і його залежність від температури й напруги на модулі, дало можливість з достатнім ступенем точності перерахувати споживану потужність холодильника з живленням від мережі $\sim 230\text{В}$ на мережу $=12\text{В}$;
- враховуючи відмінності в температурах у камері порівнюваних моделей було використано апробований на практиці показник питомої споживаної потужності, запропонований у роботі [3].

Описаний у роботі [1] експериментальний стенд було модернізовано, зокрема доповнено акумулятором типу HZY-EV12-100 і електронними вимірювачами споживаної потужності постійного струму FRER C15UCL із ціною поділки 1 Вт·год.



Рис. 1. Холодильники Chtt-48 у процесі лабораторних випробувань

Таблиця 1

Технічні характеристики термоелектричного холодильника Ravanson LK-48
(згідно даних виробника)

Характеристики	Од.вим.	Величина
1. Діапазон температур у камері	°С	5...12
2. Загальний об'єм камери	дм ³	48
3. Напруга живлення	В	~ 230
5. Частота струму	Гц	50
6. Габаритні розміри (ширина, глибина, висота)	мм	480 × 460 × 840
7. Споживана потужність (при $t_{\text{навк.}} = 32^{\circ}\text{C}$)	Вт	70
8. Маса	кг	11,6
9. Добове енергоспоживання	кВт·год./24год	0.8*

* - виробник не вказує, за яких умов виміряно цей показник.

Вимірювач C15UCL (рис. 2) також робить можливим фіксувати поточні значення сили струму, споживаної потужності й низку інших показників, вести комп'ютерну реєстрацію й

запис даних. Використання цього, доволі рідкісного й точного приладу, дає можливість виявити навіть невелику різницю в енергоспоживанні об'єктів з потужністю споживання на рівні 10...20 Вт без необхідності проведення багатоденних, а то й багатотижневих випробувань.

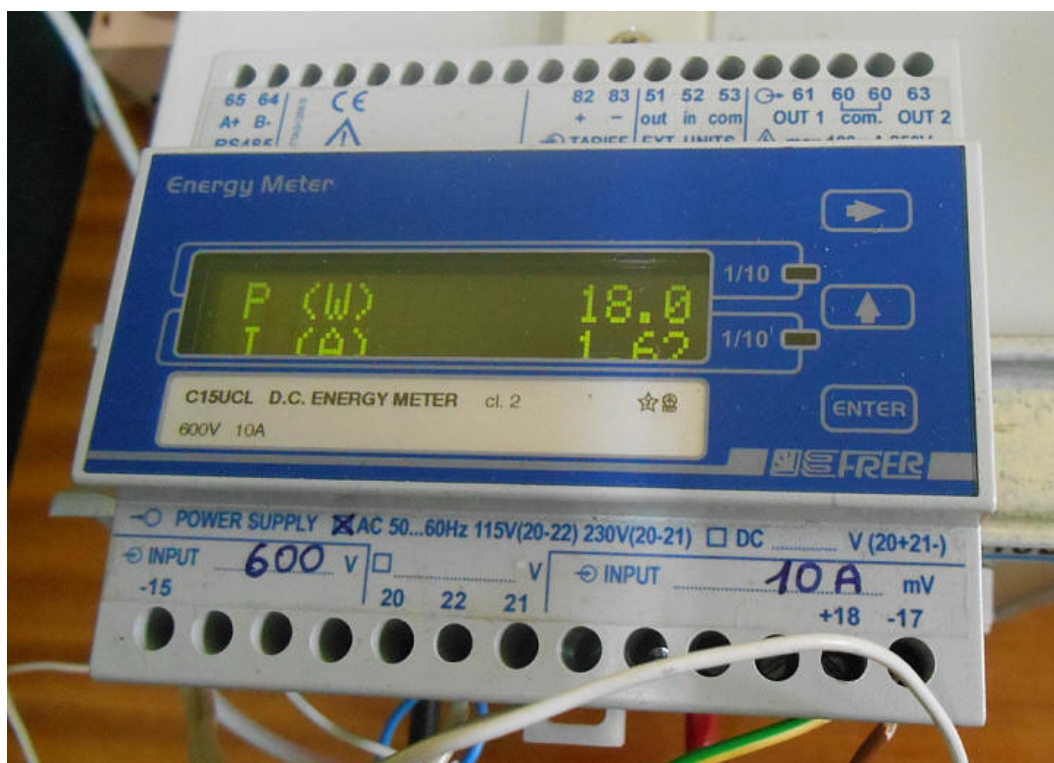


Рис. 2. Вимірювач енергетичних показників постійного струму FRER C15UCL

Результати випробувань холодильника LK-48

Аналіз конструкції й принципу роботи холодильника LK-48 було зроблено методом «зворотного проектування». Відновлення принципової електричної схеми холодильника за його монтажною схемою показало, що в холодильнику використано не манометричний, а електронний терморегулятор, у якому датчик температури (терморезистор) включений у плече моста. Терморегулятор є невід'ємною частиною схеми живлення з високочастотним перетворювачем напруги, широтно-імпульсною модуляцією й зворотним зв'язком. Іншими словами, використано найбільш ефективний із усіх відомих способів пропорційного регулювання температури [1]. Хоча, у принципі, можливим є використання пропорційної регуляції при живленні холодильника й від мережі постійного струму, проте, використані в LK-48 технічні рішення такої можливості не дають.

При випробуваннях LK-48 проводилися вимірювання електричних показників як у колі змінного, так і постійного струму (у коло термоелектричного модуля), а також енергетичних показників. У таблицях 2 і 3 подано витримки із протоколів випробувань цього холодильника в умовах навколишньої температури 23°C за двома налаштуваннями термостата: «4» (middle) і «1» (min)¹. На сірому тлі показано параметри в момент початку переходу в енергозберігаючий режим.

¹ Шкала налаштувань термостатів холодильників, незалежно від принципу їх роботи, становить від «1», що відповідає максимальній, тобто більш високій температурі у камері, до «7», що, в свою чергу, відповідає мінімальній температурі. Відповідно, налаштування «4» є середньою (middle). Воно зазвичай рекомендується виробником холодильників для щоденного використання.

Таблиця 2

Результати випробувань термоелектричного холодильника Ravanson LK-48
з порожньою камерою за навколишньої температури 23°C і
налаштувань термостата «4»

Час		Змінний струм Споживана потужність P, [~Вт]	Постійний струм			Температури	
абс. [год:хв]	віднос. [хв]		V, [В]	A, [А]	P, [Вт]	середня у камері, [°C]	гарячого радіатора, [°C]
11:50	0	75.9	12.0	5.20	62.4 (65.4)	21.5	21.5
12:05	15	64.4	12.0	4.38	52.6	16.1	40.0
12:20	30	64.3	12.0	4.37	52.4	12.8	39.8
13:20	90	64.1	12.0	4.37	52.4	7.0	38.8
13:37	107	64.0	12.0	4.37	52.4	6.5	38.7
13:40	110	63.9	11.9	4.36	51.9 (54.9)	6.4	38.7
13:55	125	61.6	11.6	4.27	49.5	6.0	38.6
14:10	140	56.8	10.9	4.10	44.8	5.7	37.8
15:03	193	51.7	10.4	3.89	40.4	5.7	36.8
16:00	250	51.7	10.5	3.89	40.8	5.7	37.0
16:05	255	51.8	10.5	3.90	40.9 (43.4)	5.7	37.1

Таблиця 3

Результати випробувань термоелектричного холодильника Ravanson LK-48
з порожньою камерою за навколишньої температури 23°C і
налаштуваннями термостата «1»

Час		Змінний струм Споживана потужність P, [~Вт]	Постійний струм			Температура	
абс. [год:хв]	віднос. [хв]		V, [В]	A, [А]	P, [Вт]	середня у камері, [°C]	гарячого радіатора, [°C]
14:05	0	78.9	12.0	5.12	61.4 (64.4)	22.0	23.2
14:20	15	63.9	12.0	4.36	52.3	16.3	40.4
14:35	30	63.6	12.0	4.35	52.2	12.8	40.2
14:45	40	63.6	12.0	4.35	52.2	11.1	39.5
14:49	44	62.8	11.9	4.33	51.5 (54.5)	10.7	39.5
15:00	55	48.7	10.1	3.76	38.0	9.5	37.0
15:20	75	28.8	7.5	2.75	20.6	9.1	33.6
15:40	95	23.5	6.6	2.40	15.8	9.3	32.4
16:18	133	25.4	6.9	2.53	17.4 (19,1)	9.5	33.0

За навколишньої температури 23°C і налаштуваннями термостата «4» перехід в енергозберігаючий режим роботи починається через 110 хвилин після включення (табл. 1), коли температура в камері опуститься до рівня 6.4°C і триватиме близько 1.5 годин.

Перехід полягає в плавному зменшенні напруги живлення модуля з відповідним зменшенням струму й споживаної потужності. За цей час температура в камері знижується до

5.7°C і стабілізується на цьому рівні, а споживана від мережі потужність знижується з 63.9 до 51.8 Вт. З урахуванням енергоспоживання вентиляторів (величини в дужках у стовпці $P_{[=Вт]}$) і, вважаючи при цьому, що напруга їх живлення синхронізована з напругою живлення модулів, зниження споживаної потужності в колі постійного струму 12 В становить відповідно, з 54.9 до 43.4 Вт.

За тієї ж навколишньої температури й налаштувань термостата «1» перехід в енергозберігаючий режим роботи починається через 44 хвилини після ввімкнення, коли температура в камері опуститься до рівня 10,7°C і триватиме близько години. За цей час температура в камері знижується до 9.3..9.5°C і стабілізується на цьому рівні, а споживана від мережі потужність знижується з 62.8 до 25.4 Вт. Відповідно, зниження споживаної потужності в колі постійного струму 12 В становить із 54.5 до 19.1 Вт.

З налаштуванням термостата «4» перехід в енергозберігаючий режим роботи спостерігається за навколишньої температури не вище 24°C, а з налаштуванням термостата «1» – не вище 28°C. При цьому визначення енергоспоживання холодильника згідно зі стандартом EN ISO 8561:1995 + A1:1997 повинно здійснюватись за навколишньої температури 25°C і середнього налаштування термостата, тобто в положенні «4». Це означає, що в цих умовах холодильник LK-48 не переходить в енергозберігаючий режим. Випробування показали, що його споживана потужність (у перерахуванні на постійний струм) при цьому становить 53.16 Вт, а добове енергоспоживання відповідно становило 1.276 кВт/год. Наведена виробником, у паспортних технічних характеристиках холодильника величина 0.8 кВт/год належить до налаштування «1». Як ми вже не раз відзначали в попередніх публікаціях, приховування умов визначення такої важливої характеристики, як добове енергоспоживання холодильника, може вводити покупця в оману щодо його економічності.

Деякі результати порівняльних випробувань та їх аналіз

Крім конструктивних відмінностей, принциповою відмінністю нового транспортного холодильника ChTT-48 від відомих аналогів з терморегулятором є те, що його енергоспоживання й температура в камері в енергозберігаючому режимі залежать тільки від навколишньої температури й не залежать від налаштувань термостата. Налаштування термостата впливає тільки на динамічні характеристики холодильника. Час від включення холодильника до переходу в енергозберігаючий режим може варіюватися від 15 хвилин за налаштування «1», тобто на вищу температуру в камері, до 1...2 годин при налаштуваннях «4»–«7». Час стабілізації температури в камері після перемикання в енергозберігаючий режим, навпаки, буде меншим за налаштування термостата на більш низькі температури. У цілому динамічні характеристики нового холодильника суттєво кращі, ніж в аналога LK-48, особливо враховуючи, що перехід в енергозберігаючий режим і назад відбувається миттєво. Ця особливість має позитивний вплив і на добове енергоспоживання.

Випробування моделей ChTT-48 відбувалися завдяки їх живлення від джерела постійного струму D3010, яке передбачає два режими роботи: стабілізація напруги й стабілізація (обмеження) струму. Із включенням холодильника ChTT-48-1 джерело живлення упродовж 15...30 секунд працювало у режимі обмеження струму, після чого автоматично переходило в режим стабілізації напруги 12.0 В. Під час випробування моделі ChTT-48-2 джерело залишалося в режимі обмеження струму аж до переходу в енергозберігаючий режим, а напруга живлення в робочому режимі становила 10.5...10.6 В.

Таблиця 4

Деякі результати порівняльних випробувань холодильників LK-48 і ChTT-48 з порожньою камерою за навколишньої температури 23°C і налаштуваннях термостата «4»

Характеристики	LK-48	ChTT-48-1	ChTT-48-2
Максимальний створюваний перепад температур, К	17.8	19.8	22.0
Перепад температур, створюваний в енергозберігаючому режимі, К		14.5	14.9
- налаштування «4»	17.3		
- налаштування «1»	13.9		
Споживана потужність, Вт			
- у робочому режимі	64.1 (53.16*)	61.0	50.0
- в енергозберігаючому режимі		16.0	(73.0**)
налаштування «4»	52.1 (41.0*)		19.0
- налаштування «1»	25.4 (19.1*)		
Показник питомої споживаної потужності $P_{жив}$ для енергозберігаючого режиму, Вт/дм ³ К			
- налаштування «4»	0.063 (0.049*)	0.023	0.0266
- налаштування «1»	0.038 (0.029*)		

* - при перерахунку на живлення від мережі постійного струму 12 В.

** - за живлення від акумулятора.

Як видно з табл. 4, нові моделі холодильників, особливо модель ChTT-48-1, у якій використано менш потужні модулі, перевершують за енергетичними показниками аналог, навіть за умовного перерахунку його характеристик на живлення від мережі постійного струму. У цій моделі отримано показник споживаної потужності 16 Вт, що більш ніж на 3 Вт менше, ніж відповідний показник LK-48 у самому економічному режимі його роботи. На практиці це може означати, крім економії енергії, збільшення часу роботи холодильника від акумулятора без його підзарядки від декількох годин до декількох днів залежно від умов експлуатації.

Потрібно визнати, що за поліпшення енергетичних показників довелося «заплатити» незначним (у середньому на 2°C) підвищенням середньої температури в камері в енергозберігаючому режимі, але, з іншого боку, нові моделі мають більшу холодопродуктивність та більший максимальний створюваний перепад температур у робочому режимі роботи.

Висновок

У статті показано тільки деякі, найбільш важливі результати. Випробування холодильників тривають. Після їх завершення й обробки результатів повні дані будуть опубліковані. Але вже на цьому етапі можна стверджувати, що прийняті технічні рішення дали очікувані результати. Головним з них є підтвердження можливості й ефективності дворівневого регулювання температури в ТТХ шляхом перемикавання живлення холодильного агрегату з паралельної схеми на послідовну й назад.



Рис. 3. Презентація холодильника Chtt-48 на виставці Eurogastro 2015 у Варшаві.

Крім поліпшення енергетичних характеристик, вдалося розширити приблизно на 2–3°C робочий температурний діапазон термоелектричних холодильників, у якому можливий перехід в енергозберігаючий режим роботи. Ці дані ще потребують перевірки й уточнення, що й буде здійснено найближчим часом.

На використанні в ТТХ технічні рішення подано заявки на винаходи в польське і європейське патентні відомства [4], [5].

Одна з моделей ChTT-48 у березні 2015 року експонувалася на виставці Eurogastro у Варшаві (рис. 3), де викликала великий інтерес серед потенційних покупців.

Література

1. Filin S., Jasińska B.: Experimental investigations of two-level temperature controllers for transport thermoelectric refrigerators. // Journal of Thermoelectricity, № 5, 2013, p. 43-53.
2. Raport na temat transportowej chłodziarki termoelektrycznej. Inwestycje w innowacje. 2014, www.inwestycjewinnowacje.pl
3. Філін С.О.: Экспериментальное исследование стационарных термоэлектрических холодильников. / С.О. Філін, А. Овсицкий, Б. Закшевський // Астропринт, Одеса, 2011. С.135.
4. S.Filin, B.Jasińska, B.Zakrzewski, M.Chmielowski.: Sposób redukcji zużycia energii przez chłodziarkę termoelektryczną i chłodziarka termoelektryczna. Zgłoszenie patentowe nr P.408768 z dnia 07.07.2014.
5. S.Filin, B.Jasińska, B.Zakrzewski, M.Chmielowski.: The method of reducing an energy consumption of thermoelectric refrigerator and thermoelectric refrigerator. European patent. Application number EP14461596.0, 12 December 2014.

Надійшла до редакції 15.06.2015