

Філін С.О., Ясінська Б.



Філін С.О.

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



Ясінська Б.

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ВАРІАНТІВ СХЕМ ДВОРІВНЕВОГО
РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В
ТРАНСПОРТНИХ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ
ХОЛОДИЛЬНИКАХ**

У статті показано проблематику енергозбереження в транспортних термоелектричних холодильниках, забезпечених регулятором температури, і описані результати випробувань вибраного об'єкта - вбудованого в меблеву секцію термоелектричного холодильника з об'ємом камери 27.7 дм³ при різних схемах його електроживлення від бортової мережі, що дають можливість реалізувати ідею дворівневого регулювання температури. Експериментальним шляхом доведено можливість та доцільність використання цього типу регулювання із зазначенням конкретних найбільш ефективних технічних рішень. Показник питомої споживаної потужності випробуваного холодильника порівнянно з регулюванням типу ON-OFF знижений у середньому втричі.

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

This paper presents the problems of energy saving in transport thermoelectric refrigerators equipped with temperature controller, and describes the results of testing the selected object, namely embedded into furniture section thermoelectric refrigerator with compartment volume 27.7 dm³ with different supply circuits from on-board mains, allowing practical implementation of the idea of two-level temperature control. The possibility and expedience of using this type of control with indication of concrete most efficient technical solutions is proved experimentally. The specific power consumption of tested refrigerator as compared to ON-OFF control has been reduced, on the average, by a factor of 3.

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

Вступ

У нашому повсякденному житті ми все частіше вживаємо поняття «енергетичної безпеки», яке пов'язує воедино технічні, організаційні та політичні проблеми. Перші з них можуть бути вирішені на різних рівнях і в різних площинах, починаючи від заміни в квартирах і офісах ламп розжарювання на енергозберігаючі та закінчуючи диверсифікацією поставок енергоресурсів в масштабах окремої країни чи регіону. Частка холодильного обладнання та кондиціонерів, що використовуються в промисловості, на транспорті, в побуті, становить від 20 і навіть до 80 % у структурі загальнодержавного енергоспоживання [1-6].

Як було показано в попередніх роботах співробітників кафедри кондиціонування та холодильного транспорту Західно – поморського технологічного університету в Щецині [7,8], використання дворівневого регулювання температури в камерах термоелектричних холодильників (далі – ТЕХ) різного призначення є найбільш ефективним і одночасно доступним методом зниження

їх енергоспоживання. Вперше цей метод, за якого термостат перемикає живлення холодильного агрегату ТЕХ з більш високого рівня напруги на низький, був використаний в конструкції холодильника ТЕХ -40 «Чайка» обсягом 40 дм³ [14]. Однак згаданий холодильник не був запроєктований на постійну роботу в режимі економії енергії, названому авторами режимом «струму паузи». Крім того, відоме рішення, як і його пізніші модифікації, не унеможливили реалізацію ідеї дворівневого регулювання за живлення холодильника від бортової мережі транспортного засобу з номінальною напругою 12 або 24 В постійного струму.

Об'єкт, мета і результати попереднього етапу випробувань

Як об'єкт випробувань було вмонтовано в меблеву секцію термоелектричного холодильника з об'ємом камери 27.7 дм³. Цей тип холодильника використовується в каютах суден і яхт, будиночках – автопричіпах, автомагазинах, залізничних вагонах, літаках і на інших транспортних засобах. Внутрішні розміри камери ТЕХ: ширина – 440 мм, глибина – 240 мм, висота – 262 мм. Камера виконана з меблевої плити завтовшки 18 мм і шару теплоізоляції з пінополістиролової плити товщиною 30 мм. Холодильний агрегат ТЕХ містить два термоелектричних модулі типу МТ- 2-1.6 - 127 ([12] , додаток 1) , два однотипних, виконаних з алюмінієвих профілів радіатора (по одному на гарячій і холодній стороні агрегату) і два осьових вентилятори¹ типу VD 9225 HS, встановлені на кожному з радіаторів і живляться номінальною напругою 12 В постійного струму.

Холодильник також містить манометричний термостат типу Danfoss 077B7008 і електромагнітне реле типу R8, що живиться номінальною напругою 12 В постійного струму. Датчик термостата встановлений в безпосередньому контакті з поверхнею холодного радіатора. Випробувальний стенд містить кілька джерел живлення (далі ДЖ), тобто перетворювачів змінного струму в постійний зі стабілізацією вихідної напруги та / або струму. Їх деякі характеристики показані в таблиці 1. Під час випробувань переважно використовувалось джерело PowerLab RXN3010D .

Таблиця 1

Основні технічні характеристики джерел живлення

Тип ДЖ	Діапазон регулювання	Роздільна здатність	Стабілізація напруги/струму
БП-20 (виготовлений по замовленню)	12...22 В до 5 А	0.01 В* 0.01 А*	-/-
М10-ДР двухканальний	2 x 0...30 В 2 x 0...5 А	0.1 В, 0.01 В* 0.1 А, 0.01 А*	+ / +
PowerLab RXN3010D	0...30 В 0...10 А	0.1 В, 0.01 В* 0.1 А, 0.01 А*	+ / +

* - за використання зовнішніх приладів типу М838.

Вимірювальна частина випробувального стенду складається з 8-канального реєстратора даних AR205, до входів якого підключені термопари типу J. Роздільна здатність приладу в режимі вимірювання температури – 0.1 К. Під час випробувань вимірювалися такі температури: навколишнього повітря, поверхні холодного і гарячого радіаторів, повітря в камері у трьох точках на різній висоті відповідно до вимог відповідних стандартів. Верифікація температурних вимірювань проводилася за допомогою цифрових вимірювачів температури: 10-канального ЦР7701-02 з термопарами типу L і одноканального ЦР7702 з термістором опором 50 Ом. Обидва вимірювача

¹Це означає, що вибрано характерне для сучасних моделей ТЕХ технічне рішення з вимушеною конвекцією повітря в камері.

мають клас точності 0.05 при роздільній здатності 0.1 К. Загальний вигляд випробувального стенду і холодильника показано на рис. 1.



Рис. 1. Транспортний термоелектричний холодильник (вигляд з боку термоелектричного агрегату) під час випробувань.

Вимірювання добової витрати електроенергії здійснюється під час використання електронних вимірювачів серії Energy Logger (моделі 3000 і 3500) з роздільною здатністю всього 1 Вт/год, що надзвичайно істотно під час випробувань пристроїв з малою споживаною потужністю. Крім досягнення високої точності вимірювання, досягається скорочення часу випробувань в кілька разів. Вимірювачі серії Energy Logger крім витрати електроенергії забезпечують вимірювання наступних параметрів: поточних значень напруги і сили змінного струму, частоти струму в мережі, коефіцієнта потужності ($\cos \phi$), дійсного та уявного поточних значень споживаної потужності (див. рис.2), а з уведенням відповідних тарифів на електроенергію також роблять розрахунок вартості спожитої енергії з урахуванням різниці тарифів у денний і нічний час. Частота вимірювання параметрів – 1 секунда. У моделі Logger 3500 є можливість реєстрації і передачі даних на комп'ютер в режимі on – line. Верифікація вимірювання витрати електроенергії проводилася за допомогою електромеханічного лічильника енергії типу СО- I446. Час фіксувався таймером з роздільною здатністю 1 секунда.



Рис. 2. Робочий момент реєстрації електричних параметрів.

Було обрано 5 варіантів електричної схеми живлення холодильного агрегату ТЕХ, які показано в таблиці 2 і на рисунку 3. Всі варіанти передбачають перемикання живлення групи з двох

термоелектричних модулів з переходом з паралельного з'єднання на послідовне, за якого напруга на кожному модулі знижується з 12 В до 6 В постійного струму. Варіанти відрізняються один від одного способом підключення та переключення вентиляторів М1 і М2. У варіанті I (схема а) напруга вентиляторів в обох режимах роботи не змінюється і становить 12 В. У варіанті II (схема б) тільки внутрішній вентилятор М2 перемикається на нижчу напругу. У варіанті III (схема в) обидва вентилятори перемикаються на напругу 6 В. У варіанті IV (схема г) вентилятори постійно живляться напругою 6 В. У варіанті V (схема д) у робочому режимі вентилятор М1 живиться напругою 12 В, а вентилятор М2 не працює, а в режимі «струму паузи» обидва вентилятори живляться напругою 6 В.

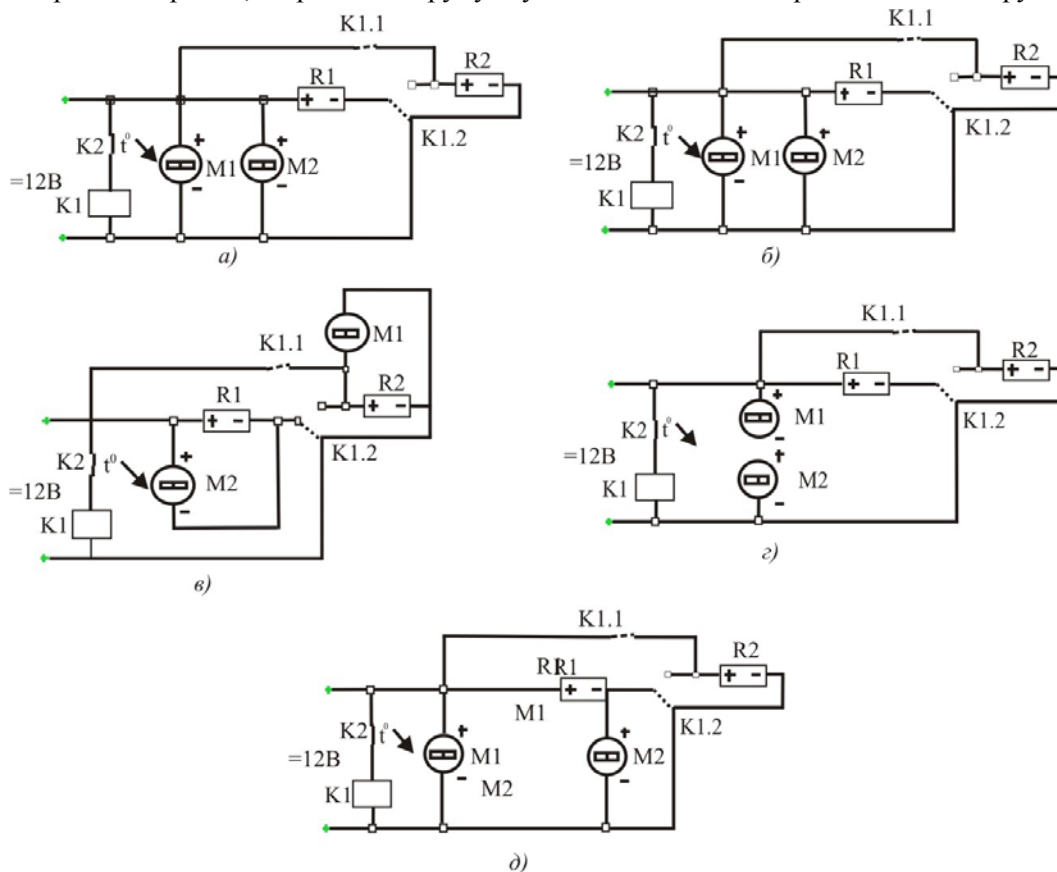


Рис. 3. Обрані варіанти принципових електричних схем холодильного агрегату випробувань холодильника.

Таблиця 2

План експерименту зі зміною електричних схем живлення ТЕХ

Режим роботи агрегата	Підключення			
	модуль	зовнішній вентилятор М1	внутрішній вентилятор М2	Номер варіанта /схеми
„робота”	паралельне (12)	12	12	I, II, III (рис. 1а)
		6	6	IV (рис. 1d)
		12	0	V (рис. 1е)
„пауза”	послідовне (6)	12	12	I (рис. 1а)
		12	6	II (рис. 1б) V (рис. 1е)
		6	6	III (рис. 1с) IV (рис. 1d)
		6	6	

*0, 6, 12 – напруга живлення даного елемента

Як базу порівняння прийнято: режими роботи без регуляції температури за постійного живлення 12 В і режим з регуляцією типу «включено-виключено» (ON – OFF). Дослідження цих двох режимів стало суттю попереднього етапу випробувань, а його метою було:

- експериментальна перевірка працездатності обраних схем живлення під час реалізації дворівневого регулювання температури в камері ТЕХ;
- виявлення впливу вибраних параметрів на витрату електроенергії об'єкта дослідження, тобто транспортного ТЕХ (на даному етапі було вирішено обмежитися зміною напруги живлення в діапазоні від 6 до 14 В з кроком 0.5 В і зміною настроювання термостата);
- порівняльний аналіз витрати електроенергії ТЕХ за різних способів регулювання температури.

Попередні випробування здійснювалися за однієї постійної навколишньої температури 22⁰С, з різним налаштуванням термостата, порожньою камерою і відсутністю її освітлення. Температура у випробувальному приміщенні підтримувалася на постійному рівні з точністю +0.3 К за допомогою кондиціонера Sanyo, модель SAP KR (CR) 127ENAX. Головний вимірюваний параметр – добова витрата електроенергії ТЕХ. Додатково вимірювалися і розраховувалися: час від моменту запуску до моменту досягнення найнижчої середньої температури в камері (за постійної роботи), час до першого спрацьовування термостата, час роботи, час паузи, час циклу, коефіцієнт робочого часу (за циклічної роботи). Витрата електроенергії вимірювалась від моменту запуску ТЕХ, але для порівняльного аналізу приймалися витрати в період усталеної роботи холодильника, початок якого визначається згідно з принципами, описаними в роботі [7]. Інші суттєві нюанси методики випробувань показано нижче під час обговорення окремих результатів.

Результати попередніх випробувань наведено в таблицях 3 і 4. У режимі постійної роботи середня температура повітря в камері холодильника знизилася до 4.3⁰С. Зафіксована різниця температур між повітрям в камері і холодним радіатором становить 2.2⁰С, що слід вважати дуже добрим результатом порівняно з відомими конструкціями ТЕХ з вентилятором у камері, описаними в роботах [7, 8, 10].

Визначено величини споживаної потужності та добового енергоспоживання джерела живлення і безпосередньо ТЕХ. Крім того, з метою полегшення подальшого порівняльного аналізу визначався показник питомої споживаної потужності [7], величини якого показано в таблиці 3.

За температури навколишнього повітря 22⁰С застосування обраного типу термостата у випробуванні холодильнику дає можливість реалізувати дворівневе регулювання температури в його камері тільки в діапазоні налаштування від ^① до ^②. Це обмеження, безсумнівно, звужує можливий діапазон налаштування температури в камері, але не ускладнює порівняльний аналіз, що має таке пояснення. З одного боку, розширення зони нечутливості термостата вгору, тобто вище 7.3⁰С, не вписується в концепцію холодильника загального призначення, а, з іншого боку, зниження температури спрацьовування нижче 2.1⁰С (що рівнозначно з переходом з налаштування ^② на ^③) призведе до ситуації, коли не відбудеться спрацьовування термостата і агрегат залишиться в режимі постійної роботи.

Аналіз результатів, наведених у таблиці 4, показує, що мінімальна середня температура в камері $T_{кам}$ відповідає напрузі живлення 12.0 В. Такий результат про правильність закладених технічних рішень для умов постійної роботи. Дуже плоский характер залежності $T_{кам}$ [U] в області змін напруги від 9 до 14 В (рис. 4) якісно добре збігається з результатами, отриманими для ТЕХ інших типів [10], [11], в тому числі без вентилятора в камері [12]. Цю особливість ТЕХ

слід оцінити як позитивну, тому що завдяки їй холодильник менш чутливий до коливань напруги живлення і змін напруги, пов'язаних з перемиканням живлення з акумулятора (12В) на генератор бортової мережі транспортного засобу (13.5 ... 13.8 В).

Таблиця 3

Результати досліджень холодильника в базових режимах роботи

Вимірювані і розрахункові характеристики	Режими роботи		
	постійна робота	ON-OFF	ON-OFF
Налаштування термостата	7 (min)	1 (max)	2
Температурні [°C]:			
Середня температура в камері в сталому режимі роботи та в моменти спрацьовування термостата	4.3 -	9.5 7.3/11.6	7.6 5.2/10.0
Середня температура холодного радіатора або його температури в моменти спрацьовування термостата	2.1	5.0/10.4	2.9/8.5
Середня температура гарячого радіатора або його температури в моменти спрацьовування термостата	32.0	32.6/23.2	32.0/23.0
Часові			
Час досягнення сталого режиму роботи [хв]	150	30 ¹ 108 ²	65 ¹ 50 ²
Час циклу (час режиму «робота» + час режиму «пауза») [сек]	-	1270 (840+430)	2115 (1620+495)
Коефіцієнт робочого часу [-]	-	0.661	0.766
Електричні і енергетичні			
Напруга живлення агрегату [В]	12.00	12.0/0	12.0/0
Сила струму живлення агрегату в сталому режимі роботи або в моменти спрацьовування термостата [А]	5.14	5.46/5.22/0	5.32/5.12/0
Споживана агрегатом потужність в усталеному режимі роботи або в моменти спрацьовування термостата [Вт]	61.7	65.5/62.6/0	63.9/61.4/0
Потужність споживана ДЖ (від мережі змінного струму) [Вт]	157.2	169.1/158.2/2 7.3	169.0/156.3/2 7.4
Середній електричний ККД джерела живлення [-]	0.392	0.399 ³	0.399 ³
Добове енергоспоживання ДЖ [кВтгод]	3.78	2.72	3.10
Добове енергоспоживання агрегату [кВтгод]	1.48	1.01	1.15
Добове енергоспоживання агрегату [кВтгод]	0.126	0.185	0.157

¹ – час до першого спрацьовування термостата;

² – час стабілізації параметрів циклу;

³ – в режимі «робота».

Відносно невелика відмінність температур $T_{кам}$ за різних напруг живлення 12В і 6В (відповідно 4.3 °С і 7.7°С) дає можливість зробити такі висновки:

- холодильник зберігає працездатність в дуже широкому діапазоні зміни напруги живлення;

- за результатами випробувань холодильника в базових режимах роботи можна розраховувати, що, за умови відсутності зміни в схемі живлення вентиляторів, перемикання живлення модулів з паралельної схеми на послідовну не викличе настільки великого зростання

температури в камері, щоб відбулося зворотне спрацювання термостата і повернення в робочий режим роботи.

Тобто агрегат залишиться працювати в режимі економії («струму паузи»), в якому споживана потужність приблизно в 4 рази менше, ніж у робочому режимі. Це означає можливість досягнення того ж ефекту, що був отриманий у ТЕХ, що живляться від мережі змінного струму при використанні спеціально запроєктованих для цієї мети джерел живлення. Наступний етап випробувань повинен підтвердити цей висновок.

Таблиця 4

Залежність параметрів ТЕХ та ВП у режимі постійної роботи від напруги живлення

Напруга живлення агрегата U , [В]	Сила струму живлення I , [А]	Потужність, споживана агрегатом P_a , [Вт]	Потужність, споживана ДЖ $P_{дж}$, [Вт]	Середній електричний ККД ДЖ $\epsilon_{дж}$	Середня температура в камері $T_{кам}$ [°С]	Температура холодного радіатора T_x [°С]	Температура гарячого радіатора T_z [°С]
5.0	2.09	10.5	60.9	0.172	9.0	6.5	26.4
6.0	2.54	15.2	68.0	0.224	7.7	5.3	27.0
7.0	2.96	20.7	75.2	0.276	6.4	4.0	27.8
8.0	3.40	27.2	114.2*	0.238*	5.5	3.0	28.4
9.0	3.84	34.6	126.0	0.274	4.8	2.5	29.2
10.0	4.28	42.8	135.8	0.315	4.7	2.4	30.6
10.5	4.50	47.3	141.2	0.335	4.6	2.3	30.9
11.0	4.72	51.9	146.2	0.355	4.5	2.2	31.2
11.5	4.93	56.7	151.8	0.374	4.4	2.2	31.6
12.0	5.14	61.7	157.2	0.392	4.3	2.1	32.0
12.5	5.35	66.9	163.9	0.408	4.4	2.1	32.5
13.0	5.55	72.1	166.4	0.433	4.5	2.2	33.1
13.5	5.75	77.6	172.1	0.451	4.5	2.2	33.5
14.0	5.95	83.3	176.8	0.471	4.6	2.3	34.1

* - скачкоподібна зміна залежностей $P_{дж}$ [У] і $\epsilon_{дж}$ [У] пов'язані з пристроєм ДЖ й впливає з поділу діапазону регулювання напруги на піддіапазони, причому одна з границь між піддіапазонами знаходиться поблизу величини напруги 7.1 В.

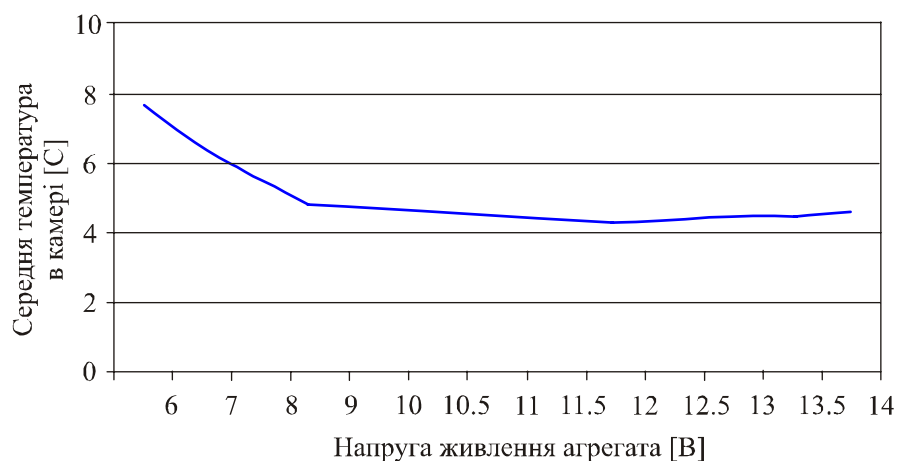


Рис. 4. Залежність середньої температури в камері ТЕХ від напруги живлення в режимі постійної роботи за навколишньої температури 22°C.

Умови проведення та результати основного етапу випробувань

Перелік вимірюваних у процесі експерименту параметрів і результати вимірювань показані в таблиці 5.

Як і для базового варіанту ON-OFF, всі варіанти випробувані для двох налаштувань термостата ^① і ^②. Вимірювання витрати енергії здійснювалося безперервно, показання лічильників списувалися кожні 15 хвилин, а також в моментах спрацювання термостата. При визначенні добової витрати електроенергії враховувався тільки період сталих умов роботи (за стабілізованих температур в камері) тривалістю не менше 3 годин.

Таблиця 5

Результати випробувань холодильника для різних варіантів схем живлення

Варіант схеми й налаштування термостата Характеристики	I (схема а)		II (схема б)		III (схема в)		IV (схема г)		V (схема д)	
	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
Температурні										
Середня температура в камері в усталеному режимі роботи	8.0	7.7	5.3	5.6	6.3	6.2	6.8	6.3	4.2	4.6
Середня оточуюча температура під час випробувань, [°C]	21.7	21.4	21.8	22.9	22.1	22.1	21.6	21.4	21.1	22.1
Створюваний ТЕХ перепад температур, [K]	13.7	13.7	16.5	17.3	15.8	15.9	14.8	15.1	16.9	17.5
Температури хол. і гар. радіатора в моменти спрацювання термостата, [°C]	4.1 33.6	2.5 33.4	4.2 32.9	2.2 32.8	4.1 34.3	2.5 32.7	4.0 38.9	2.5 39.2	0.9 32.6	-0.7 32.9
Температури хол. й гар. радіатора в усталеному режимі	6.2 26.0	6.0 25.8	2.2 26.3	3.0 28.2	3.7 27.8	3.6 27.5	4.4 27.8	3.9 27.5	1.8 25.9	2.3 25.8
Нерівномірність температури по висоті камери (верх-низ)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6
Часові										
Час від увімкнення до першого спрацювання термостата, [хв: сек]	30:35	67:00	25:10	58:00	38:18	71:00	29:10	42:00	13:30	17:40
Час стабілізації умов роботи після спрацювання термостата [хв: сек]	25:00	23:00	35:00	32:00	33:00	27:00	24:00	28:00	47:00	51:00
Енергетичні										
Напруга живлення агрегату	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Сила струму живлення агрегату (з ввімкнення в момент спрацювання термостата / в сталому режимі), [A]	6.3/ 5.5/ 1.7	6.3/ 5.5/ 1.7	6.3/ 5.6/ 1.5	6.3/ 5.5/ 1.5	6.3/ 5.5/ 1.3	6.3/ 5.5/ 1.3	6.3/ 5.0/ 1.3	6.3/ 5.0/ 1.3	6.4/ 5.3/ 1.5	6.3/ 5.3/ 1.5
Середня споживана агрегатом потужність, [Вт]	20.4	20.4	18.0	18.0	15.6	15.6	15.6	15.6	18.0	18.0
Потужність споживана ДЖ, [Вт] (показання лічильника і розрахована як різниця енергоспоживання)	73.9 73.9 4	73.8 74.66	69.1 69.33	68.8 68.66	64.8 64.5	64.4 65.13	64.7 64.8 7	64.8 65.00	69.9 70.00	69.5 69.66
Середній електричний ККД джерела живлення	0.27 6	0.273	0.260	0.262	0.242	0.236	0.24 3	0.240	0.257	0.258
Добове енергоспоживання ДЖ [кВтгод]	1.77	1.79	1.66	1.64	1.55	1.56	1.56	1.56	1.68	1.67
Добове енергоспоживання агрегата [кВтгод]	0.49	0.49	0.432	0.432	0.375	0.375	0.375	0.375	0.432	0.432
Показник питомої споживаної потужності P_{jo} холодильника [Вт/дм ³ К]	0.053 8	0.0538	0.0394	0.0376	0.0354	0.0354	0.038 0	0.0373	0.0384	0.0371

Аналіз результатів і висновки

Усі п'ять обраних схем (див. рис. 3 і таб. 5) забезпечують можливість тривалої роботи холодильника в режимі економії роботи, коли температура в камері не піднімається до верхньої межі зони нечутливості використаного термостата.² У порівнянні з режимом постійної роботи при робочому струмі, коли створюваний перепад температур максимальний: $\Delta T_{\max} = 17.7 \text{ K}$, той же показник для згаданих вище схем поміщається в межах від 13.7 K (варіант I) до 17.5 K (варіант V), що становить відповідно від 77.4 % до 98.8 % ΔT_{\max} (рис. 5). З точки зору суто математичного аналізу такий результат можна було б вважати задовільним.

Але, якщо розглянути середні температури в камері, то варіант I, в якому ця температура становила 7.7...8.0°C, вже має обмеження у застосуванні, маючи на увазі різновид збережених в ТЕХ продуктів. Наприклад, цей рівень температур згідно з нормативними документами не допустимий для зберігання таких кондитерських виробів, як торти і тістечка³, але при цьому цілком прийнятний в холодильниках і вітринах для зберігання і демонстрації більшості сортів вин і напоїв. Інші варіанти не мають цих обмежень, незважаючи на незначне перевищення порогу 6.0°C (варіанти III і IV), якого легко уникнути шляхом мінімального посилення теплоізоляції ТЕХ.

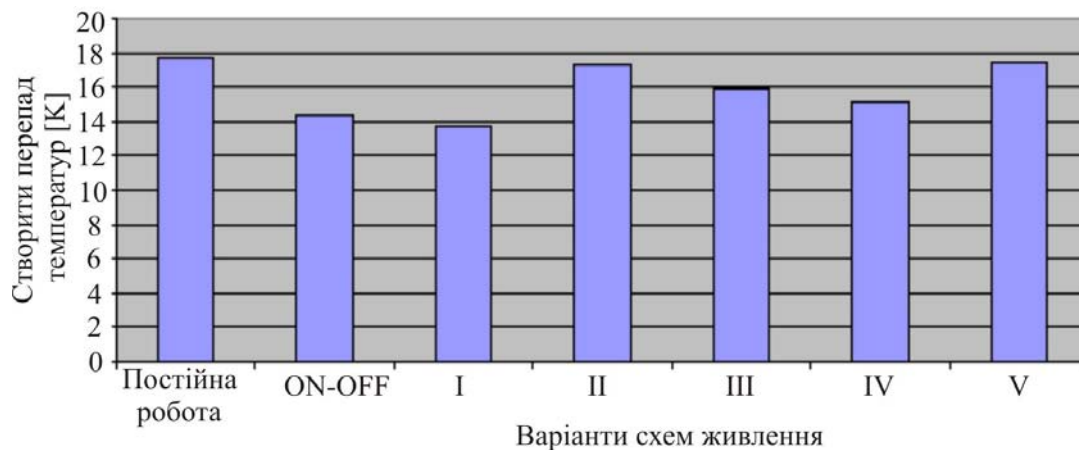


Рис. 5. Порівняння створюваних холодильником перепадів температур для досліджених варіантів схем живлення під час налаштування термостата^②.

Незважаючи на більш інтенсивну циркуляцію повітря в камері, що має місце у варіанті I, температура в камері ТЕХ в цьому випадку більш висока (див. табл. 5). Цей парадокс має своє пояснення. Номінальна продуктивність встановленого в камері вентилятора (з його живленням напругою 12 В) занадто велика для порівняно невеликого обсягу камери. В результаті холодне повітря швидше «тікає» з камери через нещільності в ізоляції. Крім того, коефіцієнт тепловіддачі від внутрішніх стінок камери при цьому досить високий, що призводить до зростання загального коефіцієнта тепловіддачі K холодильної камери і збільшенню теплопритоків через ізоляцію. Звідси випливає висновок, що узгоджується з висновками попередніх досліджень [12] про те, що внутрішній вентилятор ТЕХ повинен живитися зниженою напругою і струмом або слід використовувати вентилятор як мінімум наполовину меншої потужності порівнянно з вентилятором гарячої сторони агрегату.

Подальший аналіз температурних характеристик холодильника показує, що нерівномірність температури по висоті його камери не залежить від режиму роботи вентилятора M2. Тільки при непрацюючому вентиляторі і, отже, відсутності вимушеної конвекції в період запуску для варіанту V

² У даному ТЕХ ця температура дорівнює 11.6 °C для налаштування ① і 10.0 °C для налаштування ②.

³ Діапазон температур зберігання кондитерських виробів від 0 до +6 °C. Такі ж вимоги пред'являються до однокамерних холодильників загального призначення.

нерівномірність зростає до $1.0 \dots 1.3 \text{ } ^\circ\text{C}$.⁴ Беручи до уваги основні температурні характеристики в режимі економії роботи ТЕХ, особливо температури в камері, гарячого радіатора і створюваний перепад температур, найбільш збалансованим рішенням здається варіант II.

Багато цікавої інформації для майбутнього більш докладного аналізу поведінки холодильника за раптового зростання теплового навантаження,⁵ що приводить до тимчасового, зазвичай однократного, переходу на робочий режим, дають вимірювання тимчасових (динамічних) характеристик холодильника. З даних на рис. 4 і в таблиці 5 випливає, що перевагу має варіант V, який характеризується найкоротшим часом роботи в робочому режимі, тобто швидким переходом в енергозберігаючий режим. Це призводить до зменшення добового енергоспоживання холодильника. Проте, як випливає з роботи [17], ця теза справедлива тільки для порожнього холодильника або при відсутності дозавантаження холодильника теплими продуктами.

Загалом час до першого спрацьовування термостата для налаштування коливається в районі 1 години, а для налаштування воно майже вдвічі менше, що залежно від способу використання холодильника може становити від 0.5 % до 8 % загального добового часу роботи холодильника з відповідним зростанням його добового енергоспоживання. Докладніший аналіз режимів роботи ТЕХ з урахуванням зміни теплового навантаження становитиме предмет подальших досліджень.

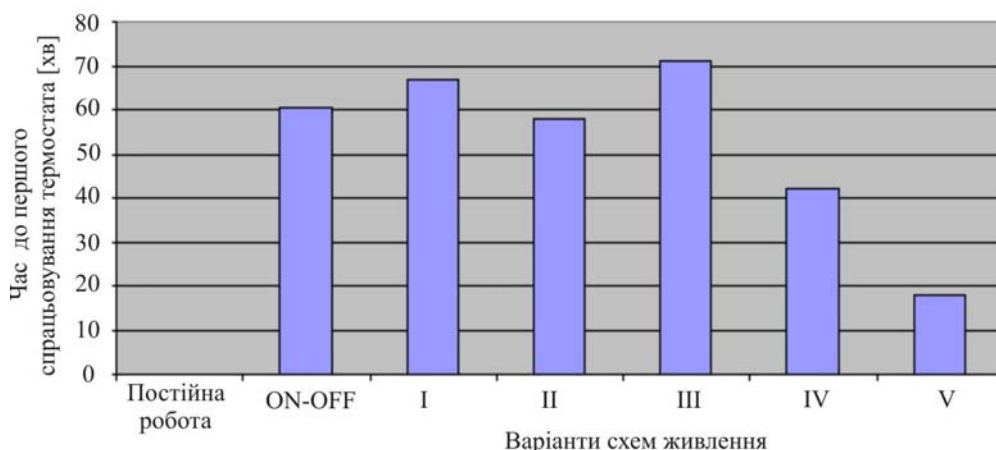


Рис. 6. Порівняння часу роботи холодильника в робочому режимі (до першого спрацьовування термостата) для досліджених варіантів схем живлення при налаштуванні термостата[®].

Найважливіші результати виконаної роботи стосуються енергетичних характеристик досліджених варіантів схем живлення агрегату ТЕХ. Порівнянно з режимом роботи ON-OFF спостерігається 3-4-кратне зниження споживаної від мережі постійного струму (таблиця 5). З цим пов'язано і приблизно 3-кратне зменшення показника питомої споживаної потужності (рис.7). З енергетичної точки зору найбільш економічним варіантом є варіант III (схема с на рис. 3). Його перевага над варіантом II можна пояснити великою часткою потужності, споживаної вентиляторами, в загальній споживаній агрегатом потужності. Цей фактор превалює над незначним впливом зменшення створюваного ТЕХ перепаду температур.

Виміряне значення сили струму, що протікає через реле K1, становило 90 мА. У перерахунку на споживану потужність частка реле – це 1.8 % загальної споживаної агрегатом потужності. Враховуючи, що реле споживає потужність тільки в робочому режимі, можна вважати несуттєвою його роль в

⁴ Ці дані не представлені в таблиці 5, але є в протоколах випробувань.

⁵ Найбільш типовою такою ситуацією є тривале відкриття дверей холодильника.

енергоспоживанні холодильника, а, отже, застосування схеми живлення з використанням електромеханічного реле є доцільним.

Щоб сформулювати докладніші, остаточні рекомендації, слід продовжити дослідження, використовуючи більшу кількість об'єктів випробувань і точніші вимірні прилади, наприклад, лічильник енергії на постійний струм. У той же час отримані результати дають можливість стверджувати, що поставлена мета досягнута: експериментально підтверджена можливість і доцільність використання дворівневого регулювання температури «з струмом паузи» в транспортних ТЕХ із зазначенням конкретних найбільш ефективних технічних рішень залежно від поставленого завдання (схеми б, в або д).

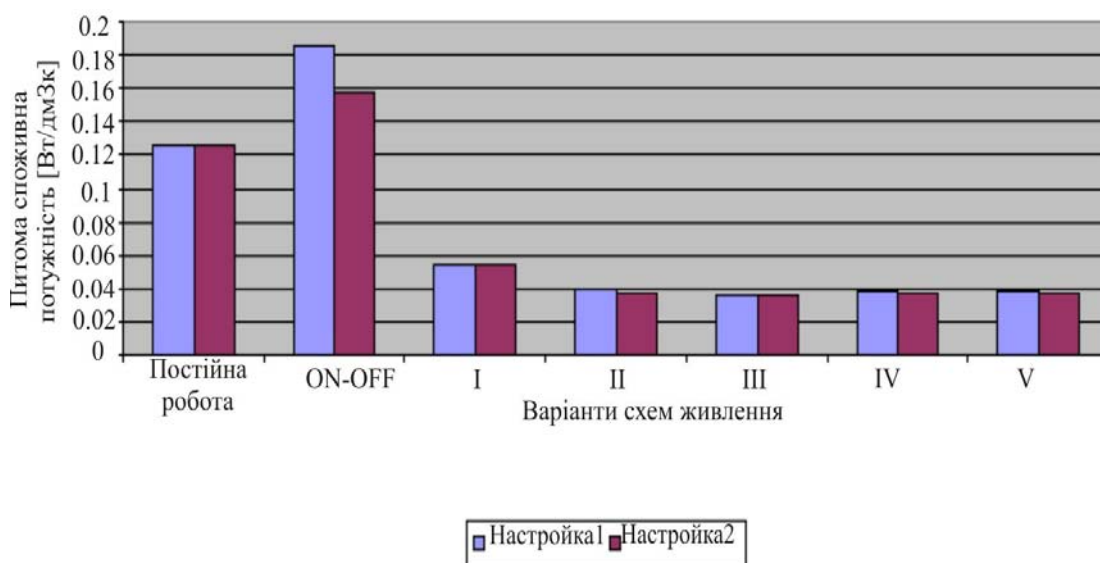


Рис. 7. Порівняння питомої споживаної потужності холодильника для досліджених варіантів схем живлення.

Література

1. Конопльова Н. Потребление электроэнергии холодильником. / Н. Конопльова // <http://planetaklimata.com.ua/articles/?msg=1110> 15.09.2012
2. О путях снижения электрической мощности холодильной техники супермаркета. <http://planetaklimata.com.ua/articles/?msg=1110>
3. Kamiński A. Optymalizacja zużycia energii elektrycznej supermarketu. Projektowanie instalacji i dobór komponentów chłodniczych. 09.10.2012 www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl/index.php/artykuly/203-wydanie-092012/2356.html
4. Энергосбережение в торговом оборудовании. <http://tjet.ru/energoberezhenie>
5. Urządzenia chłodnicze dla sklepów – energooszczędne rozwiązania. 11.09.2012 www.firmymiesne.pl/artukul/urządzenia-chłodnicze-dla-sklepów-energooszczędne-rozwiazania,241
6. Пазухин А. Методы снижения энергозатрат пищевых предприятий. Империя холода, / А. Пазухин, А. Юдина // n 10, 2011, С. 36-37.
7. Filin S., Owsicki A.: Zasady projektowania i eksploatacji chłodziarek termoelektrycznych. ZAPOL, Szczecin, 2010, P. 32-36
8. Филін С.О. Експериментальне дослідження стаціонарних термоелектричних холодильників. / С.О. Филін, А. Овсицкий, Б. Закшевский // Астропринт, Одесса, 2011.

9. Бытовой термоэлектрический холодильник. / Орлов В.С., Иоффе Д.М., Ломакин В.Н. [и др.] // Холодильная техника – № 1. – 1970. – С. 11-15.
10. Filin S. Termoelektryczne urządzenia chłodnicze. IPPU Masta, Gdańsk, 2002.
11. Филин С.О. Транспортный термоэлектрический холодильник / С.О. Филин, С.О. Журбенко, Л.Н. Варюхина // ХТТ-30.– Холодильная техника и технология, 1994. Вып. 56 – С. 13-18.
12. S. Filin, B. Zakrzewski, A. Owsicki: 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, Sofia, May 22-24, 2006.

Надійшла до редакції 15.08.2013