



Филин С.О.

Филин С.О.<sup>1,2</sup>, Ясиньска Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Западнопоморский технологический университет в Щецине, аллея Пиастов 17, Щецин, 70-310, Польша

<sup>2</sup>Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины, ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина



Ясиньска Б.

## ЭКОНОМИЧНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХОЛОДИЛЬНИКИ С ДВУХУРОВНЕВЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ: ОПЫТ СОЗДАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

*В статье описан опыт создания транспортных термоэлектрических холодильников (ТТЭХ) на базе шкафов бытовых термоэлектрических холодильников фирмы Ravanson с полезным объёмом 48 литров. Также представлены результаты сравнительных испытаний базовой модели и двух новых образцов ТТЭХ с различными типами термоэлектрических модулей. Использование двухуровневого регулирования температуры позволило существенно улучшить энергетические показатели холодильников, что даёт возможность их длительной эксплуатации при электропитании от аккумулятора транспортного средства без риска его быстрой разрядки.*

**Ключевые слова:** термоэлектрический холодильник, регулирование температуры, электропитание, энергосбережение.

*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.

### Введение

Главной и глобальной целью технического прогресса в начале XXI века бесспорно является повышение энергетической эффективности. Снижение энергопотребления термоэлектрических холодильников не только находится в этом русле, но и является необходимым условием конкурентоспособности термоэлектрических изделий на мировом рынке, и, прежде всего, по отношению к компрессорным аналогам.

На кафедре кондиционирования и холодильного транспорта Западнопоморского технологического университета в Щецине более 15 лет проводятся исследования, преимущественно экспериментального характера, целью которых является улучшение энергетических показателей термоэлектрических холодильников различного назначения. Упомянутое улучшение является следствием выбранного подхода в конструировании

стационарных термоэлектрических холодильников и витрин – это сочетание оптимизации конструкции холодильного агрегата и схемы его питания с выбором соответствующего способа регулирования температуры в камере холодильника. Новые образцы холодильников характеризуются не только пониженной потребляемой мощностью, но и сниженным суточным энергопотреблением благодаря максимальному увеличению времени работы в энергосберегающем режиме. Результаты этих работ регулярно публикуются в журнале «Термоэлектричество». Издано несколько монографий на польском и русском языках. В течение последних двух лет исследования направлены на то, чтобы вышеупомянутый подход применить к транспортным холодильникам, питаемым от сети постоянного тока 12 В. Предварительные результаты этих работ докладывались на XV Международном форуме по термоэлектричеству [1]. Представленный в данной статье этап работ выполнен в рамках одного из проектов программы «Inkubator innowacyjności», которая финансируется Министерством Науки и Высшего Образования Польши и направлена на поддержку внедрения новых технологий [2].

### Цель, объекты и методика исследования

Целью проекта было создание и испытание новых конструкций экономичных транспортных термоэлектрических холодильников (далее – ТТХ) питаемых от сети постоянного тока 12 В или от аккумулятора, в которых использован принцип двухуровневого регулирования температуры. Эта идея была ранее апробирована на стационарных термоэлектрических холодильниках и витринах с объёмом камеры от 40 до 100 литров и электропитанием от сети переменного тока 230 В. Транспортные модели холодильников такого объёма находят применение на яхтах, в железнодорожных вагонах, туристических автобусах, домах на колёсах и в автоприцепах, автомагазинах, мобильных кофейнях, на дачных участках. При отсутствии внешней электрической сети или дизель-генератора длительная работа холодильника от аккумулятора может привести к его разрядке. Поэтому снижение потребляемой мощности ТТХ хотя бы на несколько ватт имеет принципиальное значение.

Так как упомянутые ТТХ выпускаются только под заказ, а бюджет и сроки выполнения проекта были очень ограничены, решено было за базовую модель принять имеющийся в розничной продаже бытовой термоэлектрический холодильник Ravanson LK-48 с объёмом камеры 48 литров. Его технические характеристики представлены в таблице 1. Было закуплено 4 экземпляра холодильников, из которых 2 предназначены для сравнительных испытаний, а другие 2 – для переделки на транспортный вариант. При создании двух образцов новых изделий от базовой модели были использованы только теплоизолированные шкафы, в которые были установлены новые агрегаты согласно принципиальным схемам, описанным в статье [1]. Модели новых холодильников, под аббревиатурой ChTT-48, отличались друг от друга только типом использованных термоэлектрических модулей: MT2-2.5-127 (ChTT-48-1) и MT2-2.0-127 (ChTT-48-2). Общий вид холодильников представлен на рис. 1.

Программой исследования было предусмотрено проведение как сравнительных испытаний новых образцов и базовой модели, так и индивидуальные испытания новых образцов при различных внешних температурах и различных установках термостата. Кроме испытаний, проведенных в лаборатории кафедры, часть испытаний проводилась в сертифицированном Центре холодильной техники в Кракове (СОСН), в частности испытания при температуре окружающей среды  $t_{окр} = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$  и испытания при загруженной камере. Главные измеряемые величины – это энергетические и динамические характеристики, такие как:

температура в камере, потребляемая мощность, суточное энергопотребление, время и условия перехода в энергосберегающий режим.

Таблица 1

Технические характеристики термоэлектрического холодильника Ravanson LK-48  
(согласно данным изготовителя)

Характеристики	Ед. изм.	Величина
1. Диапазон температур в камере	°С	5...12
2. Общий объём камеры	дм <sup>3</sup>	48
3. Напряжение питания	В	~230
5. Частота тока	Гц	50
6. Габаритные размеры (ширина, глубина, высота)	мм	480×460×840
7. Потребляемая мощность (при $t_{окр} = 32$ °С)	Вт	70
8. Масса	кг	11.6
9. Суточное энергопотребление	кВтч/24ч	0.8*

\* – изготовитель не указывает, при каких условиях измерен этот показатель.



Рис. 1. Холодильники ChTT-48 в процессе лабораторных испытаний.

Корректное сравнение показателей холодильников с различным напряжением питания, родом тока и с различным принципом регулирования температуры было обеспечено благодаря следующим приёмам:

- по результатам предварительных испытаний был определён электрический КПД источника питания LK-48 и его зависимость от температуры и напряжения на модуле, что позволило с достаточной степенью точности пересчитать потребляемую мощность холодильника с питания от сети ~230 В на сеть =12 В;
- учитывая различия в температурах в камере сравниваемых моделей был использован апробированный в практике показатель удельной потребляемой мощности, предложенный в работе [3].

Описанный в работе [1] экспериментальный стенд был модернизирован, в частности дополнен аккумулятором типа HZY-EV12-100 и электронными измерителями потребляемой мощности постоянного тока FRER C15UCL с ценой деления 1 Вт·ч. Измеритель C15UCL (рис. 2) также позволяет фиксировать текущие значения силы тока, потребляемой мощности и ряд других показателей, вести компьютерную регистрацию и запись данных. Использование этого довольно редкого и точного прибора позволяет выявить даже небольшую разницу в энергопотреблении объектов с потребляемой мощностью на уровне 10...20 Вт без необходимости проведения многодневных, а то и многонедельных испытаний.

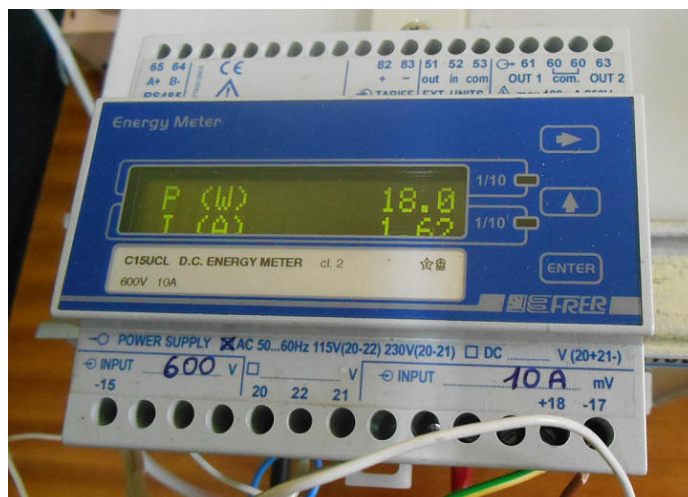


Рис. 2. Измеритель энергетических показателей постоянного тока FRER C15UCL.

## Результаты испытаний холодильника LK-48

Анализ конструкции и принципа работы холодильника LK-48 был произведен методом «обратного проектирования». Восстановление принципиальной электрической схемы холодильника по его монтажной схеме показало, что в холодильнике использован не манометрический, а электронный терморегулятор, в котором датчик температуры (терморезистор) включён в плечо моста. Терморегулятор является неотъемлемой частью схемы питания с высокочастотным преобразователем напряжения, широтно-импульсной модуляцией и обратной связью. Иными словами, использован наиболее эффективный из всех известных способ пропорционального регулирования температуры [1]. Хотя, в принципе, возможно использование пропорциональной регуляции при питании холодильника и от сети постоянного тока, тем не менее, использованные в LK-48 технические решения такой возможности не дают.

При испытаниях LK-48 производились измерения электрических показателей как в цепи переменного, так и постоянного тока (в цепи термоэлектрического модуля), а также энергетических показателей. В таблицах 2 и 3 представлены выдержки из протоколов испытаний этого холодильника при температуре окружающей среды 23 °С при двух настройках термостата: «4» (middle) и «1» (min)<sup>1</sup>. На сером фоне показаны параметры в моменте начала перехода в энергосберегающий режим.

<sup>1</sup> Шкала настройки термостатов холодильников, независимо от их принципа работы, составляет от «1», что соответствует максимальной, т.е. более высокой температуре в камере, до «7», что, в свою очередь, соответствует минимальной температуре. Соответственно, настройка «4» является средней (middle). Она обычно рекомендуется изготовителем холодильников для повседневного использования.

Таблица 2

Результаты испытаний термоэлектрического холодильника Ravanson LK-48 с пустой камерой при температуре окружающей среды 23 °С и настройке термостата «4»

Время		Переменный ток Потребляемая мощность $P$ , [~Вт]	Постоянный ток			Температуры	
абс. [час:мин]	относ. [мин]		$V$ , [В]	$A$ , [А]	$P$ , [=Вт]	средняя в камере, [°С]	горячего ра- диатора, [°С]
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

Таблица 3

Результаты испытаний термоэлектрического холодильника Ravanson LK-48 с пустой камерой при температуре окружающей среды 23 °С и настройке термостата «1»

Время		Переменный ток Потребляемая мощность $P$ , [~Вт]	Постоянный ток			Температура	
абс. [час:мин]	относ. [мин]		$V$ , [В]	$A$ , [А]	$P$ , [=Вт]	средняя в камере, [°С]	горячего ра- диатора, [°С]
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

При температуре окружающей среды 23 °С и настройке термостата «4» переход в энергосберегающий режим работы начинается через 110 минут после включения (таблица 1), когда температура в камере опустится до уровня 6.4 °С и длится около 1.5 часов. Переход заключается в плавном уменьшении напряжения питания модуля с соответствующим уменьшением тока и потребляемой мощности. За это время температура в камере снижается до 5.7 °С и стабилизируется на этом уровне, а потребляемая от сети мощность снижается с 63.9 до

51.8 Вт. С учётом энергопотребления вентиляторов (величины в скобках в столбце  $P$ , [=Вт]) и, принимая при этом, что напряжение их питания синхронизировано с напряжением питания модулей, снижение потребляемой мощности в цепи постоянного тока 12 В составляет соответственно с 54.9 до 43.4 Вт.

При той же температуре окружающей среды и настройке термостата «1» переход в энергосберегающий режим работы начинается через 44 минуты после включения, когда температура в камере опустится до уровня 10,7 °С и длится около часа. За это время температура в камере снижается до 9.3...9.5 °С и стабилизируется на этом уровне, а потребляемая от сети мощность снижается с 62.8 до 25.4 Вт. Соответственно, снижение потребляемой мощности в цепи постоянного тока 12 В составляет с 54.5 до 19.1 Вт.

При настройке термостата «4» переход в энергосберегающий режим работы наблюдается при температуре окружающей среды не выше 24 °С, а при настройке термостата «1» – не выше 28 °С. При этом определение энергопотребления холодильника согласно стандарта EN ISO 8561:1995 + A1:1997 должно производиться при температуре окружающей среды 25 °С и средней настройке термостата, т.е. в положении «4». Это означает, что в этих условиях холодильник LK-48 не переходит в энергосберегающий режим. Испытания показали, что его потребляемая мощность (в пересчёте на постоянный ток) при этом составляет 53.16 Вт, а суточное энергопотребление, соответственно, составило 1.276 кВтч. Приведенная изготовителем в паспортных технических характеристиках холодильника величина 0.8 кВтч относится к настройке «1». Как мы уже не раз отмечали в предыдущих публикациях, сокрытие условий определения такой важной характеристики как суточное энергопотребление холодильника может вводить покупателя в заблуждение насчёт его экономичности.

### **Некоторые результаты сравнительных испытаний и их анализ**

Кроме конструктивных отличий, принципиальным отличием нового транспортного холодильника ChTT-48 от известных аналогов с терморегулятором является то, что его энергопотребление и температура в камере в энергосберегающем режиме зависят только от температуры окружающей среды и не зависят от настройки термостата. Настройка термостата влияет только на динамические характеристики холодильника. Время от включения холодильника до перехода в энергосберегающий режим может варьироваться от 15 минут при настройке «1», т.е. на высшую температуру в камере, до 1...2 часов при настройках «4» – «7». Время стабилизации температуры в камере после переключения в энергосберегающий режим, наоборот, будет меньшим при настройке термостата на более низкие температуры. В целом динамические характеристики нового холодильника существенно лучше, чем у аналога LK-48, особенно учитывая, что переход в энергосберегающий режим и обратно происходит мгновенно. Эта особенность положительно влияет и на суточное энергопотребление.

Испытания моделей ChTT-48 проходили при их питании от источника постоянного тока D3010, который предусматривает два режима работы: стабилизация напряжения и стабилизация (ограничение) тока. При включении холодильника ChTT-48-1 источник питания в течение 15...30 секунд работал в режиме ограничения тока, после чего автоматически переходил в режим стабилизации напряжения 12.0 В. При испытаниях модели ChTT-48-2 источник оставался в режиме ограничения тока вплоть до перехода в энергосберегающий режим, а напряжение питания в рабочем режиме составляло 10.5...10.6 В.

Таблица 4

Некоторые результаты сравнительных испытаний холодильников LK-48 и ChTT-48 с пустой камерой при температуре окружающей среды 23 °С и настройке термостата «4»

Характеристики	LK-48	ChTT-48-1	ChTT-48-2
Максимальный создаваемый перепад температур, К	17.8	19.8	22.0
Перепад температур создаваемый в энергосберегающем режиме, К		14.5	14.9
- настройка «4»	17.3		
- настройка «1»	13.9		
Потребляемая мощность, Вт			
- в рабочем режиме	64.1 (53.16*)	61.0	50.0 (73.0**)
- в энергосберегающем режиме		16.0	19.0
- настройка «4»	52.1 (41.0*)		
- настройка «1»	25.4 (19.1*)		
Показатель удельной потребляемой мощности $P_{уд}$ для энергосберегающего режима, Вт/дм <sup>3</sup> К		0.023	0.0266
- настройка «4»	0.063 (0.049*)		
- настройка «1»	0.038 (0.029*)		

\* – при пересчёте на питание от сети постоянного тока 12 В.

\*\* – при питании от аккумулятора.

Как видно из таблицы 4, новые модели холодильников, особенно модель ChTT-48-1, в которой использованы менее мощные модули, превосходят по энергетическим показателям аналог, даже при условном пересчёте его характеристик на питание от сети постоянного тока. В этой модели получен показатель потребляемой мощности 16 Вт, что более чем на 3 Вт меньше, чем соответствующий показатель LK-48 в самом экономичном режиме его работы. На практике это может означать, кроме экономии энергии, увеличение времени работы холодильника от аккумулятора без его подзарядки от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от условий эксплуатации.

Нужно признать, что за улучшение энергетических показателей пришлось «заплатить» незначительным (в среднем на 2 К) повышением средней температуры в камере в энергосберегающем режиме, но с другой стороны новые модели имеют большую холодопроизводительность и больший максимальный создаваемый перепад температур в рабочем режиме работы.

## Заключение

В статье представлены только некоторые, наиболее важные, результаты. Испытания холодильников продолжаются. После их завершения полные данные будут опубликованы. Но уже на этом этапе можно утверждать, что принятые технические решения дали ожидаемые результаты. Главным из них является подтверждение возможности и эффективности двухуровневого регулирования температуры в ТТХ путём переключения питания холодильного агрегата с параллельной схемы на последовательную и обратно.



Кроме улучшения энергетических характеристик, удалось расширить примерно на 2–3 °С рабочий температурный диапазон термоэлектрических холодильников, в котором возможен переход в энергосберегающий режим работы. Эти данные ещё нуждаются в проверке и уточнении, что и будет проведено в ближайшее время.

На использованные в ТТХ технические решения поданы заявки на изобретения в польское и европейское патентные ведомства [4], [5].



Рис. 3. Презентация холодильника ChTT-48 на выставке EuroGastro 2015 в Варшаве.

Одна из моделей ChTT-48 в марте 2015 года экспонировалась на выставке EuroGastro в Варшаве (рис. 3), где вызвала большой интерес среди потенциальных потребителей.

## Литература

1. Filin S., Jasińska B.: Experimental investigations of two-level temperature controllers for transport thermoelectric refrigerators // Journal of Thermoelectricity, nr 5, 2013, p. 43-53.
2. Raport na temat transportowej chłodziarki termoelektrycznej. Inwestycje w innowacje. 2014, [www.inwestycjewinnowacje.pl](http://www.inwestycjewinnowacje.pl)
3. Филин С.О., Овсицкий А., Закшевский Б.: Экспериментальное исследование стационарных термоэлектрических холодильников. Астропринт, Одесса, 2011.
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.

Поступила в редакцию 15.06.15.