

**Филин С.О., Ясиньска Б.**



Филин С.О.

Западно-поморский технологический  
университет, ул. Пиастув, 17,  
Щецин, 70310, Польша



Ясиньска Б.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАНТОВ СХЕМ  
ДВУХУРОВНЕВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРЫ В ТРАНСПОРТНЫХ  
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХОЛОДИЛЬНИКАХ**

---

*В статье представлена проблематика энергосбережения транспортных термоэлектрических холодильников, снабжённых регулятором температуры, и описаны результаты испытаний выбранного объекта – встроенного в мебельную секцию термоэлектрического холодильника с объёмом камеры 27.7 дм<sup>3</sup> при различных схемах его электропитания от бортовой сети, позволяющих реализовать идею двухуровневого регулирования температуры. Экспериментальным путём доказана возможность и целесообразность использования этого типа регулирования с указанием конкретных наиболее эффективных технических решений. Показатель удельной потребляемой мощности испытанного холодильника по сравнению с регулированием типа ON-OFF снижен в среднем в 3 раза.*

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

*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 dm<sup>3</sup> 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, electrical power, energy saving.

## **Введение**

В повседневной жизни мы всё чаще употребляем понятие «энергетической безопасности», которое связывает воедино технические, организационные и политические проблемы. Первые из них могут быть решены на разных уровнях и в разных плоскостях, начиная от замены в квартирах и офисах ламп накаливания на энергосберегающие и заканчивая диверсификацией поставок энергоресурсов в масштабах отдельной страны или региона. Доля холодильного оборудования и кондиционеров, используемых в промышленности, транспорте и быту составляет от 20 до 80 % в структуре общегосударственного энергопотребления [1-6].

Как было показано в предыдущих работах сотрудников кафедры кондиционирования и

холодильного транспорта Западно-поморского технологического университета в Щецине [7, 8], использование двухуровневого регулирования температуры в камерах термоэлектрических холодильников (ТЭХ) различного назначения является наиболее эффективным и одновременно доступным методом снижения их энергопотребления. Впервые этот метод, при котором термостат переключает питание холодильного агрегата ТЭХ с более высокого уровня напряжения на низкий, был использован в конструкции холодильника ТЭХ-40 «Чайка» объемом 40 дм<sup>3</sup> [9]. Однако упомянутый холодильник не был запроектирован на постоянную работу в энергосберегающем режиме работы, называемом авторами режимом «тока паузы». Кроме того, известное решение, как и его более поздние модификации, не позволяли реализовать идею двухуровневого регулирования при питании холодильника от бортовой сети транспортного средства с номинальным напряжением 12 или 24 В постоянного тока.

### Объект, цель и результаты предварительного этапа испытаний

В качестве объекта испытаний был принят вмонтированный в мебельную секцию термоэлектрический холодильник с объемом камеры 27.7 дм<sup>3</sup>. Этот тип холодильника используется в каютах судов и яхт, домиках-автоприцепах, автомагазинах, железнодорожных вагонах, самолётах и на других транспортных средствах. Внутренние размеры камеры ТЭХ: ширина – 440 мм, глубина – 240 мм, высота – 262 мм. Камера выполнена из мебельной плиты толщиной 18 мм и слоя теплоизоляции из пенополистироловой плиты толщиной 30 мм. Холодильный агрегат ТЭХ содержит два термоэлектрических модуля типа МТ-2-1,6-127 ([10], приложение 1), два однотипных, выполненных из алюминиевых профилей радиатора (по одному на горячей и холодной сторонах агрегата) и два осевых вентилятора<sup>1</sup> типа VD 9225 HS, установленные на каждом из радиаторов и питаемые номинальным напряжением 12 В постоянного тока.

Холодильник также содержит манометрический термостат типа Danfoss 077B7008 и электромагнитное реле типа R8, питаемое номинальным напряжением 12 В постоянного тока. Датчик термостата установлен в непосредственном контакте с поверхностью холодного радиатора.

Испытательный стенд содержит несколько источников питания (ИП), т.е. преобразователей переменного тока в постоянный со стабилизацией выходного напряжения и/или тока. Их некоторые характеристики представлены в таблице 1. Во время испытаний преимущественно использовался источник PowerLab RXN3010D.

*Таблица 1*

*Основные технические характеристики источников питания*

Тип ИП	Диапазон регулирования	Разрешение	Стабилизация напряжения/тока
BP-20 (изготовлен под заказ)	12...22 В до 5 А	0.01 В* 0.01 А*	–/–
M10-DP двухканальный	2 × 0...30 В 2 × 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*	+/+

\* при использовании внешних приборов типа M838.

<sup>1</sup> Это означает, что выбрано характерное для современных моделей ТЭХ техническое решение с вынужденной конвекцией воздуха в камере.

Измерительная часть испытательного стенда состоит из 8-канального регистратора данных AR205, к входам которого подключены термопары типа J. Разрешение прибора в режиме измерения температуры – 0.1 К. Во время испытаний измерялась температура: окружающего воздуха, поверхности холодного и горячего радиаторов, воздуха в камере в трёх точках на разной высоте в соответствии с требованиями соответствующих стандартов. Верификация температурных измерений проводилась с помощью цифровых измерителей температуры: 10-канального CR7701-02 с термопарами типа L и одно-канального CR7702 с термистором сопротивлением 50 Ом. Оба измерителя имеют класс точности 0.05 при разрешении 0.1 К. Общий вид испытательного стенда идилятора представлен на рис. 1.



Рис. 1. Транспортный термоэлектрический холодильник (вид со стороны термоэлектрического агрегата) во время испытаний.

Измерение суточного расхода электроэнергии производилось при использовании электронных измерителей серии Energy Logger (модели 3000 и 3500) с разрешением 1 Вт·ч, что чрезвычайно существенно при испытаниях устройств с малой потребляемой мощностью. Кроме достижения высокой точности измерения, достигается сокращение в несколько раз времени испытаний. Измерители серии Energy Logger, кроме расхода электроэнергии, обеспечивают измерение следующих параметров: текущих значений напряжения и силы переменного тока, частоты тока в сети, коэффициента мощности ( $\cos \phi$ ), действительного и кажущегося текущих значений потребляемой мощности (см. рис. 2), а при введении соответствующих тарифов на электроэнергию также производят расчёт стоимости потреблённой энергии с учётом разности тарифов в дневное и ночное время. Частота измерения параметров – 1 раз в секунду. В модели Energy Logger 3500 имеется возможность регистрации и передачи данных на компьютер в режиме on-line. Верификация измерения расхода электроэнергии производилась при помощи электромеханического счётчика энергии типа СО-И446. Время фиксировалось таймером с разрешением 1 секунда.



Рис. 2. Рабочий момент регистрации электрических параметров.

Были выбраны 5 вариантов электрической схемы питания холодильного агрегата ТЭХ, которые представлены в таблице 2 и на рисунке 3. Все варианты предусматривают переключение питания группы из двух термоэлектрических модулей при переходе из параллельного соединения на последовательное, при котором напряжение на каждом модуле снижается с 12 В до 6 В постоянного тока. Варианты отличаются друг от друга способом подключения и переключения вентиляторов M1 и M2. В варианте I (схема а) напряжение на вентиляторах в обоих режимах работы не изменяется и составляет 12 В. В варианте II (схема б) только внутренний вентилятор M2 переключается на низшее напряжение. В варианте III (схема в) оба вентилятора переключаются на напряжение 6 В. В варианте IV (схема з) вентиляторы постоянно запитаны напряжением 6 В. В варианте V (схема д) в рабочем режиме вентилятор M1 запитан напряжением 12 В, а вентилятор M2 не работает; в режиме «тока паузы» оба вентилятора питаются напряжением 6 В.

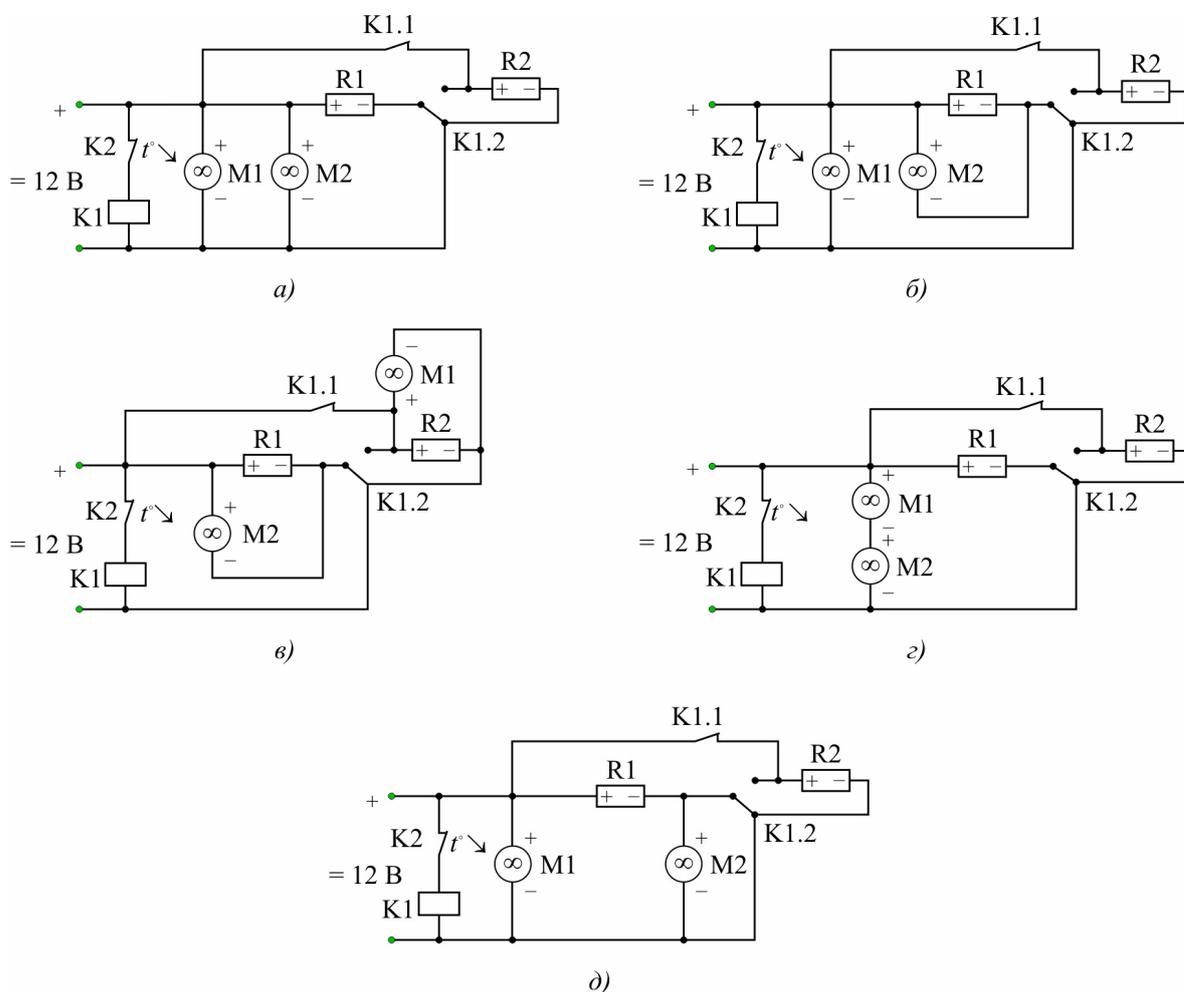


Рис. 3. Выбранные варианты принципиальных электрических схем холодильного агрегата испытываемого холодильника.

В качестве базы сравнения приняты режим работы: без регуляции температуры при постоянном питании 12 В и с регуляцией типа «включено-выключено» (ON-OFF). Исследование этих двух режимов составило суть предварительного этапа испытаний, целью которого было:

- экспериментальная проверка работоспособности выбранных схем питания при реализации двухуровневого регулирования температуры в камере ТЭХ;

- выявление влияния выбранных параметров на расход электроэнергии объектом исследования, т.е. транспортным ТЭХ при изменении напряжения питания в диапазоне от 6 до 14 В с шагом 0.5 В и изменением настройки термостата;
- сравнительный анализ расхода электроэнергии ТЭХ при различных способах регулирования температуры.

Таблица 2

*План эксперимента при изменении электрических схем питания ТЭХ*

Режим работы агрегата	Подключение*			
	модулей	наружный вентилятор M1	внутренний вентилятор M2	Номер варианта /схемы
„работа”	параллельное (12)	12	12	I, II, III (рис. 3 а)
		6	6	IV (рис. 3 з)
		12	0	V (рис. 3 д)
„пауза”	последовательное (6)	12	12	I (рис. 3 а)
		12	6	II (рис. 3 б) V (рис. 3 д)
		6	6	III (рис. 3 в) IV (рис. 3 з)

\*0, 6, 12 – напряжение питания данного элемента (В).

Предварительные испытания проводились при постоянной окружающей температуре 22 °С, при различных настройках термостата, при пустой камере и отсутствии её освещения. Температура в испытательном помещении поддерживалась на постоянном уровне с точностью  $\pm 0.3$  К при помощи кондиционера Sanyo, модель SAP KR(CR)127ENAX. Главный измеряемый параметр – суточный расход электроэнергии ТЭХ. Дополнительно измерялись и рассчитывались: время от момента запуска до момента достижения наиминимальной средней температуры в камере (при постоянной работе), время до первого срабатывания термостата, время работы, время паузы, время цикла, коэффициент рабочего времени (при циклической работе). Расход электроэнергии измерялся от момента запуска ТЭХ, но для сравнительного анализа принимался расход в период установившейся работы холодильника, начало которого определяется согласно с принципами, описанными в работе [7]. Другие существенные нюансы методики испытаний представлены ниже при обсуждении отдельных результатов.

Результаты предварительных испытаний представлены в таблицах 3 и 4. В режиме постоянной работы средняя температура воздуха в камере холодильника снизилась до 4.3 °С. Зафиксированная разница температур между воздухом в камере и холодным радиатором составила 2.2 °С, что следует считать очень хорошим результатом по сравнению с известными конструкциями ТЭХ с вентилятором в камере, описанными в работах [7], [8], [10].

Определены величины потребляемой мощности и суточного энергопотребления источника питания и непосредственно ТЭХ. Кроме того, с целью облегчения дальнейшего сравнительного анализа, определялся показатель удельной потребляемой мощности [7], величины которого представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты испытаний холодильника в базовых режимах работы

Измеряемые и рассчитываемые характеристики	Режимы работы		
	Постоянная работа	ON-OFF	ON-OFF
Настройка термостата	7 (min)	1 (max)	2
Температурные [°C]:			
Средняя температура в камере в установившемся режиме работы и в моментах срабатывания термостата	4.3 –	9.5 7.3/11.6	7.6 5.2/10.0
Средняя температура холодного радиатора или его температуры в моментах срабатывания термостата	2.1	5.0/10.4	2.9/8.5
Средняя температура горячего радиатора или его температуры в моментах срабатывания термостата	32.0	32.6/23.2	32.0/23.0
Временные			
Время достижения установившегося режима работы [мин]	150	30 <sup>1</sup> 108 <sup>2</sup>	65 <sup>1</sup> 50 <sup>2</sup>
Время цикла (время режима «работа» + время режима «пауза») [сек]	–	1270 (840 + 430)	2115 (1620 + 495)
Коэффициент рабочего времени [–]	–	0.661	0.766
Электрические и энергетические			
Напряжение питания агрегата [В]	12.00	12.0/0	12.0/0
Сила тока питания агрегата в установившемся режиме работы или в моментах срабатывания термостата [А]	5.14	5.46/5.22/0	5.32/5.12/0
Потребляемая агрегатом мощность в установившемся режиме работы или в моментах срабатывания термостата [Вт]	61.7	65.5/62.6/0	63.9/61.4/0
Мощность потребляемая ИП (от сети переменного тока) [Вт]	157.2	169.1/158.2/ 27.3	169.0/156.3/27.4
Средний электрический КПД источника питания [–]	0.392	0.399 <sup>3</sup>	0.399 <sup>3</sup>
Суточное энергопотребление ИП [кВт·ч]	3.78	2.72	3.10
Суточное энергопотребление агрегата [кВт·ч]	1.48	1.01	1.15
Показатель удельной потребляемой мощности $P_{уд}$ холодильника [Вт/дм <sup>3</sup> ·К]	0.126	0.185	0.157

<sup>1</sup> Время до первого срабатывания термостата; <sup>2</sup> время стабилизации параметров цикла; <sup>3</sup> в режиме «работа».

При температуре окружающего воздуха 22 °С применение выбранного типа термостата в испытуемом холодильнике позволяет реализовать двухуровневое регулирование темпера-

туры в его камере только в диапазоне настройки от ① до ②. Это ограничение, несомненно, сужает возможный диапазон настройки температуры в камере, но не усложняет сравнительный анализ, что имеет следующее объяснение. С одной стороны, расширение зоны нечувствительности термостата вверх, т.е. выше  $7.3\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ , не вписывается в концепцию холодильника общего назначения, а, с другой стороны, снижение температуры срабатывания ниже  $2.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (что равнозначно переходу с настройки ② на ③) приведёт к ситуации, когда срабатывание термостата не произойдёт и агрегат останется в режиме постоянной работы.

*Таблица 4*

*Зависимость параметров ТЭХ и ИП в режиме постоянной работы  
 от напряжения питания*

Напря- жение питания агрегата $U$ , [В]	Сила тока питания $I$ , [А]	Мощность, потреб- ляемая агрегатом $P_a$ , [Вт]	Мощность, потреб- ляемая ИП $P_{ин}$ , [Вт]	Средний электри- ческий КПД ИП $\epsilon_{ин}$ , [-]	Средняя темпе- ратура в камере $T_{кам}$ , [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Темпе- ратура холодного радиатора $T_x$ , [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Темпе- ратура горячего радиатора $T_z$ , [ $^{\circ}\text{C}$ ]
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

\* Скачкообразное изменение зависимостей  $P_{ин}$  [У] и  $\epsilon_{ин}$  [У] связано с устройством ИП и следует из деления диапазона регулирования напряжения на поддиапазоны, причём одна из границ между поддиапазонами находится вблизи величины напряжения 7.1 В.

Анализ результатов, представленных в таблице 4, показывает, что минимальная средняя температура в камере  $T_{кам}$  соответствует напряжению питания 12.0 В. Такой результат

<sup>2</sup> При принятой шкале настройки это означало бы её изменение, например, с ① на ②.

свидетельствует о правильности заложенных технических решений для условий постоянной работы. Очень плоский характер зависимости  $T_{кам}$  [U] в области изменений напряжения от 9 до 14 В (рис. 4) качественно хорошо совпадает с результатами, полученными для ТЭХ других типов [10], [11], в том числе без вентилятора в камере [12]. Эту особенность ТЭХ следует оценить как положительную, т.к., благодаря, ей холодильник менее чувствителен к колебаниям напряжения питания и изменениям напряжения, связанным с переключением питания с аккумулятора (12 В) на генератор бортовой сети транспортного средства (13.5...13.8 В).

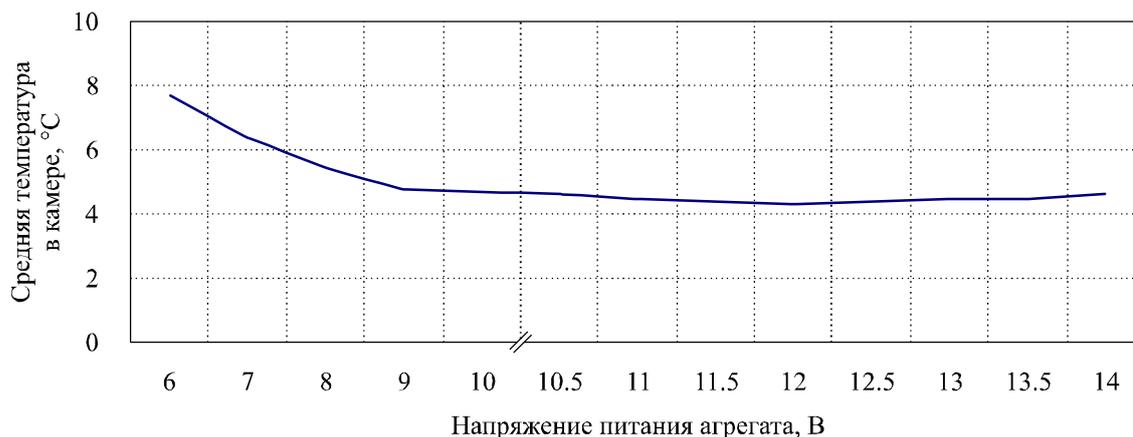


Рис. 4. Зависимость средней температуры в камере ТЭХ от напряжения питания в режиме постоянной работы при окружающей температуре 22 °С.

Относительно небольшое отличие температур  $T_{кам}$  при различных напряжениях питания 12 В и 6 В (соответственно 4.3 °С и 7.7 °С) позволяет сделать следующие выводы:

- холодильник сохраняет работоспособность в очень широком диапазоне изменения напряжения питания;
- по результатам испытаний холодильника в базовых режимах работы можно рассчитывать, что, при условии отсутствия изменения в схеме питания вентиляторов, переключение питания модулей с параллельной схемы на последовательную не вызовет настолько большого роста температуры в камере, чтобы произошло обратное срабатывание термостата и возвращение его в рабочий режим работы. Другими словами, агрегат останется работать в энергосберегающем режиме («тока паузы»), в котором потребляемая мощность примерно в 4 раза меньше, чем в рабочем режиме. Это означает возможность достижения того же эффекта, который был получен в ТЭХ, питаемых от сети переменного тока при использовании специально спроектированных для этой цели источников питания. Следующий этап испытаний должен подтвердить этот вывод.

### Условия проведения и результаты основного этапа испытаний

Перечень измеряемых в процессе эксперимента параметров и результаты измерений представлены в таблице 5. Как и для базового варианта ON-OFF, все варианты испытаны для двух настроек термостата ① и ②. Измерение расхода энергии проводилось непрерывно, показания счётчиков списывались каждые 15 минут, а также в моментах срабатывания термостата. При определении суточного расхода электроэнергии учитывался только период установившихся условий работы (при стабилизированных температурах в камере) длительностью не менее 3 часов.

Таблица 5

*Результаты испытаний холодильника для различных вариантов схем питания*

Вариант схемы и настройка 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
<b>Температурные</b>										
Средняя температура в камере в установившемся режиме работы, [°C]	8.0	7.7	5.3	5.6	6.3	6.2	6.8	6.3	4.2	4.6
Средняя окружающая температура во время испытаний, [°C]	21.7	21.4	21.8	22.9	22.1	22.1	21.6	21.4	21.1	22.1
Создаваемый ТЭХ перепад температур, [K]	13.7	13.7	16.5	17.3	15.8	15.9	14.8	15.1	16.9	17.5
Температуры хол. и гор. радиаторов в моменты срабатывания 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
Температуры хол. и гор. радиаторов в установившемся режиме, [°C]	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
Неравномерность температуры по высоте камеры (верх-низ), [°C]	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6
<b>Временные</b>										
Время от включения до первого срабатывания термостата, [мин:сек]	30:35	67:00	25:10	58:00	38:18	71:00	29:10	42:00	13:30	17:40
Время стабилизации условий работы после срабатывания термостата [мин:сек]	25:00	23:00	35:00	32:00	33:00	27:00	24:00	28:00	47:00	51:00
<b>Энергетические</b>										
Напряжение питания агрегата, [В]	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Сила тока питания агрегата (при включении / в моменте срабатывания термостата / в установившемся режиме), [А]	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
Средняя потребляемая агрегатом мощность, [Вт]	20.4	20.4	18.0	18.0	15.6	15.6	15.6	15.6	18.0	18.0
Мощность, потребляемая ИП, [Вт] (показание счётчика и рассчитанная как разница энергопотребления)	73.9 73.94	73.8 74.66	69.1 69.33	68.8 68.66	64.8 64.5	64.4 65.13	64.7 64.87	64.8 65.00	69.9 70.00	69.5 69.66
Средний электрический КПД источника питания [-]	0.276	0.273	0.260	0.262	0.242	0.236	0.243	0.240	0.257	0.258
Суточное энергопотребление ИП, [кВт·ч]	1.77	1.79	1.66	1.64	1.55	1.56	1.56	1.56	1.68	1.67
Суточное энергопотребление агрегата, [кВт·ч]	0.49	0.49	0.432	0.432	0.375	0.375	0.375	0.375	0.432	0.432
Показатель удельной потребляемой мощности $P_{уд}$ холодильника, [Вт/дм <sup>3</sup> ·К]	0.0538	0.0538	0.0394	0.0376	0.0354	0.0354	0.0380	0.0373	0.0384	0.0371

## Анализ результатов и выводы

Все пять выбранных схем (см. рис. 3 и таблицу 5) обеспечивают возможность длительной работы холодильника в энергосберегающем режиме работы, когда температура в камере не поднимается до верхней границы зоны нечувствительности использованного термостата<sup>3</sup>. По сравнению с режимом постоянной работы при рабочем токе, когда создаваемый перепад температур максимален  $\Delta T_{\max} = 17.7 \text{ K}$ , тот же показатель для упомянутых выше схем находится в границах от 13.7 K (вариант I) до 17.5 K (вариант V), что составляет соответственно от 77.4 % до 98.8 %  $\Delta T_{\max}$  (рис. 5). С точки зрения чисто математического анализа такой результат можно было бы считать удовлетворительным. Но, если рассмотреть средние температуры в камере, то вариант I, в котором эта температура составила 7.7...8.0 °C, уже имеет ограничения в применении, имея в виду разновидность хранимых в ТЭХ продуктов. Например, этот уровень температур согласно нормативным документам не допустим для хранения таких кондитерских изделий как торты и пирожные<sup>4</sup>, но при этом вполне акцептируем в холодильниках и витринах для хранения и демонстрации большинства сортов вин и напитков. Другие варианты не имеют этих ограничений, несмотря на незначительное превышение порога 6.0 °C (варианты III и IV), чего легко избежать путём минимального усиления теплоизоляции ТЭХ.

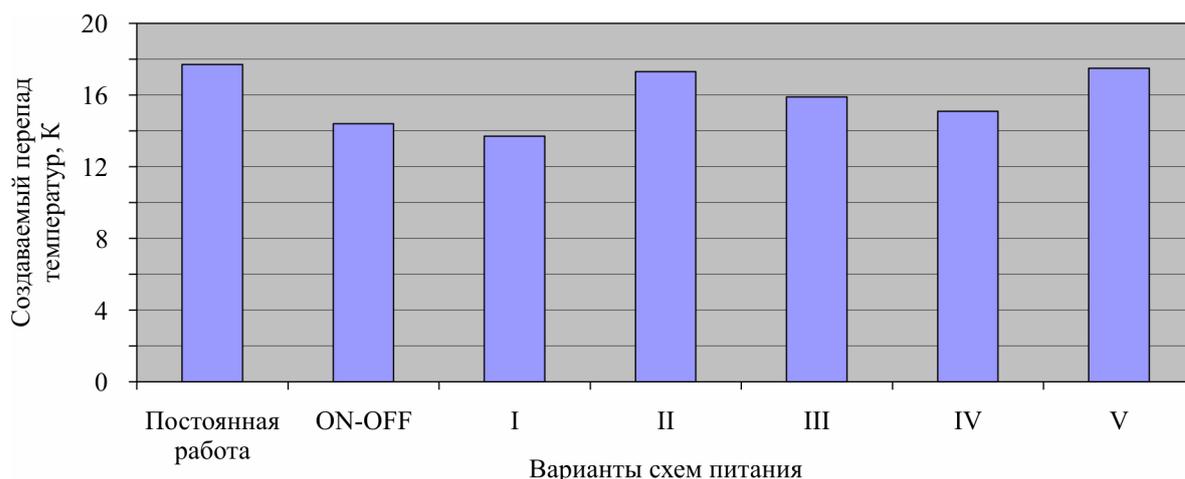


Рис. 5. Сравнение создаваемых холодильником перепадов температур для исследованных вариантов схем питания при настройке термостата ①.

Несмотря на более интенсивную циркуляцию воздуха в камере, имеющую место в варианте I, температура в камере ТЭХ в этом случае более высокая (см. таблицу 5). Этот парадокс имеет своё объяснение. Номинальная производительность установленного в камере вентилятора (при его питании напряжением 12 В) слишком велика для сравнительно небольшого объёма камеры. В результате холодный воздух быстрее «вытекает» из камеры через неплотности в изоляции. Кроме того, коэффициент теплоотдачи от внутренних стенок камеры при этом довольно высокий, что приводит к росту общего коэффициента теплоотдачи  $K$  холодильной камеры и увеличению теплопритоков через изоляцию. Отсюда следует вывод, согласующийся с выводами предыдущих исследований [12] о том, что внутренний вентилятор

<sup>3</sup> В данном ТЭХ эта температура равна 11.6 °C для настройки ① и 10.0 °C для настройки ②.

<sup>4</sup> Диапазон температур хранения кондитерских изделий от 0 до +6 °C. Такие же требования предъявляются к однокамерным холодильникам общего назначения.

ТЭХ должен запитываться пониженным напряжением и током или же следует использовать вентилятор как минимум наполовину меньшей мощности по сравнению с вентилятором горячей стороны агрегата.

Дальнейший анализ температурных характеристик холодильника показывает, что неравномерность температуры по высоте его камеры не зависит от режима работы вентилятора М 2. Только при неработающем вентиляторе и, следовательно, отсутствии вынужденной конвекции в период запуска для варианта V неравномерность возрастает до 1.0...1.3 °С<sup>5</sup>. Принимая во внимание основные температурные характеристики в энергосберегающем режиме работы ТЭХ, особенно температуры в камере, горячего радиатора и создаваемый перепад температур, наиболее сбалансированным решением представляется вариант II.

Много интересной информации для более подробного анализа поведения холодильника при внезапном росте тепловой нагрузки<sup>6</sup>, приводящего к временному, обычно однократному, переходу на рабочий режим, дают измерения временных (динамических) характеристик холодильника. Из данных, содержащихся на рис. 6 и в таблице 5, следует, что преимущество имеет вариант V, который характеризуется самым коротким временем работы в рабочем режиме, т.е. быстрым переходом в энергосберегающий режим. Это приводит к уменьшению суточного энергопотребления холодильника. Однако, как следует из работы [8], этот тезис справедлив только для пустого холодильника или при отсутствии дозагрузки холодильника тёплыми продуктами.

В общем, время до первого срабатывания термостата для настройки ② колеблется в районе 1 часа, а для настройки ① оно почти в два раза меньше, что в зависимости от способа использования холодильника может составлять от 0.5 % до 8 % общего суточного времени работы холодильника с соответствующим ростом его суточного энергопотребления. Более подробный анализ режимов работы ТЭХ с учётом изменения тепловой нагрузки составит предмет дальнейших исследований.

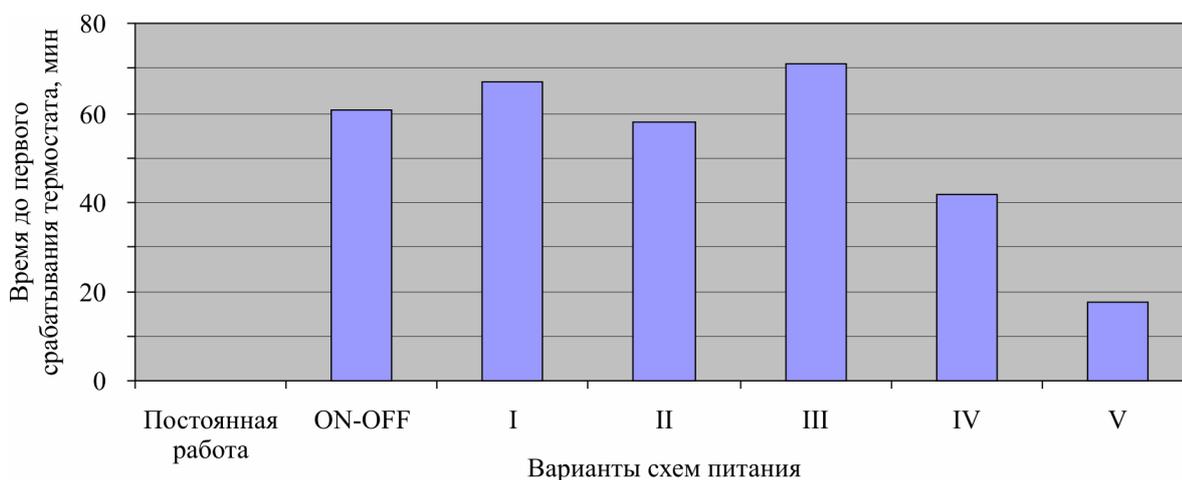


Рис. 6. Сравнение времени работы холодильника в рабочем режиме (до первого срабатывания термостата) для исследованных вариантов схем питания при настройке термостата ②.

Самые важные результаты выполненной работы касаются энергетических характеристик исследованных вариантов схем питания агрегата ТЭХ. По сравнению с режимом работы

<sup>5</sup> Эти данные не представлены в таблице 5, но имеются в протоколах испытаний.

<sup>6</sup> Наиболее типичной такой ситуацией является длительное открытие двери холодильника.

ON-OFF наблюдается 3-4-кратное снижение мощности потребляемой от сети постоянного тока (таблица 5). С этим связано и примерно 3-кратное уменьшение показателя удельной потребляемой мощности (рис. 7). С энергетической точки зрения наиболее экономичным вариантом является вариант III (схема в на рис. 3). Его преимущество над вариантом II можно объяснить большой долей мощности, потребляемой вентиляторами в общей потребляемой агрегатом мощности. Этот фактор превалирует над незначительным влиянием уменьшения создаваемого ТЭХ перепада температур.

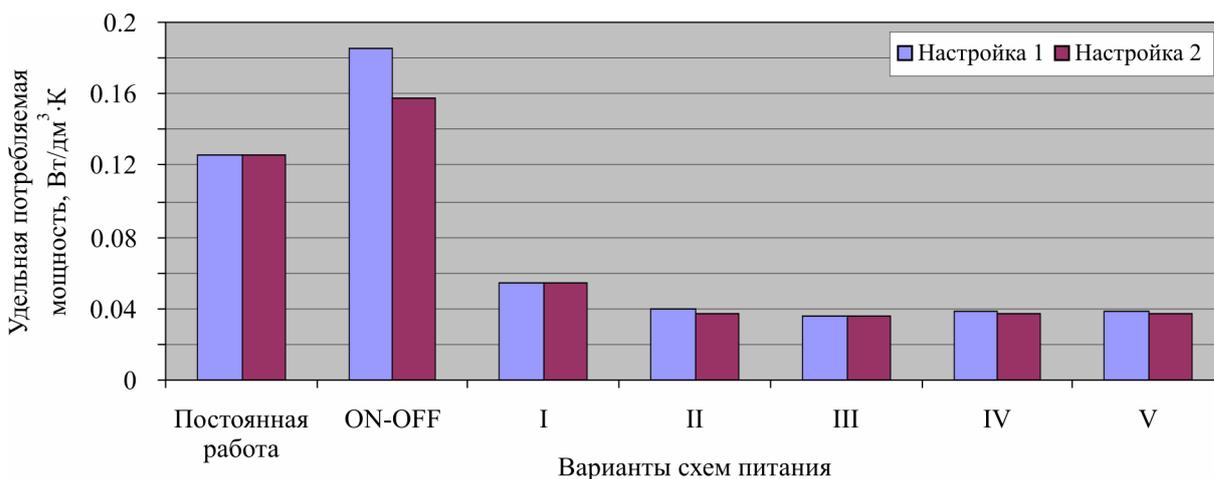


Рис. 7. Сравнение удельной потребляемой мощности холодильника для исследованных вариантов схем питания.

Измеренное значение силы тока, протекающего через реле K1, составило 90 мА. В пересчёте на потребляемую мощность доля реле составляет 1.8 % общей потребляемой агрегатом мощности. Учитывая, что реле потребляет мощность только в рабочем режиме, можно считать несущественной его роль в энергопотреблении холодильника, а, значит, применение схемы питания с использованием электромеханического реле является целесообразным.

Чтобы сформулировать более подробные, окончательные рекомендации, следует продолжить исследования, используя большее количество объектов испытаний и более точные измерительные приборы, например, счётчик энергии на постоянный ток. В то же время полученные результаты позволяют утверждать, что поставленная цель достигнута: экспериментально подтверждены возможность и целесообразность использования двухуровневого регулирования температуры «с током паузы» в транспортных ТЭХ с указанием конкретных наиболее эффективных технических решений в зависимости от поставленной задачи (схемы б, в или г).

## Литература

1. Коноплева Н. Потребление электроэнергии холодильником. <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. A. Kamiński, *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](http://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl/index.php/artykuly/203-wydanie-092012/2356.html)

4. Энергосбережение в торговом оборудовании. <http://tjet.ru/energoberezhnie>
5. *Urządzenia chłodnicze dla sklepów – energooszczędne rozwiązania*. 11.09.2012 [www.firmymiesne.pl/artukul/urządzenia-chłodnicze-dla-sklepów-energooszczędne-rozwiązania,241](http://www.firmymiesne.pl/artukul/urządzenia-chłodnicze-dla-sklepów-energooszczędne-rozwiązania,241)
6. Пазухин А. Методы снижения энергозатрат пищевых предприятий. / А. Пазухин, А. Юдина // Империя холода. – 2011. – № 10. – С. 36 – 37.
7. S. Filin, A.Owsicki, *Zasady projektowania i eksploatacji chłodziarek termoelektrycznych* (ZAPOL, Szczecin, 2010).
8. Филин С.О. Экспериментальное исследование стационарных термоэлектрических холодильников. / С.О. Филин, А. Овсицкий, Б. Закшевский – Одесса: Астропринт, 2011.
9. Бытовой термоэлектрический холодильник. / Орлов В.С., Иоффе Д.М., Ломакин В.Н. [и др.] // Холодильная техника. 1970. – № 1. – С. 11 – 15.
10. S. Filin, *Termoelektryczne urządzenia chłodnicze* (Gdańsk: Masta, 2002).
11. Филин С.О. Транспортный термоэлектрический холодильник ХТТ-30. / С.О. Филин, С.О. Журбенко, Л.Н. Варюхина // Холодильная техника и технология. – 1994. – Вып. 56, – С. 13 – 18.
12. S. Filin, B. Zakrzewski, and A. Owsicki, 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)*.

Поступила в редакцию 15.08.2013.