

# РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ КАМЕРЫ

**НАУМОВА Ольга Валерьевна**, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

**КАТКОВ Данила Сергеевич**, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

**СПИРИДОНОВА Елена Владимировна**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

*Статья посвящена разработке экспериментальной установки для изучения процесса термоэлектрического охлаждения на основе элемента Пельтье при выполнении лабораторных работ и проведении научных исследований. Предлагаемая установка позволяет проводить исследования по получению низких температур в холодильной камере, отладить работу на различных режимах, при изменении температуры окружающего воздуха, а также выявить недостатки в работе оборудования.*

**Введение.** Развитие современного общества требует совершенствования систем холодоснабжения и кондиционирования воздуха. Системы холодоснабжения вошли во все отрасли промышленности и сельского хозяйства, а без кондиционирования воздуха практически невозможна работа современных торговых и офисных центров, предприятий, а также комфортная жизнь обычных людей.

Существующие системы кондиционирования отличаются громоздкостью, требуют выделения отдельного помещения под оборудование, создают шум, так как включают компрессорную установку и радиаторную систему, а также при работе используют хладагент, создающий опасность для окружающей среды и негативно влияющий на экологию планеты.

Применение их для создания и поддержания микроклимата в жилых, рабочих и общественных помещениях ухудшает внешний вид фасада зданий, а повышенный шум, короткий срок службы и высокая стоимость приводят к значительным расходам при эксплуатации.

Во всем мире происходит постоянное совершенствование оборудования для создания и поддержания микроклимата. Заводы-изготовители применяют новые технологии и материалы для повышения работоспособности, надежности и эстетичности технологического оборудования. В этой связи чрезвычайно перспективным направлением совершенствования таких систем является использование безмашинного способа получения тепла или холода на основе термоэлектрического преобразователя энергии. В основе работы устройства – термоэлемента –ложен принцип разности уровня энергии электронов, то есть когда один проводящий элемент представляет из себя область с высокой проводимостью, а другой с низкой проводимостью. Такие устройства, работа которых основана на эффектах Пельтье и Зеебека, заслуживают внимания инженеров-теплоэнергетиков, а также разработчиков нового климатологического оборудования из-за возможности использования их как в качестве охладителей и/или нагревателей, так и в качестве преобразователей тепловой энергии в электрическую [4, 5, 10, 11]. Благодаря работам советского академика А.Ф. Иоффе было установлено, что при использовании замкнутой цепи из двух разных полупроводников наблюдается значительное увеличение переноса тепла от одного спая к другому [6, 7]. Российский академик Ж.И. Алферов и его сотрудники разработали иннова-

ционные полупроводниковые материалы, позволяющие увеличить разность температур между «горячей» и «холодной» стороной полупроводника [2]. Получение качественных термоэлементов с определенными физико-химическими свойствами открывает широкие возможности использования их на практике. Намечается перспектива промышленного выпуска холодильников и кондиционеров, не требующих компрессора, а также элементов для охлаждения компьютерных процессоров.

В настоящее время совершенствованием установок кондиционирования воздуха для автомобилей занимаются сотрудники Рязанского военного автомобильного института. Их работа связана с созданием кондиционера нового поколения на основе сильно развитых поверхностей углеродно-волокнистых структур (УВС). Данное устройство позволяет не только обеспечивать необходимые температурные условия, но также очистку, ионизацию и поддержание определенной влажности воздуха. В качестве охлаждающих элементов используются термоэлектронные микроохладители (ТЭМО) на металлокомплекте, которые не боятся вибраций и ударов [1]. Они позволяют создать перепад температур  $72^{\circ}\text{C}$  при габаритных размерах  $40 \times 40$  мм и потребляют мощность 75 Вт, отличаются малыми габаритными размерами, дешевизной и достаточной эффективностью [3].

Американским инженерам удалось разработать и реализовать эффект Пельтье на основе новых термопар из двух солей теллурводородной кислоты – теллурида висмута и теллурида сурьмы, отличающихся более высоким КПД. Многослойная конструкция из таких термопар образует сверхрешетку, способную поглощать теплоту в 2,5 раза эффективнее, чем все известные сегодня устройства такого рода.

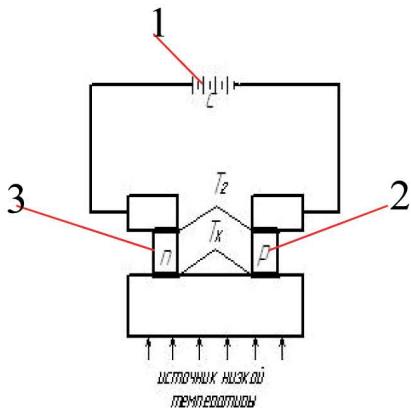
В исследовании предлагается разработка экспериментальной установки для исследования процесса термоэлектрического охлаждения камеры, отладка режимов работы модуля Пельтье, выявление недостатков, совершенствование процесса охлаждения.

Работа термоэлектрического элемента Пельтье основана на последовательном прохождении электрического тока через два полупроводниковых материала, обладающих разными энергиями проводимости, при этом наблюдаются различные температуры контакта, одна сторона поверхности охлаждается, а другая нагревается.

Современный термоэлемент имеет малые размеры, состоит из двух полупроводников, один из которых



сделан из сплава свинца и теллура, другой – из сплава теллура и сурьмы. Использование таких полупроводниковых материалов в холодильной технике и кондиционировании для обеспечения определенных температур открывает широкие возможности в регулировании параметров, а также открывает новые возможности. При пропускании электрического тока через зону соприкосновения полупроводниковых материалов, образуется контактная разность потенциалов. На рис. 1 представлен термоэлектрический преобразователь, работа которого заключается в том, что два полупроводника с n- и p-проводимостью образуют контур, по которому проходит ток от источника питания (1). Если температура на холодных спаях  $T_x$  станет ниже, чем температура источника низкой температуры, а температура на горячих спаях  $T_g$  выше, чем температура окружающей среды, то термоэлемент будет выполнять функцию холодильной машины, способной переносить теплоту от источника низкой температуры окружающей среды.



**Рис. 1. Схема полупроводникового термоэлектрического преобразователя:** 1 – источник питания; 2 и 3 – полупроводники с дырочной (p-тип) и электронной (n-тип) проводимостью;  $T_g$  – температура горячего спая;  $T_x$  – температура холодного спая

Понижение температуры на холодной спае происходит, если электроны переходят из полупроводника с меньшим уровнем энергии в полупроводник с большим энергетическим уровнем.

При этом повышение энергии электронов происходит за счет кинетической энергии атомов. При прохождении электрического тока в обратном направлении, электроны отдают избыточную энергию атомам кристаллической решетки, нагревая спаи термоэлемента [14].

**Методика исследований.** Методика эксперимента была спланирована с учетом возможности использования устройства как для изучения физики процесса охлаждения или нагрева, так и для тестирования элементов Пельтье. Кроме того, использование полупроводниковых структур в качестве термоэлемента требует дополнительных исследований по изучению характера изменения физических свойств в зависимости от используемых материалов и воздействия внешних факторов. Работа включает в себя оценку функциональных возможностей установки со снятием характеристик зависимости тока, протекающего через элемент от разности температур на горячих и холодных спаях полупроводникового модуля с определением холодильного коэффициента исследуемых образцов.

**Результаты исследований.** Существующие устройства для регистрации электрических характеристик термоэлектрического модуля затрудняют проведение исследований из-за использования большого количества измерительной аппаратуры [8, 15, 16]. Для получения экспериментальных данных разработана

установка в виде единого модуля (рис. 2), включающая в себя измерительную аппаратуру для исследования характеристик термоэлемента (1) и малогабаритную холодильную камеру (2). Важной особенностью разработанной системы является ее универсальность: она может быть использована как для охлаждения камеры, так и для кондиционирования воздуха.



**Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки**

Спроектированное и изготовленное устройство позволяет проводить эксперименты по изучению термоэлектрического явления и его взаимосвязи между тепловыми и электрическими процессами, а также получать информацию об основных параметрах термоэлемента Пельтье в зависимости от материала и технологии получения разнородных полупроводников и металлов [9, 12, 13].

На рис. 3 показана схема электрического управления с блоком питания, включая регулирование температурным режимом в камере охлаждения.

Питание установки осуществляется переменным током напряжением 220 В через штепсельный разъем включением тумблера ВК 1-1 и ВК 1-2. Тумблер ВК-2 обеспечивает включение элемента Пельтье, для визуальной индикации которого используются аналоговые измерительные приборы амперметр А, и вольтметр В. Изменяя переключателем напряжение, удается управлять выходными характеристиками элемента Пельтье. Для выпрямления тока питания служит диод, включенный по мостиковой схеме. На предлагаемой схеме полупроводники марки TEC1-12706 являются источником холода и соединены последовательно.

Технические характеристики термоэлектрического модуля Пельтье:

питание осуществляется от преобразователя постоянного тока, А – 4,5;

диапазон напряжения от 0 до 12 В с шагом 2 В, верхняя граница, В – 30;

перепад температуры с окружающей средой, °С – 12...15;

мощность, потребляемая элементов Пельтье, Вт – 120.

Термоэлектрический модуль (ТЭМ) представляет собой конструкцию, состоящую из двух пластин-изоляторов (как правило, керамических), между которыми заключены полупроводниковые переходы, служащие для набора разнообразных пластин в виде батареи термоэлементов. При этом перепад температуры между теплым и холодным спаями у керамических обкладок не превышает 50 °С, а хрупкость керамики не позволяет изготавливать элементы большой конструкции (обычно 20×20 или 40×40 мм) и вызывает большие трудности при креплении.



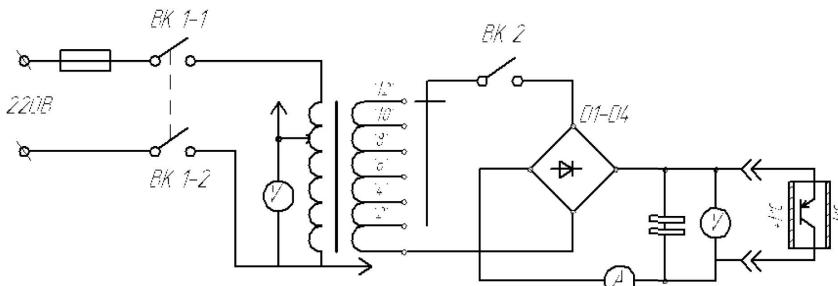


Рис. 3. Электрическая схема питания термоэлектрического модуля

Следует отметить, что термоэлемент Пельтье не может быть применен без соответствующего устройства отвода тепла (рис. 4). В идеальном случае необходимо стабилизировать температуру горячей стороны модуля со значением, близким к температуре окружающей среды для этого используют радиатор. Он позволяет сбросить не только тепло, перекачиваемое ТЭМ с холодной стороны, но и джоуля тепло, выделяемое в ТЭМ при протекании через него электрического тока.

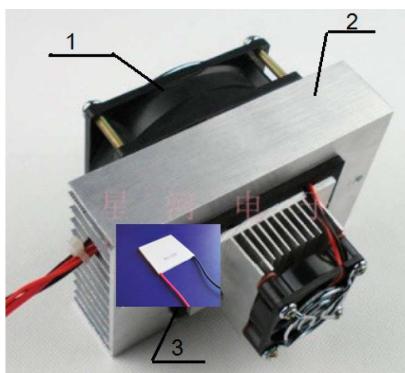


Рис. 4. Комбинированный рекуператор для термоэлемента Пельтье: 1 – осевой вентилятор, 2 – радиатор, 3 – модуль Пельтье

Приборная часть выполнена по блочной схеме, включающей в себя электрические блоки, предназначенные для питания термоэлектрического модуля и термопар, а также системой управления работой вентиляторов. Представленная на рис. 5 схема управления включает в себя электрические блоки, предназначенные для питания термопар и управления работой вентиляторов. Система вентиляции обеспечивает подачу воздуха внутрь пульта управления для снижения температуры электронных блоков и аппаратуры в целом, а также на радиатор горячей и холодной сторон модуля, способствуя проведению исследований.

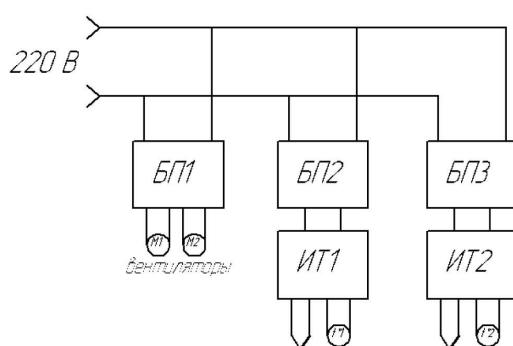


Рис. 5. Блочная схема управления

Блок питания БП1 осуществляет работу вентиляторов, из которых один обеспечивает охлаждение радиатора горячей стороны элемента Пельтье, а другой вентиляцию внутри камеры холодильника. Блоки питания БП2 и БП3 контролируют работу термопар, установленных на горячей и холодной сторонах модуля термоэлемента.

Экспериметальная установка имеет пульт управления, оснащенный контрольно-измерительными приборами и автоматикой (рис. 6). Пульт является самостоятельной частью устройства и разработан специально для проведения исследований и выявления недостатков в работе оборудования.

Питание термоэлектрического модуля осуществляют через трансформатор 220/30 В, имеющего на вторичной

обмотке отводы через каждые 2 В. Перевод напряжения от 0 до 12 В выполняется переключателем 4 по часовой стрелке. В блоке питания расположен преобразователь постоянного тока, регулируемый по величине и выполненный из диодов, включенных по мостиковой схеме. При этом уровень пульсации тока не превышает 5 %, а точность поддержания температуры охлаждаемого объекта составляет  $\pm 1$  °C. Устройства аналогового и цифрового типа контролируют работу датчиков температуры холодного 13 и горячего 7 контактов, включение которых осуществляется тумблерами 10, 11. Тумблеры 8, 15 обеспечивают включение и выключение вентиляторов для охлаждения холодного и горячего контактов. Для получения максимально эффективной работы ТЭМ как охладителей используют напряжения, регулировка которых обеспечивается потенциометрами 9, 14. Включение тумблера 4 в крайнее правое положение позволяет с помощью потенциометра 6 задавать различные значения напряжения до 12 В на источник питания.

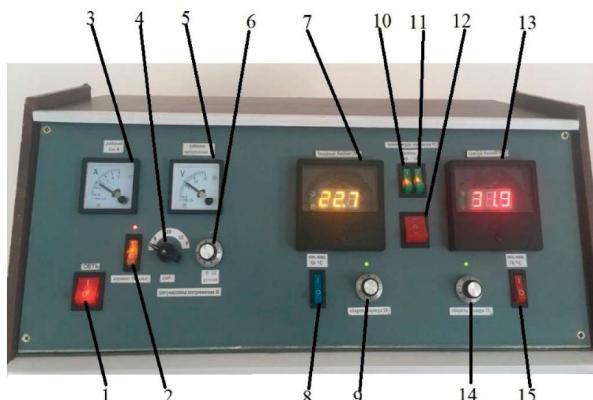
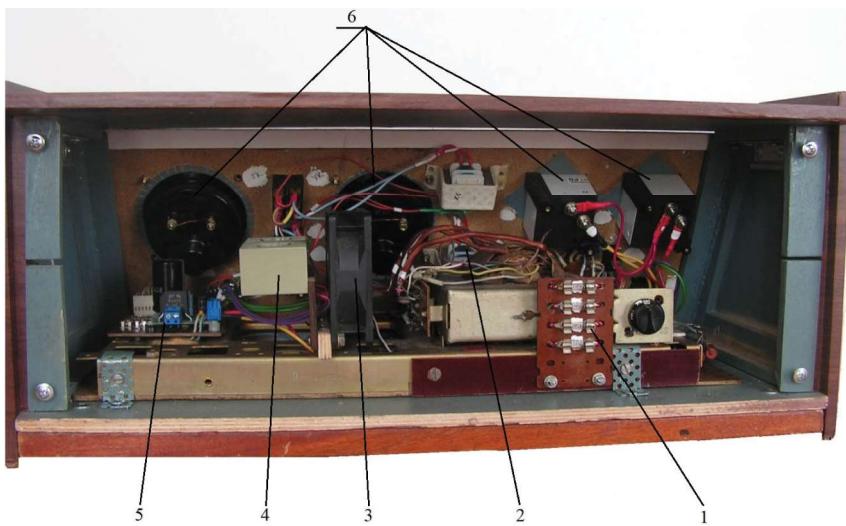


Рис. 6. Лицевая сторона пульта управления:  
1 – тумблер «Сеть»; 2 – выключатель модуля Пельтье;  
3 – амперметр; 4 – переключатель напряжения (0...12 В);  
5 – вольтметр; 6 – потенциометр для ручной регулировки напряжения; 7, 13 – датчики температуры холодного и горячего контактов; 8, 15 – выключатели вентилятора холодного и горячего контактов; 9, 14 – потенциометры для регулировки оборотов вентиляторов горячего и холодного кулера; 10, 11 – выключатели кулера горячего и холодного контактов; 12 – выключатель кулера

Внутри объема пульта смонтирована разводка электрических проводов установки и представлено расположение отдельных элементов электрической схемы управления со снятой задней стенкой (рис. 7).

Схема включает блоки питания и управления и содержит предохранительное устройство; трансформатор; вентилятор, обеспечивающий охлаждение аппаратуры и внутренних элементов электронной схемы, выпрямитель, выполненный из диодов по мостиковой схеме, и представляет собой диодный блок с радиаторами охлаждения; платы для управления и измерения температур холодного и горячего спая термоэлектрического модуля находящегося внутри корпуса; измерительные приборы. Установка позволяет проводить тестирование элементов и изучать их основные технические характеристики.





**Рис. 7. Расположение элементов электрической схемы (вид сзади):**  
1 – предохранительное устройство; 2 – трансформатор; 3 – вентилятор охлаждения внутренних элементов блока; 4 – выпрямитель, выполненный из диодов по схеме моста с радиаторами охлаждения; 5 – плата для управления датчиками измерения температуры; 6 – измерительные приборы

ристики. Термоэлектрические холодильные установки значительно уступают по производительности компрессорным и абсорбционным аналогам, но при одинаковой производительности масса термоэлектрических систем охлаждения в 1,7–1,8 раза меньше холодильных машин, работающих на хладоне.

**Заключение.** Создание опытного образца с учетом доработки даст возможность реализовать производство малой серии. Использование термоэлектрического преобразователя энергии в системах холоснабжения и кондиционирования воздуха позволит улучшить экологию, создать комфортные условия для человека, повысить его самочувствие и работоспособность.

Устройство позволит студентам на лабораторных занятиях изучить процесс охлаждения камеры на основе эффекта Пельтье путем пропускания электрического тока через контакт двух разнородных полупроводников. Возможность в динамике снимать с термоэлемента электрические и тепловые характеристики открывает новые возможности в изучении происходящих процессов, что будет способствовать разработке новых устройств для систем охлаждения и кондиционирования воздуха.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.В., Зеленков В.В. и др. Термоэлектрический модуль. Полезная модель 33462 U1 Российская Федерация, МКИ H01L35/02, H01L35/32; заявитель Алексеев В.В., Зеленков В.В. и др. заявл. № 2003118819/20, 27.06.2003; опубл. 20.10.2003.
  2. Алферов Ж.И. Физика и жизнь. 2-е, изд., доп. – М.: СПб.: Наука, 2001.
  3. Грачев Г.Н., Никифоров А.А., Трашкеев С.И. (Россия). Способ термоэлектрического преобразования энергии. Патент 2216828 С2 Российская Федерация, МКИ H01M14/00, H01L35/00; заявитель Никифоров А.А. заявл. №2001121964/09, 07.08.2001; опубл. 21.11.2003.
  4. Гришин В.К., Вечер А.А., Синявский В.В. Преобразователь тепловой энергии непосредственно в электрическую. Патент 2074460 С1 Российская федерация, МКП Н01М14/00; заявитель Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева, заявл. 94039447/07, 04.10.1994; опубл. 27.02.1997.
  5. Зисман Г.А. Курс общей физики. – М.: Наука, 1972. – 366 с.
  6. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы. – М., 1960.
  7. Иоффе А.Ф., Стильбанк Л.С., Иорданишвили Е.К., Ставицкая Т.С. Термоэлектрическое 8. Коротченко К.Б. Термоэлектрический эффект: метод. указания к выполнению лабораторной работы Э-14а по курсу общей физики для студентов всех специальностей. – Томск: Издво ПТУ, 2008. – 15 с.
  9. Разработка термоэлектрического охлаждающего устройства для изучения эффекта Пельтье / Б.П. Чесноков [и др.] // Научное обозрение. – 2015. – № 11. – С. 96–100.
  10. Стильбанк Л.С. Физика полупроводников. – М., 1967. – С. 75–83. Физическая энциклопедия. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. – Т. 5. – С. 98–99, 125.
  11. Трофимова Т.Н. Курс физики. – М.: Высш. шк., 1990. – 480 с.
  12. Чесноков Б.П., Карпов М.В., Чернова В.А. Применение термоэлектричества в устройствах нагрева и охлаждения // Современные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2015. – С. 248–251.
  13. Чесноков Б.П., Ващенков Е.Г., Наумова О.В., Мещеряков М.А., Чернова В.А., Карпов М.В. (Россия). Устройство для измерения параметров термоэлемента. Патент на промышленный образец 101409 Российская Федерация, МКПО 10-04; ФГБОУ СГАУ им. Н.И. Вавилова заявл. № 2016500341; опубл. 20.12.2016.
  14. Шостаковский П. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания // Компоненты и технологии. – 2010. – № 12. – С. 131–138.
  15. <http://kryothermtec.com/sitemap.xml>.
  16. [http://people.oclockers.ru/zauropod/13384/Effektu\\_Pelte-175](http://people.oclockers.ru/zauropod/13384/Effektu_Pelte-175).
- Наумова Ольга Валерьевна**, канд. техн. наук, доцент, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия.
- Катков Данила Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия  
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77.  
Тел.: (8452) 99-88-11.
- Спиридонова Елена Владимировна**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Природообустройство, строительство и теплоэнергетика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Россия.  
410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.  
Тел.: (8452) 74-96-63.
- Ключевые слова:** термоэлектричество; модуль Пельтье; источник питания; холод; полупроводник; установка.

#### DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR THERMOELECTRIC COOLING OF THE CHAMBER

**Naumova Olga Valerevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia.

**Katkov Danila Sergeevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia.

**Spiridonova Elena Vladimirovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Environmental Engineering, Construction and Heat Power Engineering", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Russia.

**Keywords:** thermoelectricity; Peltier module; source of power; cold; semiconductor; installation.

*The article is devoted to the development of an experimental installation for studying the process of thermoelectric cooling based on the Peltier element when performing laboratory work and conducting scientific research. The developed installation allows not only to obtain low temperatures by applying voltage to series-connected semiconductor elements, but also to test modules with various physical and chemical properties.*

