

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Зорькина Анастасия Ильинична

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Изучение эффекта Пельтье. Термостабилизация образца с помощью  
элемента Пельтье**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19308

**Научный руководитель:**

к.т.н. Д. В. Сеньков

Оценка научного руководителя

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Преподаватель практикума**

А. Г. Харламов

Оценка преподавателя практикума

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Куратор практикума:**

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Новосибирск 2020

## **Аннотация**

Целью данной работы являлось изучение элемента Пельтье и термостабилизация образца с его помощью. Для достижения этой цели потребовалось решить несколько задач. В рамках работы был собран стенд, с помощью которого проводились все измерения, написана микропрограмма для контроллера стенда, которая позволяла передавать данные на компьютер, а также проводить термостабилизацию образца до желаемой температуры. С помощью стенда были проведены измерения характеристик термоэлектрического модуля, проведено сравнение экспериментальных и паспортных данных элемента. Была наглядно продемонстрирована работа модуля и термостабилизация образца с его помощью. Изучение данной темы имеет практическое применение, т. к. полупроводниковые термоэлектрические модули довольно часто встречаются как в электронных устройствах, где требуется поддержание заданной температуры, так и в разнообразных бытовых и промышленных применениях в качестве эффективных тепловых насосов.

Ключевые слова: эффект Пельтье, элемент Пельтье, термоэлектрический модуль, термостабилизация.

## 1. Введение

Между тепловыми и электрическими процессами в металлах и полупроводниках имеется взаимосвязь, которая обуславливает явления, называемые термоэлектрическими. К их числу принадлежат: эффект Зеебека, Томсона и изучаемый в данной работе эффект Пельтье. Первое термоэлектрическое явление описал Зеебек в 1821 году. Он обнаружил, что в случае, если спаи 1 и 2 двух разнородных металлов, образующих замкнутую цепь (рис. 1), имеют неодинаковую температуру, в цепи течет электрический ток. Изменение знака у разности температур спаев сопровождается изменением

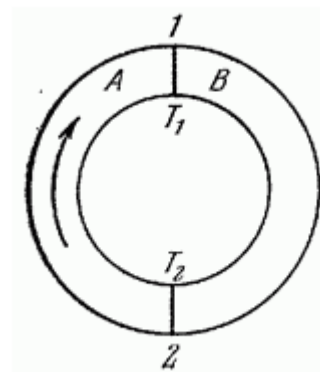


Рисунок 1. Эффект Зеебека

направления тока. Явление Зеебека используется для измерения температур. Соответствующее устройство называется термопарой. Один спай термопары поддерживают при постоянной температуре, другой помещают в ту среду, температуру которой хотят измерить. О величине температуры можно судить по силе возникающего термотока. Предварительно термопару градуируют. С помощью термопар можно измерять с точностью порядка сотых долей градуса как низкие, так и высокие температуры. В качестве источников тока термопары из металлов и их сплавов не используются вследствие весьма низкого к. п. д. (не более 0,5%). Термопары из полупроводниковых материалов обладают гораздо большим к. п. д. (порядка 10%) и могут использоваться, и используются, в качестве термоэлектрических генераторов. [1]

Явление обратное эффекту Зеебека было открыто в 1834 году французским физиком Пельтье. Эффект Пельтье заключается в том, что при протекании тока через цепь, составленную из разнородных металлов или полупроводников, в одних спаях происходит выделение, а в других — поглощение тепла. Классический эксперимент, демонстрирующий данное явление, в 1838 году

провел Ленц. Он поместил каплю воды в углубление на стыке стержней из висмута и сурьмы. Пропустив ток в одном направлении, он увидел, что вода замерзала, и образовался лед, при смене же направления лед таял. Это наглядно показало, что помимо тепла Джоуля на границе двух стержней поглощается или выделяется дополнительное тепло Пельтье.

Опытным путем установлено, что количество выделившегося или поглотившегося в спае тепла пропорционально заряду  $q$ , прошедшему через спай:  $Q_{AB} = P_{AB}q = P_{AB}It$  (индексы указывают, что ток  $I$  течет от звена А к звену В). Коэффициент пропорциональности  $P_{AB}$  называется коэффициентом Пельтье. Из указанной формулы видно, что, в отличие от тепла Джоуля — Ленца, тепло Пельтье пропорционально не квадрату, а первой степени силы тока.

При перемене направления тока  $Q$  изменяет знак, т. е. вместо выделения (поглощения) тепла наблюдается поглощение (выделение) такого же количества тепла (при том же  $q$ ). [1]

Термоэлектрические эффекты находят очень широкое применение в науке и технике. Выше уже были упомянуты термопарные измерители температуры. Для металлов коэффициент Пельтье довольно мал, и, в силу этого, практическое использование эффекта долгое время рассматривалось невозможным. Однако работам коллектива советских физиков ЛФТИ под руководством А.Ф. Иоффе, которые в 40-х годах 20 века, исследуя свойства полупроводников, обнаружили, что термоэлектрические явления, возникающие при контакте полупроводников с электронной и дырочной проводимостью, проявляются на 2-3 порядка сильнее по сравнению с металлами, стало возможно создание эффективных полупроводниковых термоэлектрических модулей. Уже в 1950 году в Ленинграде был создан прототип полупроводникового холодильника, а в 1953 году начался промышленный выпуск термогенерирующих полупроводниковых модулей [2].

В настоящее время специальные термоэлектрические преобразователи, нашли широкое применение в различных сферах жизни человека. Их можно встретить в холодильниках, кондиционерах, кулерах для воды, автомобильных охладителях, акустических системах, видеокартах, цифровых камерах, приборах ночного видения, компьютерах и во многих других устройствах термостатирования и охлаждения. Термоэлектрические модули Пельтье так же могут быть использованы и для нагревания, для этого достаточно лишь сменить направление протекающего тока. На сегодняшний день элемент Пельтье стал незаменимым компонентом термостабилизирующих, охлаждающих и кондиционирующих систем, так что изучение явления, на основе которого они работают, актуально, поскольку мы регулярно сталкиваемся с этим явлением.

Целью данной работы является изучение элемента Пельтье, термостабилизация образца с его помощью. Для достижения данной цели необходимо было решить следующие задачи:

- 1) Собрать стенд для проведения эксперимента
- 2) Написать программу для системы управления стенда, позволяющую считывать температуру с термодатчиков на компьютер регулировать температуру охлаждения образца
- 3) Получить зависимость изменения температур от времени

## **2. Теория**

Термоэлектродвижущая сила (сокращенно термо - э. д. с.) на границе двух проводящих материалов обусловлена тремя причинами: 1) зависимостью уровня Ферми от температуры, 2) диффузией электронов (или дырок) и 3) увлечением электронов фононами (квантами колебаний кристаллической решетки). Все эти причины имеют квантово-механическую природу и для точного количественного описания требуют привлечения аппарата и понятий квантовой механики и физики твердого тела. Возможно, однако, качественное описание термоэлектрических явлений, в том числе эффекта Пельтье, без глубокого погружения в квантово-механические основы явления.

Тепло Пельтье пропорционально, прошедшему через контакт заряду  $q$  и выражается формулой (1), где  $\Pi$  – коэффициент Пельтье, величина которого зависит от природы контактирующих материалов и от их температуры, знак  $Q$  определяется направлением тока в цепи.

$$Q = \Pi q = \Pi I t, \quad (1)$$

Этот коэффициент может быть определен опытным путем (для пар металлов данный коэффициент указывается в справочных таблицах), а также может быть вычислен по формуле (2) через коэффициент термо-ЭДС, так как эффект Пельтье является обратным к эффекту Зеебека:

$$\Pi = \alpha T, \quad (2)$$

в формуле (2)  $\alpha$  – коэффициент термо-ЭДС,  $T$  - абсолютная температура в Кельвинах.

Причина возникновения изучаемого эффекта описывается следующим образом. В равновесии, без внешних сил, в случае контакта металлов или полупроводников на границе возникает внутренняя контактная разность потенциалов, которая создает внутреннее контактное поле. Средняя энергия носителей заряда в проводниках различна, поскольку зависит от их энергетического спектра, концентрации и механизмов их рассеяния. Если же создать внешнюю силу, т. е. приложить потенциал, то через границу спая будет течь ток, т. е. двигаться поток носителей зарядов (если два проводника металлы, то поток электронов). Если носители попадают в область с меньшей энергией, пройдя через контакт, то они передают энергию кристаллической решетке, вследствие чего вблизи спая происходит выделение теплоты, поэтому температура в этом месте повышается. Когда носители переходят в область с большей энергией, они забирают недостающую энергию у решетки. Следовательно, происходит поглощение теплоты и соответственно понижение температуры в месте контакта. Наиболее сильно эффект Пельтье выражается у полупроводников р- и n-типа проводимости, используемых в термоэлектрических модулях, внешний вид которых представлен на рис. 2.

Термоэлектрический преобразователь устроен следующим образом: между двумя керамическими пластинами находятся последовательно соединенные медными проводниками полупроводники р- и n-типа – термопары, от количества которых будет зависеть мощность модуля. Каждая такая термопара, как показано на рис. 3, имеет тепловой контакт с одной из сторон элемента Пельтье. При протекании тока, в зависимости от его направления, одна поверхность модуля охлаждается, т. к. все контакты только охлаждаются, противоположная сторона, наоборот, нагревается. Таким образом, одна поверхность термоэлектрического модуля работает как холодильник, другая же служит для отвода тепла. Дополнительно охлаждая нагревающуюся сторону элемента с помощью вентилятора, существенно уменьшив ее нагрев, можно получить довольно низкую температуру холодной стороны. Так, при стандартном перепаде температур между поверхностями для современного одноступенчатого модуля в 70 градусов, при эффективном охлаждении горячей стороны на температуре около 30°C температура холодной пластины будет -40 °С. Так же стоит отметить, что с помощью данных элементов Пельтье, путем охлаждения и нагревания его пластин, можно сгенерировать электрический ток, т.е. модуль является и эффективным термоэлектрическим генератором.

### 3. Описание эксперимента

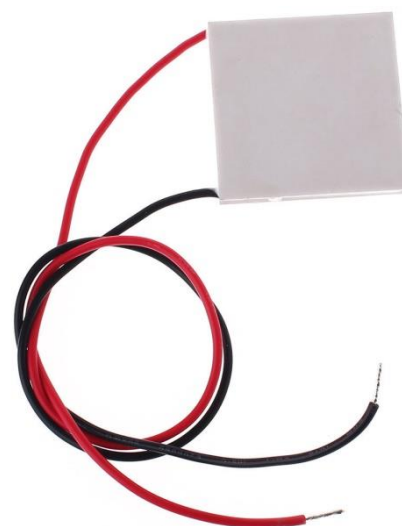


Рисунок 2. Внешний вид элемента Пельтье

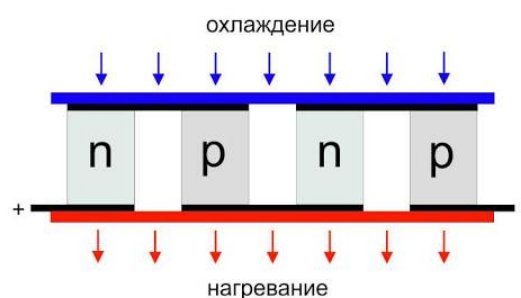


Рисунок 3. Принцип работы элемента Пельтье

В данной работе использовался термоэлектрический модуль Пельтье ТВ-199-1,4-2,5 (DRIFT -2,5 , Криотерм). Его характеристики представлены ниже.

Ток, при котором перепад температур достигает своего максимума:  $I_{max} = 4,5$  А. Предельное напряжение  $U_{max} = 24,9$  В,  $\Delta T_{max} = 70$  К, производительность холода  $Q_{max} = 69$  Вт, сопротивление внутренних элементов  $R = 4$  Ом, рабочий диапазон температур от  $-50$  °С до  $+80$  °С. Характеристики холодопроизводительности для используемого модуля (количество перекачиваемого тепла) в зависимости от тока и разности температуры вычисленные для токов  $0,5$  А – красная, первая линия на графике, 11% от  $I_{max}$  ,  $1,0$  А – синяя, вторая линия, 22% от  $I_{max}$ ,  $1,5$  А – зеленая, третья линия, 33% от  $I_{max}$  с помощью калькулятора на сайте производителя [4][5] показаны на рисунке 4.

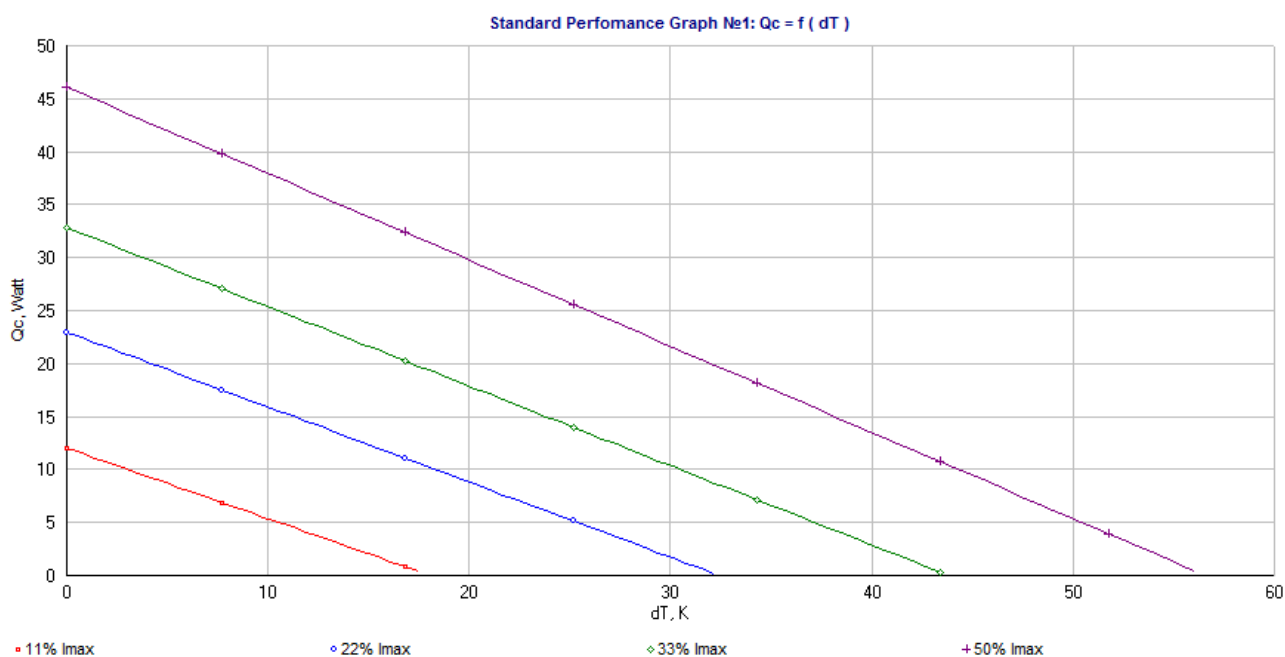


Рисунок 4. Характеристики модуля, 11% от  $I_{max}$  -  $0,5$  А красная линия, 22% от  $I_{max}$  -  $1,0$  А синяя линия, 33% от  $I_{max}$  -  $1,5$  А зеленая, 50% от  $I_{max}$  –  $2,25$ А фиолетовая

Для проведения эксперимента был собран стенд, схема которого представлена на рис. 5. Внешний вид, получившегося стенда представлен на рис. 6.



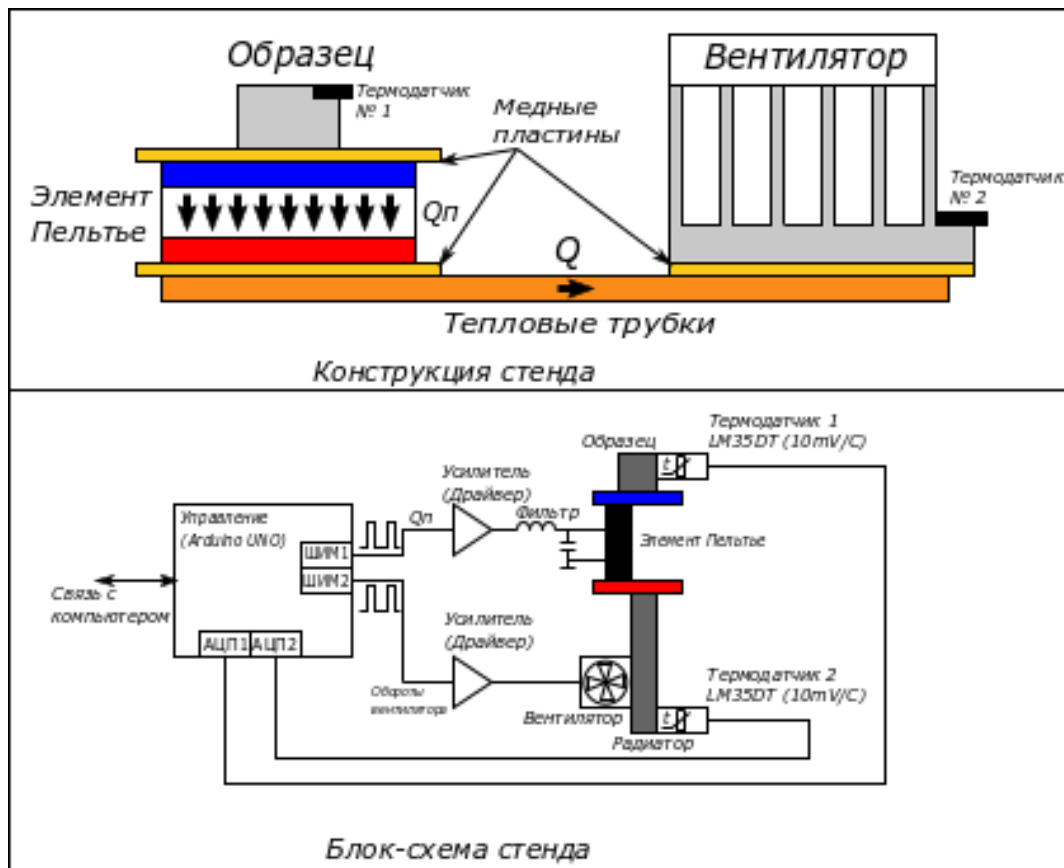


Рисунок 5. Стенд для проведения эксперимента

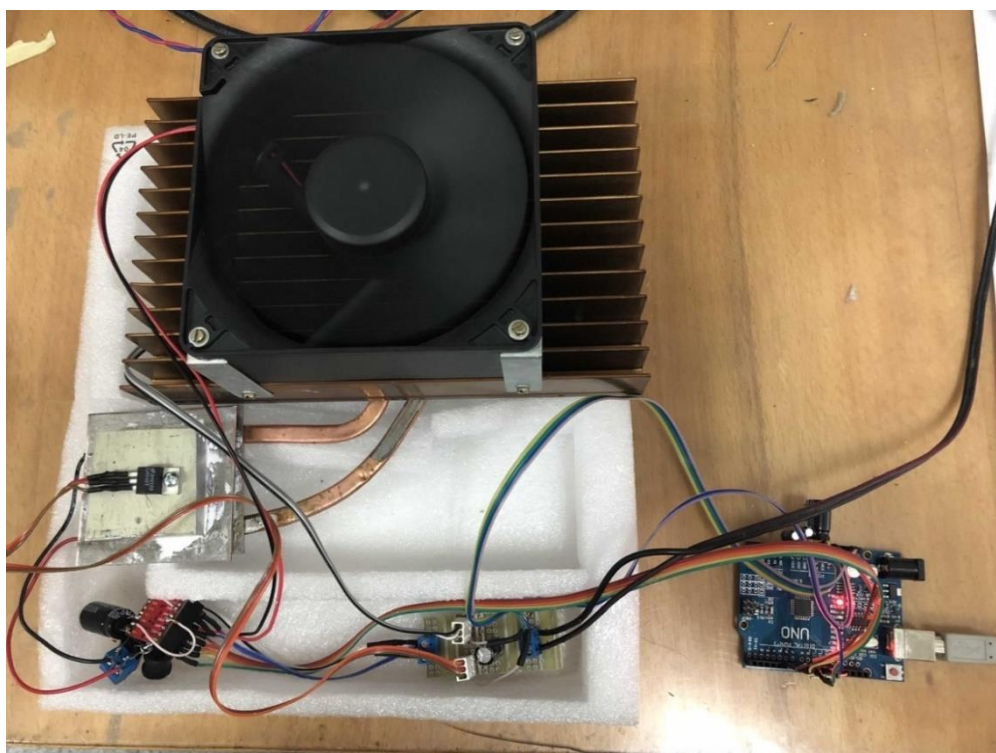


Рисунок 6. Внешний вид стенда для проведения эксперимента

Элемент Пельтье размещен между двумя медными пластинами и приклеен к ним с помощью термопасты. От нижней пластины, которая контактирует с

нагреваемой поверхностью элемента Пельтье, отходят две тепловые трубки, другими концами также припаянные к медной пластине, прикрепленной к радиатору с вентилятором. Использование тепловых трубок позволяет разнести поверхность охлаждения и поверхность, рассеивающую тепло, что увеличивает эффективность и наглядность эксперимента. К верхней, охлаждающей пластине, на термопасту прикрепляется образец, который мы впоследствии будем стабилизировать. К образцу и к нагреваемой пластине, принудительно охлаждаемой вентилятором, крепятся термодатчики, которые соединяются с микроконтроллером Arduino Uno [3].

В среде разработки Arduino была написана программа, считывающая напряжение с термодатчиков и переводящая его соответственно в температуру нагреваемой и охлаждающей поверхности элемента. Помимо этого программа ведет учет времени, включает вентилятор в зависимости от температуры и позволяет термостабилизировать образец на температуре, введенной пользователем. Программа отдает данные на компьютер в виде текстового файла. Обработка данных ведется в программе Excel.

#### **4. Результаты**

*Измерение разности температуры на элементе в зависимости от протекающего тока.*

Первый эксперимент проводился с целью нахождения разности температур на охлаждающейся и нагреваемой поверхностях элемента в зависимости от тока через элемент. При подключении элемента к источнику питания при значении тока 0,5 А. был получен следующий график, построенный в программе Excel, зависимости температур от времени (рис. 7).

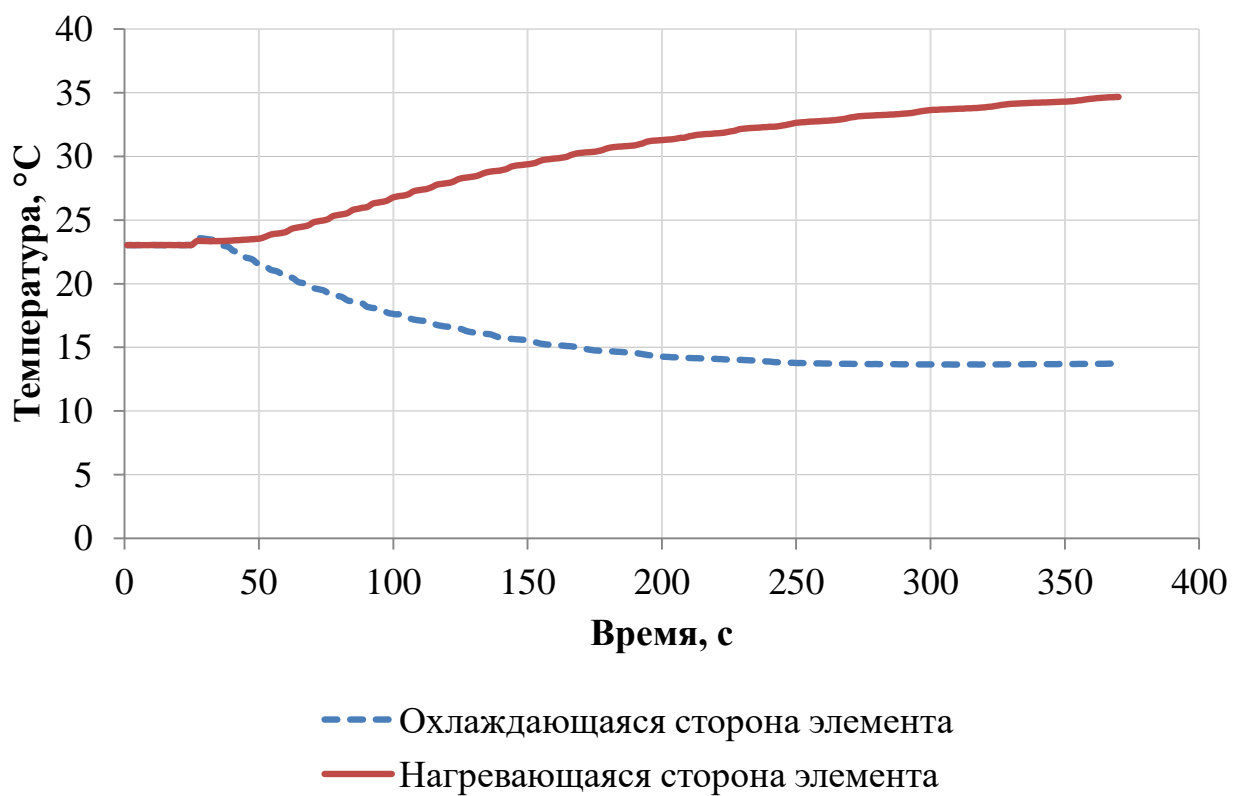


Рисунок 7. Зависимость температур сторон модуля от времени при силе тока 0,5 А  
При повышении тока разность температур будет увеличиваться (рис. 8)

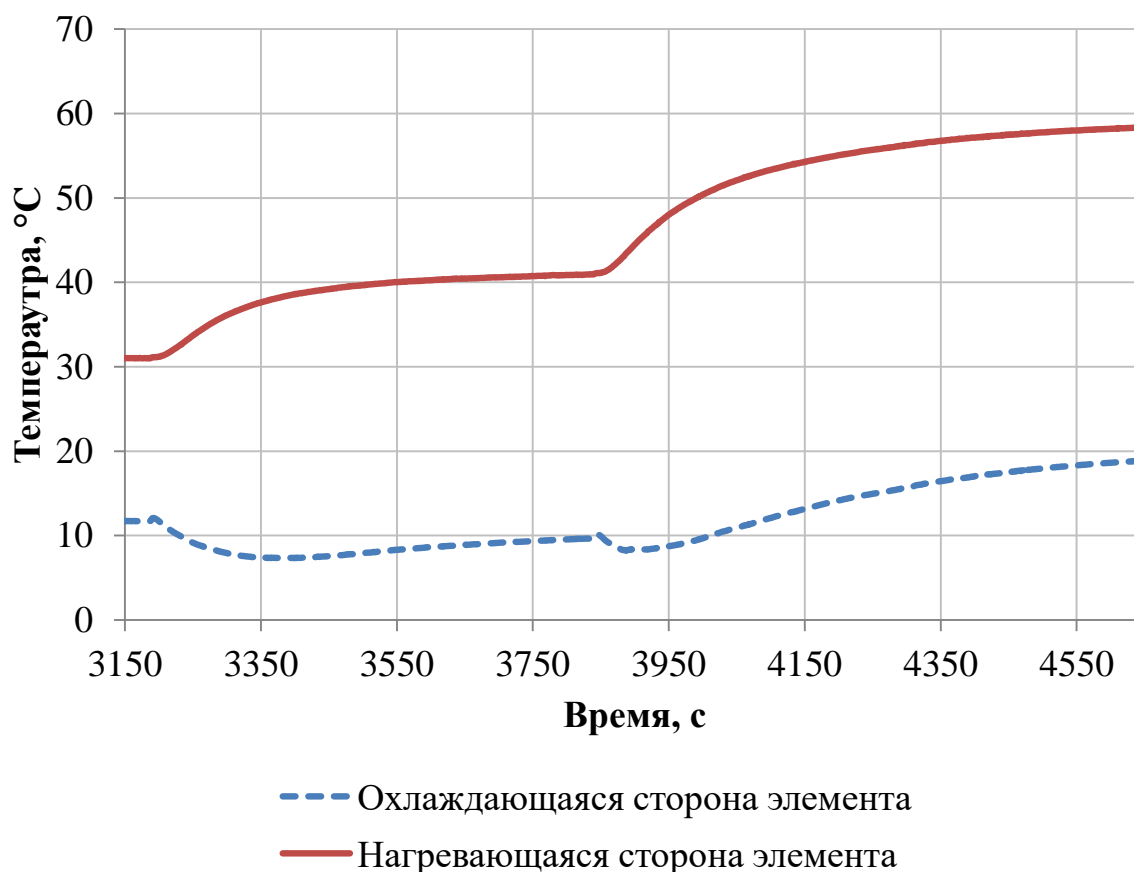


Рисунок 8. Зависимость температур сторон модуля от времени при силе тока 0,5 А, 1 А и 1,5 А

Объединим все полученные данные в таблицу 1. и сравним их с паспортными.

Ток, А	Паспортная разность температур, °C	Полученная разность температур, °C
0,5	18	19
1	32	31
1,5	43	40

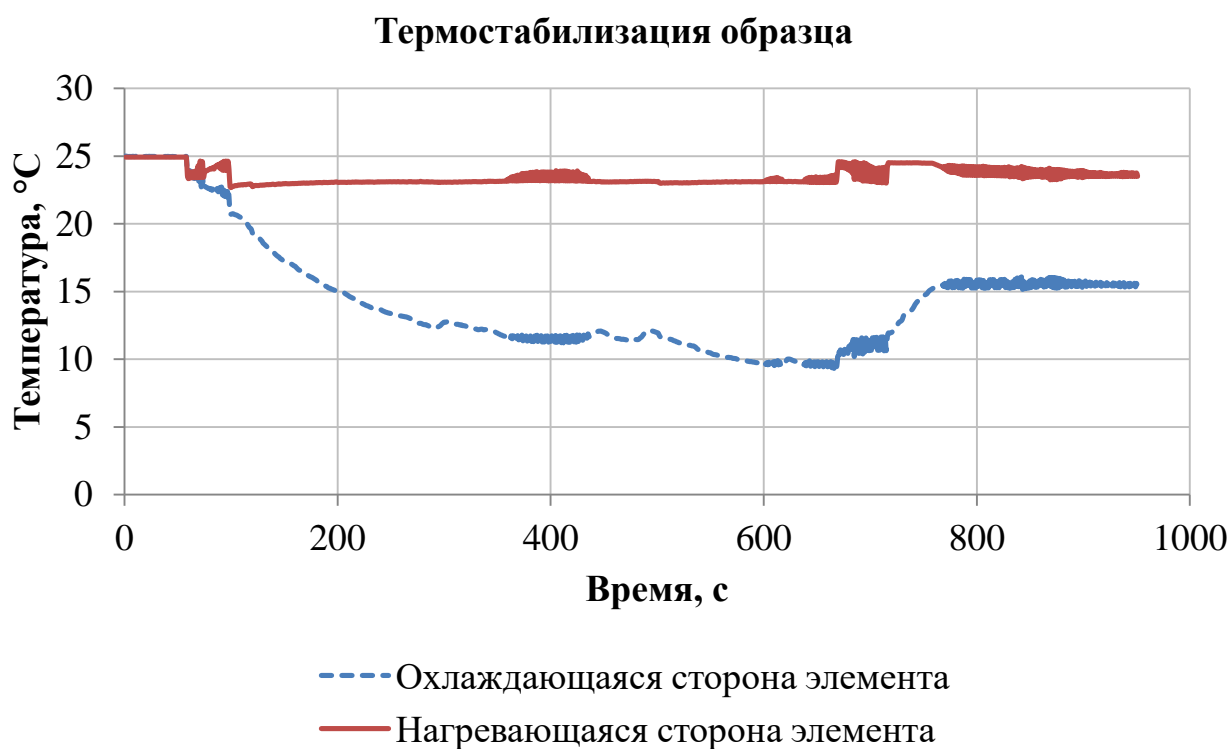
Таблица 1. Сравнение экспериментальных данных с паспортными

По таблице 1 видно, что полученные результаты хорошо согласуются с паспортными данными.

### Термостабилизация образца.

Для термостабилизации в программе стенда был реализован пропорционально-интегральный регулятор, на вход которого подавалась измеренная температура образца и задание, а выход задавал значение тока через термоэлектрический элемент.

Ввод в программу температуры, на которой надо стабилизировать наш образец приводит к включению алгоритма стабилизации. Вводимые температуры: 11 °С, 8°С, 10°С, 15°С. По данным с термодатчиков, преобразованных в температуру, в программе Excel построен график зависимости температур образца и нагреваемой поверхности термоэлектрического модуля (рис. 9). По рисунку видно, что получилось стабилизировать образец с точностью до 1°С. Более точной стабилизации препятствовали наводки на цепи измерения температуры, возникавшие в моменты коммутации тока в элементе Пельтье, что приводило к появлению шума измерений величиной около 0,5 °С.



*Рисунок 9. График термостабилизации образца*

## 5. Выводы

В ходе данной работы были выполнены все поставленные задачи. Был собран стенд для проведения эксперимента, наглядно продемонстрирована работа термоэлектрического модуля Пельтье, проведено сравнение экспериментально полученных характеристик модуля с заявленными

производителем. Получен режим термостабилизации образца на желаемой температуре.

## 6. Список литературы

1. Савельев И. В. Курс общей физики: Учеб. пособие. В 3-х т. Т. 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. 3-е изд., испр. — М.; Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. — 320 с.  
[https://scask.ru/c\\_book\\_s\\_phis3.php?id=64](https://scask.ru/c_book_s_phis3.php?id=64)
2. Развитие физики в СССР : В 2 кн. : [Сб. статей] / [Глав. ред. акад. Л. А. Арцимович]. — М.: Наука, 1967. — (Советская наука и техника за 50 лет/ АН СССР. Отд-ние общей и прикл. физики. Ин-т истории естествознания и техники). Кн. 1. — 1967. — XV, 451 с., 9 л. ил.: ил.  
[http://elib.biblioatom.ru/text/razvitiie-fiziki-v-sssr\\_kn1\\_1967/go,358/](http://elib.biblioatom.ru/text/razvitiie-fiziki-v-sssr_kn1_1967/go,358/)
3. Аппаратная платформа Arduino UNO  
<http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno>
4. программа KRYOTHERM  
<https://kryothermtec.com/ru/kryotherm-software.html>
5. Разработка термоэлектрических систем охлаждения и термостатирования с помощью компьютерной программы KRYOTHERM, Компоненты и технологии №9, 2010