

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

«Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»



Н. Н. Попок, Г. И. Гвоздь

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ТАРИРОВАНИЕ ТЕРМОПАРЫ

Методические указания

к учебно-исследовательской лабораторной работе
по дисциплине «Термодинамика и теплопередача»

для студентов специальности 1-36 07 02

«Производство изделий на основе трехмерных технологий»

Текстовое электронное издание

Новополоцк

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой

2022

УДК 621.1 (075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией
механико-технологического факультета в качестве методических указаний
(протокол № 14 от 29.06.2022)

Кафедра «Технология и оборудование машиностроительного производства»

РЕЦЕНЗЕНТ:

канд. техн. наук, доц., доц. каф. «Технология и оборудование
машиностроительного производства»

А. М. ДОЛГИХ

Для создания текстового электронного издания «Изготовление и тарирование термопары» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Николай Николаевич ПОПОК
Галина Игоревна ГВОЗДЬ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ТАРИРОВАНИЕ ТЕРМОПАРЫ

Методические указания
к учебно-исследовательской лабораторной работе
по дисциплине «Термодинамика и теплопередача»
для студентов специальности 1-36 07 02
«Производство изделий на основе трехмерных технологий»

Редактор *А. А. Прадидова*

Подписано к использованию 04.10.2022.
Объем издания: 0,81 Мб. Заказ 536.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	5
2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	5
3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЕРМОПАР	6
4. ТАРИРОВАНИЕ ТЕРМОПАР	9
5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА	11
6. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ	12
7. СТРУКТУРА ОТЧЕТА	13
8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	13
Приложение А	14

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – приобретение навыков изготовления и тарирования термопар.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Изучить принцип работы и устройство термопар.
2. Ознакомиться с методами тарирования термопар.
3. Выбрать материал термопары для измерения температур при различных условиях, изготовить термопару.
4. Произвести измерение температуры выбранной технологической системы.
5. Изучить влияние температуры холодного спая термопары на показания милливольтметра.
6. Заполнить протоколы исследований.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для измерения температуры различных объектов широко применяются термопары ввиду их надежности, высокой точности измерения, удобства монтажа и дешевизны.

Принцип действия термопар основан на свойстве металлов, сплавов и некоторых неметаллических материалов создавать термоэлектродвижущую силу (термо-ЭДС) при нагревании спая двух разнородных проводников А и В (рисунок 1).

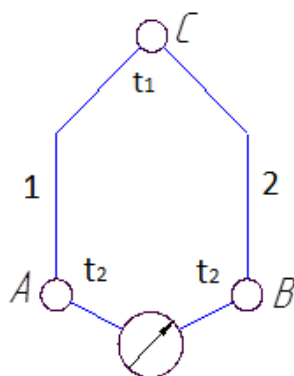


Рисунок 1. – Принципиальная схема термопары

Спай термопары С, имеющий температуру t_1 , называется рабочим (или горячим) спаем, а спаи А и В термопары, находящиеся при постоянной температуре окружающей среды t_2 , называются свободными (или холодными) спаями. Проводники 1 и 2, с помощью которых образуется термопара, называются термоэлектродами.

Если нагревать рабочий спай, а к свободным концам термопары подключить чувствительный регистрирующий прибор, например, гальванометр, потенциометр или милливольтметр, то в цепи появится электрический ток, напряжение которого составляет тысячные доли вольта (милливольты). ЭДС в такой цепи обусловлена неоднородными потенциалами в спаях с разными температурами. В этом случае измерение температуры сводится к измерению тока или напряжения электрической цепи, составленной из термопары и прибора. Следует иметь в виду, что термопара регистрирует разность потенциалов нагретых и холодных спаев, т.е. разность температур этих спаев:

$$E = S (t_1 - t_2), \quad (1)$$

где S – коэффициент Зеебека, или чувствительность термопары (Т. Зеебек – немецкий физик, открыл в 1821 году эффект термоэлектричества).

3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЕРМОПАР

Для обеспечения надежности измерения и долговечности конструкция термопары должна отвечать следующим требованиям:

- 1) сохранение механической прочности термоэлектродов при длительной эксплуатации;
- 2) обеспечение хорошего электрического контакта термоэлектродов в рабочем спае;
- 3) наличие хорошей электрической изоляции термоэлектродов один от другого по всей длине;
- 4) наличие хорошей защиты горячего спая термопары от загрязнения и разрушительного действия среды.

Для изготовления стандартных термопар применяют проволоку диаметром не менее 0,1 мм. Спаи термоэлектродов необходимо зачистить на длине 10...15 мм, скрутить или сварить электродуговым способом (рисунок 2).

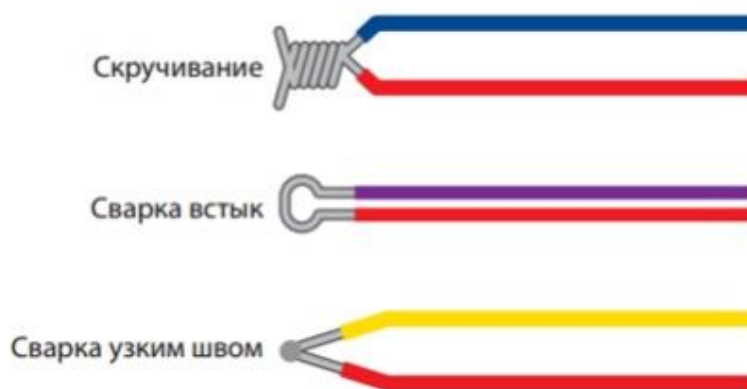


Рисунок 2. – Способы изготовления горячего спая

Термоэлектроды обычно изготавливаются из:

- чистых металлов (платина, золото, никель, медь, железо, вольфрам, молибден);
- сплавов (константан, нихром, платинородий, чугун, алюмель, копель, хромель);
- полупроводниковых материалов (уголь, карборунд).

Для исключения механических повреждений и электрического замыкания термоэлектроды размещаются в корпусе, изготавливаемом из керамических материалов.

Для повышения значений термо-ЭДС используются термоположительные и термоотрицательные термоэлектроды. Термоположительный электрод – это такой термоэлектрод, на котором при соединении его с химически чистой платиной при $t_1 > t_2$ образуется положительный потенциал по отношению к платине. Термоотрицательный электрод – это термоэлектрод, на котором при тех же условиях образуется отрицательный потенциал по отношению к платине. Например, при соединении железа с платиной при температуре рабочего конца $t_1 = 100\text{ °C}$ и свободного конца $t_2 = 0\text{ °C}$ железо имеет по отношению к платине положительный потенциал, равный $E = +1,75\text{ мВ}$. При соединении копеля с платиной при $t_1 = 100\text{ °C}$ и $t_2 = 0\text{ °C}$ на копеле образуется по отношению к платине отрицательный потенциал $E = -4,00\text{ мВ}$.

В таблице 1 приведены основные типы термопар, выпускаемые серийно, и их характеристики (ПП – термопара платинородий – платина, ХА – термопара хромель – алюмель, ХК – термопара хромель – копель). В паре материалов первым указан термоположительный электрод.

Таблица 1. – Зависимость термо-ЭДС от температуры для стандартных термопар (при температуре свободных концов 0 °C)

Температура, °C	Термо-ЭДС, мВ		
	Термопара платинородий – платина, гр. ПП	Термопара хромель – алюмель, гр. ХА	Термопара хромель – копель, гр. ХК
1	2	3	4
-50	–	–	-3,11
-20	-0,109	-0,77	-1,27
0	0	0	0
50	0,301	2,02	3,35
100	0,640	4,10	6,95

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
200	1,421	0,13	14,66
300	2,311	12,21	22,91
400	3,244	16,40	31,49
600	5,214	24,91	49,02
800	7,323	33,32	–
1000	9,569	41,32	–
1100	10,745	45,16	–
1300	13,152	–	–
1500	15,563	–	–

Наибольшее распространение получили термопары типа ХА (хромель – алюмель) и типа ХК (хромель – копель).

Зависимость термо-ЭДС этих термопар от температуры показана на рисунке 3.

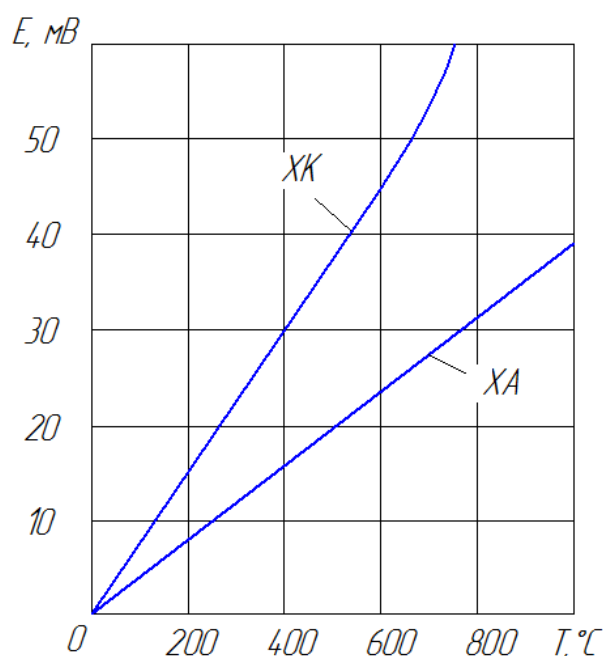


Рисунок 3. – Зависимости термо-ЭДС от температуры

Хромель-алюмелевые термопары применяют для измерения температур в пределах от –50 до 1000 °С. Они способны работать в окислительной среде, поскольку образуемая при нагреве тонкая защитная пленка препятствует проникновению кислорода внутрь металла. Зависимость термо-ЭДС от температуры для термопар ХА близка к линейной.

Хромель-копелевые термопары имеют самую высокую чувствительность, однако диапазон измеряемых температур (от -50 до 600 °C) несколько ниже, чем у термопар типа ХА. Несколько хуже у термопар типа ХК и линейность характеристики. Их достоинством является более высокая влагостойкость.

При замыкании цепи, например, милливольтметром в точках спая возникает термо-ЭДС (рисунок 4). Но если контакты электродов находятся при одинаковой температуре, то эти ЭДС компенсируют друг друга и ток не возникает. Если нагреть место горячей спайки, то возникает разница потенциалов.

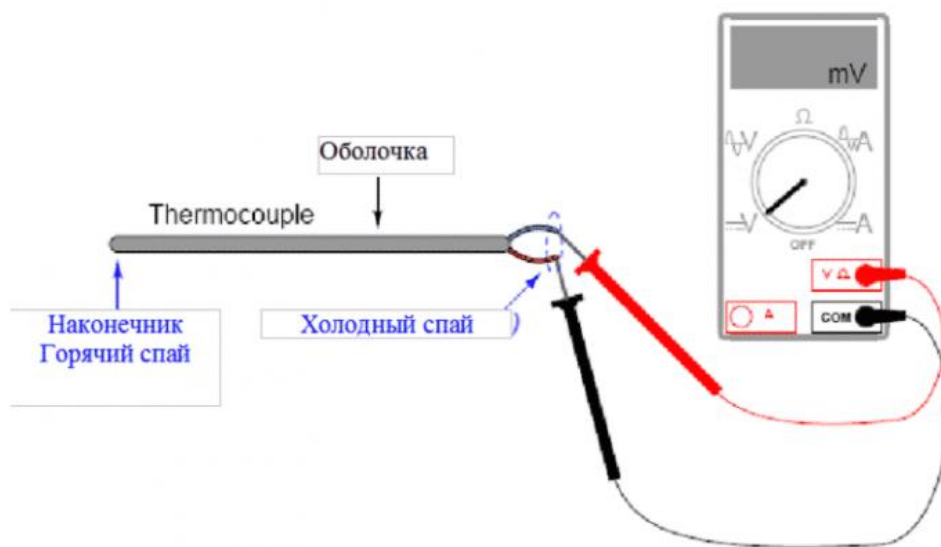


Рисунок 4. – Конструкция термопары

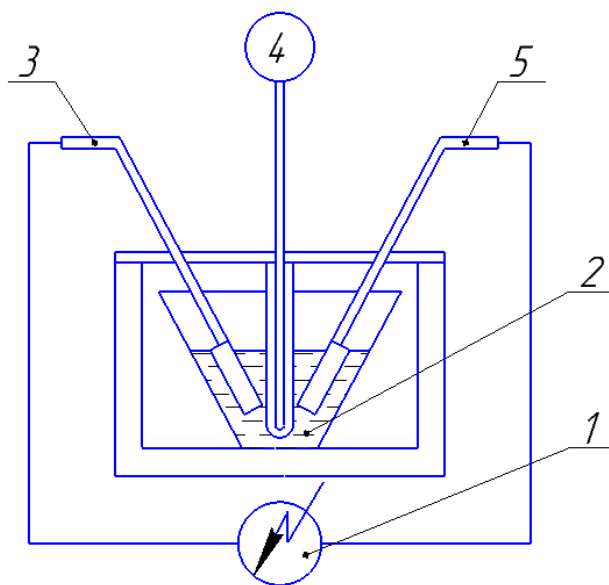
Для электрической изоляции термоэлектродов применяют изоляторы в виде трубок круглого или овального сечений одноканальных или двухканальных. Материал изоляторов – фарфор, шамот, кварц.

4. ТАРИРОВАНИЕ ТЕРМОПАР

Для перевода электрических параметров (амперы, вольты) в градусы используются специальные переводные таблицы или графики, называемые тарировочными. Тарировочные таблицы и графики составляются путем проведения специального эксперимента, который называется тарированием. Существует несколько методов тарирования термопар.

Наиболее часто применяемый на практике метод тарирования заключается в следующем. В газовой или электрической муфельной печи (рису-

нок 5) располагают графитовый тигель с жидким металлическим сплавом 2 (конкретный состав сплава тигельной ванны зависит от рабочего интервала температур). В тигель погружают термометр 4 и удлиненные образцы материалов 3 и 5, представляющие собой в контакте с жидким металлом термопару.



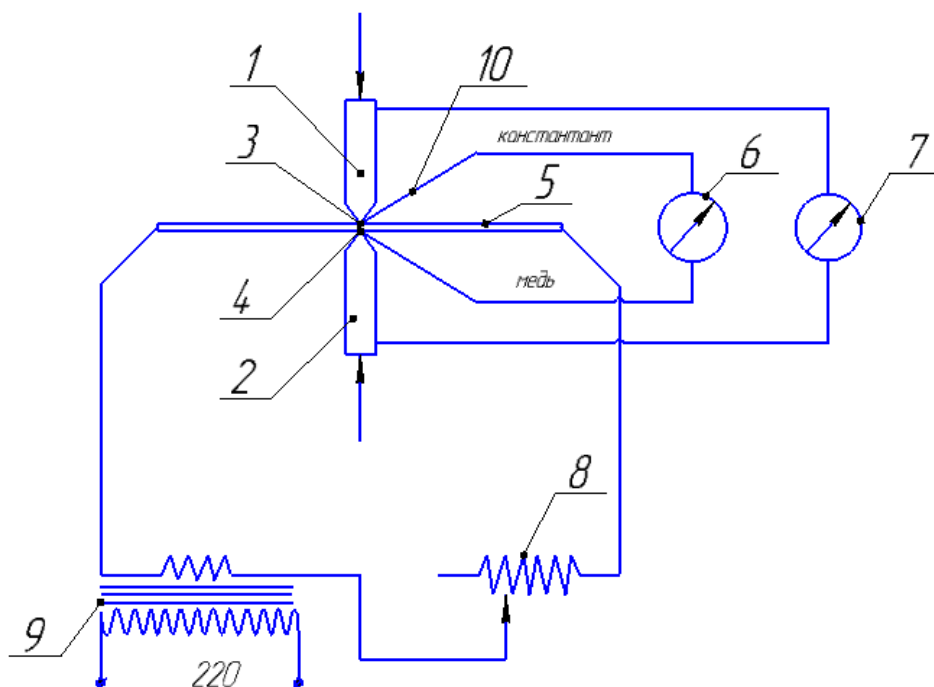
1 – милливольтметр; 2 – графитовый тигель с жидким металлическим сплавом; 3 – первый образец материала; 4 – термометр; 5 – второй образец материала

Рисунок 5. – Схема тарирования термопары в муфельной печи

К концам образцов 3 и 5 присоединяют регистрирующий прибор 1 (милливольтметр), места присоединения должны иметь постоянную (комнатную) температуру.

Нагревая (охлаждая) тигель в печи до определенной температуры, находят соответствие между температурой (термометр 4) и термо-ЭДС (милливольтметр 1) и строят по этим данным тарировочный график.

Тарирование можно также произвести электроконтактным методом. Для тарирования изготавливаются стержни из материалов 1 и 2 (рисунок 6). Стержни в специальном приспособлении с определенной силой P прижимаются к нагревательной нихромовой пластине 5. На участке сжатия стержней к нихромовому нагревателю 5 с обеих его сторон приварены пластинки 3 и 4, представляющие собой расплющенные концы константанового и медного проводов. Эти пластинки являются горячим спаем контрольной искусственной термопары 10 «медь – константан», соединенной с прибором 6. К свободным концам исследуемых стержней присоединяется милливольтметр 7.



**1, 2 – стержни; 3, 4 – пластинки; 5 – нихромовый нагреватель; 6 – прибор;
7 – милливольтметр; 8 – реостат; 9 – трансформатор; 10 – контрольная термопара**

Рисунок 6. – Схема тарирования термопары электрическим методом

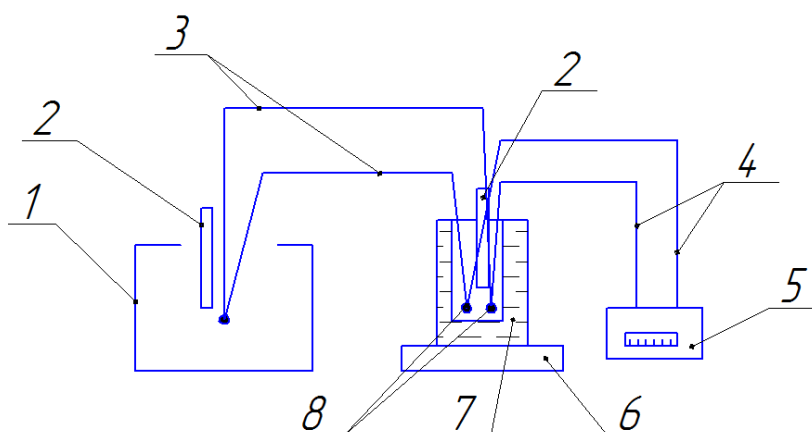
Нагрев нихромовой пластины 5 осуществляется переменным электрическим током от сети напряжением 220 вольт через трансформатор 9. Регулирование степени нагрева производится реостатом 8. Задавая разную температуру нагрева пластины и торцов тарируемых стержней, получают на приборе 7 различные значения термоэлектродвижущей силы в милливольты. Снимая показания контрольной термопары 10 по прибору 6, который может быть проградуирован в градусах Цельсия, составляют тарировочную таблицу. По данным тарировочной таблицы строится тарировочный график в координатах «милливольты – градусы».

5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Изготовить две термопары типа ХК или ХА из проволоки диаметром 0,5 мм и длиной 3000 мм, концы проволок тщательно зачистить и сварить. Горячий спай термопары изолировать керамическими изоляторами на длине 200 мм. Остальную часть термопары изолировать синтетической трубкой. К свободным концам термопары присоединить удлинительные провода. Для хорошего контакта концы проволок тщательно зачистить и изолировать изоляционной лентой.

2. Подготовленный термоэлектрический термометр подсоединить к милливольтметру и проверить его работу, для чего необходимо горячий конец термопары поднести к источнику теплоты. Если стрелка милливольтметра отклоняется, значит термоэлектрический термометр изготовлен правильно.

3. Собрать экспериментальную установку (рисунок 7), включить электропечь 1 и нагреть ее до заданной температуры. После этого произвести несколько измерений температур горячего и холодного спаев термопары 3 термоэлектрического термометра по обоим термометрам 2 и милливольтметру 5 с интервалом 5...10 мин. Затем включить электроплитку 6 и при увеличении температуры холодных спаев термопары 3 термоэлектрического термометра произвести 4...5 тех же измерений (например, при температуре холодного спаев 30, 40, 50, 60, 80 °C).



1 – электропечь; 2 – ртутный термометр; 3 – термопара; 4 – удлинительные провода;
5 – милливольтметр; 6 – электроплитка; 7 – колба с водой;
8 – холодные спаи термопары в пробирке

Рисунок 7. – Экспериментальная установка

4. Результаты измерений занести в протокол (приложение А).

6. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Хромелевая, копелевая и алюмелевая проволоки диаметром 0,5 мм.
2. Фарфоровые изоляторы. Синтетические изоляционные трубки.
3. Печь с терморегулятором.
4. Ртутный термометр – 2 шт.
5. Электроплитка (220 В).

6. Милливольтметр.
7. Удлинительные провода.
8. Колба с водой и стеклянной пробкой.

7. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название и цель работы.
2. Принцип действия термопары.
3. Описание схем тарирования термопар.
4. Схема установки для проведения эксперимента.
5. Протокол исследований.
6. Выводы.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова суть явления термоэлектричества?
2. Достоинства и недостатки термопар.
3. Чему равна результирующая термо-ЭДС термопары?
4. Какие материалы используются для изготовления термопар?
5. Какие термопары и почему получили наибольшее распространение на практике?
6. Каковы диапазоны измерения температуры различными термопарами?
7. В чем заключается суть тарирования термопары.
8. Опишите схему тарирования термопары в муфельной печи.
9. Опишите схему тарирования термопары электронным методом.
10. Опишите последовательность проведения эксперимента.

Протокол исследований

Показания		
Термометра		Милливольтметра, мВ
в печи (горячий спай), °С	в пробирке (холодные спаи), °С	