РАБОТА № 1.

ГРАДУИРОВКА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ

**1.ЦЕЛЬ РАБОТЫ.**

Поверка термоэлектрических термометров (термопар) и определение соответствия градуировоч­ной характеристики поверяемой термопары стандартных градуировочных характеристик.

**2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.**

Принцип действия термопары основан на возникновении термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС), связанной с явлением термоэлектричества.

Термопара состоит из разнородных проводников (термоэлектродов), соединённых (сварных) с одного конца, называемого рабочим. Рабочий конец погружается в среду, температура которой измеря­ется. К другому концу термопары, называемому свободным, присоединяются провода к прибору, изме­ряющему термо-ЭДС термопары. Если температура рабочего и свободного концов термопары различ­ны, то в термопаре возникает термо-ЭДС.

В соответствии с эффектом Зеебека величина разности потенциалов оказывается пропорцио­нальной разности температур спаев термоэлектрической цепи

  (1)

или в дифференциальной форме



где E- термо-ЭДС

- коэффициент пропорциональности, зависящий от материала термоэлектродов [B/K]

Температура свободных концов обоих термоэлектродов должна быть одинакова. Удобно поддерживать её равной нулю. Допустимо поддерживать температуру свободных концов и не равно нулю, но непременно одинаковую для обоих свободных концов.

Для измерения температур до 1300 °С используют в основном термопары из неблагородных металлов (никельхром - никельалюминиевая), а для измерения температур до 1600 °С - применяют термопары из благородных металлов платиновой группы, и, наконец, для измерения температур более 1600 °С - различные термопары, изготовленные из очень жароупорных материалов (вольфрамрений (5%); вольфрам-ренивая (20%)).

К материалам, используемым для изготовления термоэлектрических термометров, предъявляется ряд требований: жаростойкость, жаропрочность, химическая стойкость, воспроизводимость, стабильность, однозначность и линейность градуировочной характеристики и ряд других. Среди них есть обязательные и желательные требования. К числу обязательных требований относятся стабильность градуировочной характеристики и воспроизводимость в необходимых количествах материалов, обладающих вполне определёнными термоэлектрическими свойствами.

Рабочий спай термоэлектрического термометра чаще всего изготавливается путём сварки, в от­дельных случаях применяют пайку, а для вольфрам-рениевых - скрутку.

Для защиты термоэлектродов от воздействия измеряемой среды их помещают в защитный че­хол из газонепроницаемых материалов, выдерживающих необходимые высокие температуры и давления среды. Защитные чехлы чаще всего изготавливают из различных марок стали для температур до 1000 °С.

Большое распространение в последнее время получают термоэлектрические термометры кабель­ного типа. Они представляют собой два термоэлектрода, помещённые в тонкостенную оболочку. Про­странство между термоэлектродами и оболочкой заполняется специальной изолирующей засыпкой (порошок  или ). Оболочка изготавливается из нержавеющей или жаропрочной стали. На­ружный диаметр оболочки - от 0.5 до 6 мм. (ГОСТ 23847 - 79), длина - до 25 м. Выпускаются хромель-алюмилевые и хромель-копелевые термопреобразователи с изолированными или неизолированными спаями. Существенным преимуществом термометров кабельного типа является их радиационная стой­кость, позволяющая им работать в энергетических реакторах АЭС, а также повышенная стойкость к тепловым ударам, вибрации и механическим нагрузкам.

В соответствии с государственным стандартом применяются девять типов термоэлектрических преобразователей

(в таблице1 представлены три типа термопар).

Допускаемые отклонения измеряемых значений термоэлектродвижущей силы  от градуировочных характеристик определяются из выражения

  (2)

где t – температура рабочего конца термометра, С°,

 - коэффициент преобразования термометра, определяемый на основе его градуировочной характеристики,

 а,b,с -коэффициенты, определяемые из таблицы I.

Схема экспериментальной установки для проверки термоэлектрических преобразователей пока­зана на рис. I, где 1 - термостат типа ТС-24, 2 - электроконтактный термометр типа ТПК, 3 - образцовый термометр ртутный типа ТР-П, 4 - переключатель многопозиционный, 5 - переносной потенциометр типа Р4833, 6 - сосуд Дьюара, 7 - свободные концы исследуемых термопар, 8 - рабочие концы ис­следуемых термопар. В качестве проверяемых термопар используются три типа термопар: медькопелевая, хромель-копелевая, никельхром-никельалюминиевая К. Рабочие концы термопар установлены в термостате типа ТС-24 (рабочая среда в термостате - вода), а свободные концы термопар помещены в сосуд Дьюара, где поддерживается температура равная 0 °С (рабочая среда - тающий лёд) .Термо-ЭДС каждой термопары измеряется с помощью лабораторного потенциометра типа Р4833 класса 0,05. Под­ключение термопар к потенциометру 5 производится с помощью многопозиционного переключателя 4.

**3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**.

1.Проверка термопар производится в интервале температур от 15° С до 100° С в десяти тем­пературных точках.

Проверяемые температурные точки задаются преподавателем.

2.Установить на электроконтактном термометре 2 начальную проверяемую температурную точку и включить термостат 1. В термостате будет автоматически поддерживаться установленная на ТПК температура. Через 3 минуты, после того, как установится температура, произвести потенциометром измерения термо-ЭДС всех термопар. Температуру воды в термостате определить по ртутному термометру 3. Результаты измерений занести в таблицу по форме

 *Таблица №1*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| п/п |  | E1 | t1 |  | E2 | t2 |  | Е3 | t3 |  |
| 1 | 20 | 0 |  |  | 0,05 |  |  | 0,05 |  |  |
| 2 | 25 | 0,17 |  |  | 0,2 |  |  | 0,25 |  |  |
| 3 | 30 | 0,32 |  |  | 0,4 |  |  | 0,5 |  |  |
| 4 | 35 | 0,5 |  |  | 0,56 |  |  | 0,84 |  |  |
| 5 | 40 | 0,7 |  |  | 0,8 |  |  | 1,1 |  |  |
| 6 | 45 | 0,8 |  |  | 0,97 |  |  | 1,35 |  |  |

где to - температура среды, определяемая по ртутному термометру, оС,

E1, E2, E3 - термо-ЭДС поверяемых термопар, мВ,

 t1, t2, t3- температура среды, измеренная поверяемыми термопарами (находится по табл. 2,3,4) °С,

- допускаемые отклонения измеряемых термо-ЭДС (на­ходятся по формуле (2)).

3. Выполнить пункт 2 для всех последующих поверяемых температурных точек.

4.Построить для каждой поверяемой термопары градуировочную кривую Е = f(t).

5.Определить для каждой термопары и для каждой поверяемой температурной точки отклоне­ние термо-ЭДС от стандартных градуировочных таблиц (табл.3,4) и сопоставить их с величинами допускаемых отклонений. Отклонения термо-ЭДС термопар находятся по формуле



где Ест - стандартное градуировочное значение термо-ЭДС, мВ,

 Е - измеренное значение термо-ЭДС, мВ.

6.Выполнить статистическую обработку результатов измерений.

**4. ОТЧЁТ**

Отчёт должен содержать: схему экспериментальной установки, результаты выполненных экс­периментов (в виде таблиц), градуировочные кривые для каждой термопары, расчёты допустимых от­клонений и отклонений термо-ЭДС термопар от стандартных градуировочных таблиц с соответствую­щим их сопоставлением.

**5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**.

1. С помощью каких устройств поверяются термопары?

2 Можно ли проводить поверку термопар при температуре свободных концов, не равной 0 °С?

3. Какие типы термоэлектрических преобразователей применяются в соответствии с государ­ственным стандартом?

*Таблица 2. Термоэлектрические преобразователи*.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Рабочий диапазон | a,°С | b,°С | с, °С |
| Медь-копелевая | -200-00- 100 | 1.3 | -1.1 0 | 00 |
| Хромель-копелевая | -50 - 300300 - 800 | 2.5 | 06 | 0300 |
| Никельхром-никельалюминевая | -200± -100-100-400400-1300 | 4 | -10 0 7.5 | -1000400 |

 *Таблица 3. Градуировочная характеристика хромель-копелевои термопары*

|  |  |
| --- | --- |
| Темпера тура рабо­чего конца, | Термоэлектродвижущая силамВ |
| °С | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | ,646 | 0,711 | 0,776 | 0,841 | 0,907 | 0,973 | 1,039 | 1,105 | 1,171 | 1,237 |
| 20 | ,303 | 1,37 | 1,437 | 1,504 | 1,571 | 1,638 | 1,705 | 1,772 | 1,84 | 1,908 |
| 30 | ,976 | 2,044 | 2,112 | 2,18 | 2,248 | 2,316 | 2,384 | 2,452 | 2,52 | 2,589 |
| 40 | ,658 | 2,727 | 2,796 | 2,865 | 2,934 | 3,003 | 3,072 | 3,141 | 3,210 | 3,280 |
| 50 | ,350 | 3,420 | 3,490 | 3,56 | 3,63 | 3,7 | 3,77 | 3,84 | 3,91 | 3,98 |
| 60 | ,05 | 4,121 | 4,192 | 4,263 | 4,334 | 4,405 | 4,476 | 4,547 | 4,618 | 4,689 |
| 70 | ,76 | 4,831 | 4,902 | 4,973 | 5,044 | 5,115 | 5,186 | 5,257 | 5,327 | 5,398 |
| 80 | ,469 | 5,54 | 5,611 | 5,682 | 5,753 | 5,824 | 5,895 | 5,966 | 6,037 | 6,108 |
| 90 | ,179 | 6,25 | 6,322 | 6,394 | 6,466 | 6,538 | 6,61 | 6,682 | 6,754 | 6,826 |
| 100 | ,898 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

*Таблица 4. Градуировочная характеристика медь-копелевой термопары.*

|  |  |
| --- | --- |
| Тем-перату ра ра­бочего конца °С | Термоэлектродвижущая сила, мВ |
|  | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 0.431 | 0.475 | 0.519 | 0.563 | 0.606 | 0.651 | 0.695 | 0.739 | 0.783 | 0.828 |
| 20 | 0.872 | 0.917 | 0.962 | 1.006 | 1.051 | 1.096 | 1.142 | 1.187 | 1.232 | 1.277 |
| 30 | 1.323 | 1.368 | 1.414 | 1.46 | 1.506 | 1.552 | 1.598 | 1.644 | 1.690 | 1.736 |
| 40 | 1.783 | 1.829 | 1.876 | 1.922 | 1.969 | 2.016 | 2.063 | 2.110 | 2.157 | 2.204 |
| 50 | 2.253 | 2.229 | 2.346 | 2.394 | 2.441 | 2.489 | 2.537 | 2.585 | 2.633 | 2.681 |
| 60 | 2.729 | 2.777 | 2.826 | 2.874 | 2.922 | 2.971 | 3.020 | 3.068 | 3.117 | 3.166 |
| 70 | 3.215 | 3.264 | 3.313 | 3.326 | 3.412 | 3.461 | 3.51 | 3.56 | 3.61 | 3.659 |
| 80 | 3.709 | 3.759 | 3.809 | 3.859 | 3.909 | 3.959 | 4.009 | 4.060 | 4.110 | 4.16 |
| 90 | 4.211 | 4.262 | 4.312 | 4.363 | 4.414 | 4.465 | 4.516 | 4.567 | 4.618 | 4.669 |
| 100 | 4.721 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

*Таблица 5. Градуировочная характеристика никельхром-никельалюминиевои*

|  |  |
| --- | --- |
| Температура рабочего конца,°С | Термоэлектродвижущая сила К |
|  | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5' | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 0.397 | 0.437 | 0.477 | 0.517 | 0.557 | 0.597 | 0.637 | 0.677 | 0.718 | 0.75 |
| 20 | 0.798 | 0.838 | 0.879 | 0.919 | 0.960 | 1.00 | 1.041 | 1.081 | 1.122 | 1.162 |
| 30 | 1.203 | 1.244 | 1.285 | 1.325 | 1.366 | 1.407 | 1.448 | 1.489 | 1.529 | 1.57 |
| 40 | 1.611 | 1.652 | 1.693 | 1.734 | 1.776 | 1.817 | 1.858 | 1.899 | 1.940 | 1.98 |
| 50 | 2.022 | 2.064 | 2.105 | 2.146 | 2.188 | 2.229 | 2.270 | 2.312 | 2.353 | 2.39 |
| 60 | 2.436 | 2.477 | 2.519 | 2.56 | 2.601 | 2.643 | 2.684 | 2.736 | 2.767 | 2.80 |
| 70 | 2.85 | 2.892 | 2.933 | 2.975 | 3.016 | 3.058 | 3.1 | 3.141 | 3.183 | 3.22 |
| 80 | 3.226 | 3.307 | 3.349 | 3.39 | 3.432 | 3.473 | 3.515 | 3.556 | 3.598 | 3.63 |
| 90 | 3.681 | 3.722 | 3.764 | 3.805 | 3.847 | 3.888 | 3.93 | 3.971 | 4.012 | 4.05 |
| 100 | 4.095 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



Рис.1. Схема экспериментальной установки для поверки термопар.

1-термостат типа ТС-24, 2-электроконтактный термометр типа ТПК, 3-образцовый термометр ртутный типа ТР-П, 4-переключатель многопозиционный, 5-переносной потенциометр типа Р4833, 6-сосуд Дьюара, 7-свободные концы исследуемых термопар,

8-рабочие концы исследуемых термопар