

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П.Королева

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭДС ТЕРМОПАРЫ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Методические указания
к лабораторной работе

Самара 2006

Составитель: Т.А.Сандиминова.

УДК 531.001

Изучение зависимости ЭДС термопары от температуры: Метод. указания к лаб.работе / Самарский Гос. Аэрокосмический ун-т им. ак. С.П.Королева
Сост. Т.А.Сандиминова. Самара 2006. 14с.

Методические указания содержат: краткие теоретические сведения о контактной разности потенциалов, термоэлектродвижущей силе, устройстве термопары и способе её градуировки; порядок выполнения лабораторной работы и обработки полученных результатов; перечень вопросов, необходимых для самостоятельной подготовки студентов; перечень рекомендуемой литературы.

Лабораторная работа предназначена для студентов дневного и вечернего отделений ИЭТ СГАУ для специальностей:

160301 - менеджмент организации;

080507 - авиационные двигатели и энергетические установки.

Работа подготовлена на кафедре общинженерной подготовки института энергетики и транспорта.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С.П.Королева.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭДС ТЕРМОПАРЫ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы

В процессе изучения методических указаний и выполнения измерений студентами должны быть решены следующие основные задачи:

- ознакомление с краткой теорией явления возбуждения термоэлектрического тока;
- ознакомление с методом экспериментального определения удельной термо-э.д.с. термопары;
- проведение градуировки термопары;
- экспериментальное определение удельной термо-э.д.с. термопары;
- оценка результатов измерения.

1. Средства измерения и вспомогательные устройства

При выполнении измерений должны быть применены:

- плитка электрическая;
- сосуд с водой;
- термопара;
- термометры для измерения температуры воздуха и воды;
- милливольтметр.

2. Теоретическая часть

2.1. Термоэлектрические явления

Явления возбуждения термоэлектрического тока (явление Зеебека), а также тесно связанные с ним явления Пельтье и Томсона называются *термоэлектрическими явлениями*.

В настоящей работе изучается явление Зеебека.

2.1.1. Явление Зеебека. Немецкий физик Т. Зеебек обнаружил, что если спаи двух разнородных металлов, образующих замкнутую цепь, поддерживать при неодинаковых температурах, то в цепи проводника действует э.д.с., называемая *термоэлектродвижущей силой*, и возникает электрический ток, называемый *термоэлектрическим*.

Возникновение термо-э.д.с. обусловлена зависимостью уровня Ферми от температуры и диффузией электронов (или дырок).

2.1.2. Явление Пельтье. Французский физик Ж. Пельтье обнаружил, что при прохождении через контакт двух различных проводников электрического тока в зависимости от его направления помимо джоулевой теплоты выделяется или поглощается дополнительная теплота. Таким образом, явление Пельтье является обратным по отношению к явлению Зеебека. В отличие от джоулевой теплоты, которая пропорциональна квадрату силы тока, теплота Пельтье пропорциональна первой степени силы тока и меняет знак при изменении направления тока.

Явление Пельтье используется в термоэлектрических полупроводниковых холодильниках, созданных впервые в 1954 г. под руководством А. Ф. Иоффе, и в некоторых электронных приборах.

2.1.3. Явление Томсона. Вильям Томсон (лорд Кельвин) исследуя термоэлектрические явления, пришел к заключению, подтвердив его экспериментально, что при прохождении тока по неравномерно нагретому проводнику должно происходить дополнительное выделение (поглощение) теплоты, аналогичной теплоте Пельтье. Это явление получило название явления Томсона.

2.2. Контакт двух металлов по зонной теории

Рассмотрим явление возникновения термо-э.д.с. с точки зрения зонной теории твердого тела.

Если два различных металла привести в соприкосновение, то между ними возникает разность потенциалов, называемая *контактной разностью потенциалов*. Итальянский физик А. Вольта установил, что если металлы Al, Zn, Sn, Pb, Sb, Bi, Hg, Fe, Cu, Ag, Au, Pt, Pd привести в контакт в указанной последовательности, то каждый предыдущий при соприкосновении с одним из следующих зарядится положительно. Этот ряд называется *рядом Вольты*. Контактная разность потенциалов для различных металлов составляет от десятых до целых вольт.

Вольта экспериментально установил два закона:

1. Контактная разность потенциалов зависит лишь от химического состава и температуры соприкасающихся металлов.

2. Контактная разность потенциалов последовательно соединенных различных проводников, находящихся при одинаковой температуре, не зависит от химического состава промежуточных проводников и равна контактной разности потенциалов, возникающей при непосредственном соединении крайних проводников.

Для объяснения возникновения контактной разности потенциалов воспользуемся представлениями зонной теории. Рассмотрим контакт двух металлов с различными работами выхода A_1 и A_2 , т. е. с различными положениями уровня Ферми (верхнего заполненного электронами энергетического уровня). Если $A_1 < A_2$ (этот случай изображен на рис. 1, а), то уровень Ферми располагается в металле 1 выше, чем в металле 2.

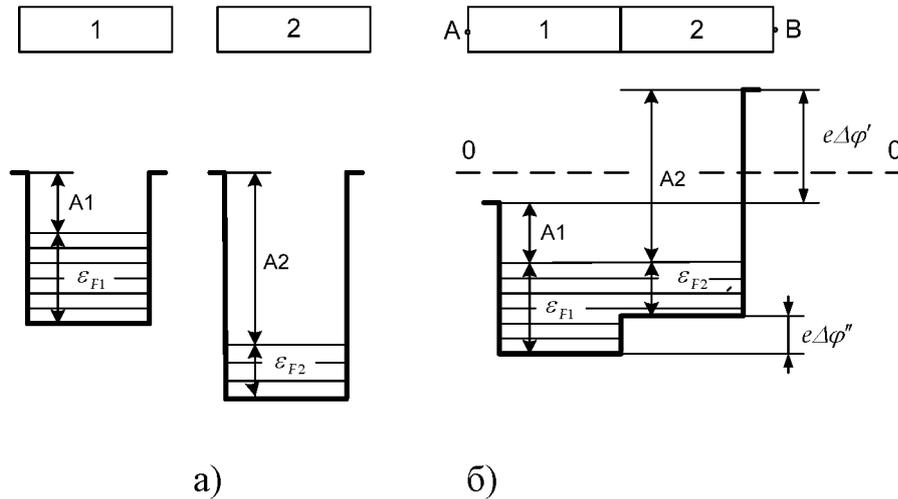


Рис.1

Следовательно, при контакте металлов электроны с более высоких уровней металла 1 будут переходить на более низкие уровни металла 2, что приведет к тому, что металл 1 зарядится положительно, а металл 2 - отрицательно. Одновременно происходит относительное смещение энергетических уровней: в металле, заряжающемся положительно, все уровни смещаются вниз, а в металле, заряжающемся отрицательно, - вверх. Этот процесс будет происходить до тех пор, пока между соприкасающимися металлами не установится равновесие, которое, как доказывается в статистической физике, характеризуется совпадением уровней Ферми в обоих металлах (рис.1,б).

Так как для соприкасающихся металлов уровни Ферми совпадают, а работы выхода A_1 и A_2 не изменяются (они являются константами металлов и не зависят от того, находятся металлы в контакте или нет), то потенциальная энергия электронов в точках, лежащих вне металлов в непосредственной близости к их поверхности (точки A и B на рис.1,б), будет различной. Следовательно, между точками A и B устанавливается разность потенциалов, которая, как следует из рисунка, равна:

$$\Delta\phi' = (A_2 - A_1)/e. \quad (1)$$

Разность потенциалов, обусловленная различием работ выхода контактирующих металлов, называется внешней контактной разностью потенциалов. Чаще говорят просто о контактной разности потенциалов, подразумевая под ней внешнюю.

Если уровни Ферми для двух контактирующих металлов не одинаковы, то между внутренними точками металлов наблюдается внутренняя контактная разность потенциалов, которая, как следует из рисунка, равна

$$\Delta\phi'' = (\varepsilon_{F1} - \varepsilon_{F2})/e. \quad (2)$$

В квантовой теории доказывается, что причиной возникновения внутренней контактной разности потенциалов является различие концентраций электронов в контактирующих металлах. Величина $\Delta\phi''$ зависит от температуры t контакта металлов (т.к. наблюдается зависимость ε_F от t), обуславливая термоэлектрические явления. Как правило, $\Delta\phi'' < \Delta\phi'$.

Если, например, привести в соприкосновение три разнородных

проводника, имеющих одинаковую температуру, то разность потенциалов между концами разомкнутой цепи равна алгебраической сумме скачков потенциала во всех контактах. Можно показать, что она не зависит от природы промежуточных проводников (второй закон Вольты).

Внутренняя контактная разность потенциалов возникает в двойном электрическом слое, образующемся в приконтактной области и называемом контактным слоем. Толщина контактного слоя в металлах составляет примерно 10^{-10} м, т. е. соизмерима с междоузельными расстояниями в решетке металла. Число электронов, участвующих в диффузии через контактный слой, составляет примерно 2% от общего числа электронов, находящихся на поверхности металла. Столь незначительное изменение концентрации электронов в контактном слое, с одной стороны, и малая по сравнению с длиной свободного пробега электрона его толщина — с другой, не могут привести к заметному изменению проводимости контактного слоя по сравнению с остальной частью металла. Следовательно, электрический ток через контакт двух металлов проходит так же легко, как и через сами металлы, т. е. контактный слой проводит электрический ток в обоих направлениях (1→2 и 2→1) одинаково и не дает эффекта выпрямления, который всегда связан с односторонней проводимостью.

Согласно второму закону Вольты, в замкнутой цепи, состоящей из нескольких металлов, находящихся при одинаковой температуре, э.д.с. не возникает. Однако если температура контактов не одинакова, то в цепи возникает электрический ток.

Причина возникновения термоэлектродвижущей силы ясна из формулы (2), определяющей внутреннюю контактную разность потенциалов на границе двух металлов. Дело в том, что положение уровня Ферми зависит от температуры. Поэтому если температуры контактов разные, то разными будут и внутренние контактные разности потенциалов. Таким образом, сумма скачков потенциала отлична от нуля, что и приводит к возникновению термоэлектрического тока. Отметим также, что при градиенте температуры происходит и диффузия электронов, которая тоже обуславливает термо-э.д.с. Термоэлектродвижущая сила ε_t складывается из суммы скачков потенциалов в контактах ε_K и суммы изменений потенциала, вызванных диффузией носителей тока ε_D .

Если разность температур спаев невелика, то значения ε_t для многих пар металлов (например, Cu-Bi, Ag-Cu, Au-Cu) оказываются пропорциональными этой разности температур: $\varepsilon_t = \alpha_{AB}(t_1 - t_2)$.

Величину α_{AB} называют *удельной термо-э.д.с.* пары металлов (или полупроводников). Для большинства металлов $\alpha_{AB} = 10^{-5} \div 10^{-4}$ В/К. На практике удельная термо-э.д.с. часто называется *постоянной термопары* и обозначается буквой С.

2.3. Термопары

Явление Зеебека используется в устройствах, применяемых для измерения температур (термопарах). *Термопара* представляет собой замкнутую цепь, которая составлена из двух проводников, изготовленных из различных металлов 1 и 2, называемых *термоэлектродами* (рис.2).

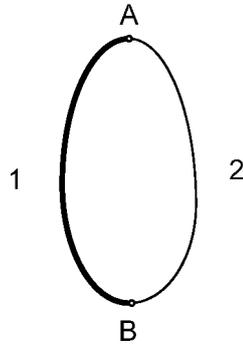


Рис.2

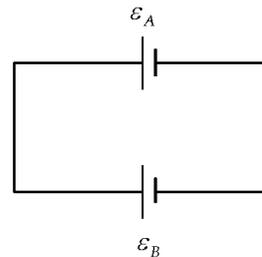


Рис.3

Зоны их электрического соединения называются *спаями* термопары.

Пока температура спаев одинакова, контактные разности потенциалов, возникающие в спаях А и В, равны между собой. Эквивалентная схема этой цепи представлена на рис.3. Контактная э.д.с. спаев изображена в виде двух одинаковых элементов включенных навстречу друг другу. Ток в такой цепи, естественно, равен нулю, т.к. $\varepsilon_A = -\varepsilon_B$.

Если спаи А и В поддерживать при разных температурах, то возникающие в контактах разности потенциалов перестанут быть одинаковыми. В такой цепи результирующая э.д.с. оказывается отличной от нуля и вызывает появление тока.

Измерительный прибор П включается в разрыв одного из проводников, образующих термопару (рис.4).

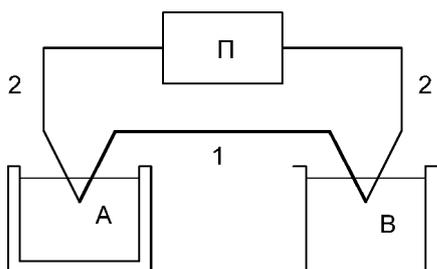


Рис.4

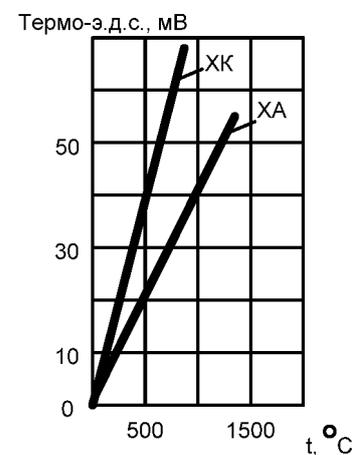


Рис.5

При измерениях один из спаев термопары, например А, поддерживают при постоянной температуре (например, $t = 0^{\circ}\text{C}$), а второй спай приводится в тепловой контакт с исследуемым телом.

Величина термо-э.д.с. определяется разностью э. д. с. спаев А и В:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_B - \varepsilon_A = \varepsilon_{t^{\circ}\text{C}} - \varepsilon_{0^{\circ}\text{C}},$$

т. е. зависит только от температуры исследуемого тела.

Характеристика термопары – зависимость термо-э.д.с. от разности температур ее спаев $\varepsilon_t = f(\Delta t)$. Градуировочные характеристики термопар: хромель – алюмель (ХА), хромель – копель (ХК) и др. даны в ГОСТ 3044-77 (см. рис.5). Обычно для градуировки термопар используют некоторые заранее известные температурные значения, например температуру таяния льда, кипения воды, плавления чистых металлов. Во время градуировки один спай термостатируется, например, в сосуде Дьюара с тающим льдом, а второй поочередно погружается в сосуды, в которых создана известная температура.

В таблице 1 даны термоэлектродвижущие силы в вольтах для некоторых пар металлов при разности температур спаев в 100°C . Знак «+» обозначает, что ток идет через нагретый спай от первого металла ко второму.

Таблица 1

Медь-железо	+0,0010
Медь-константан	-0,0047
Серебро-константан	-0,0041
Серебро-никель	-0,0024

Чувствительность термопар выше, если их соединять последовательно. Эти соединения называются термобатарейми (или термостолбиками).

Применение термопар. Термопары применяются как для измерения ничтожно малых разностей температур, так и для измерения очень высоких и очень низких температур (например, для измерения температуры газа за турбиной реактивного двигателя, температуры компонентов топлива самолетов и ракет). Точность определения температуры с помощью термопар составляет, как правило, несколько кельвин, а у некоторых термопар достигает $0,01\text{ K}$. Термопары широко применяют в регуляторах температуры и в приборах, в которых изменение измеряемой неэлектрической величины (например, скорости потока воздуха) преобразуется в изменение температуры, на которое затем и реагирует термопара.

Термопары позволяют проводить измерения в широком интервале температур и допускают дистанционные измерения. К достоинствам термопар можно отнести простоту конструкции и надежность в эксплуатации.

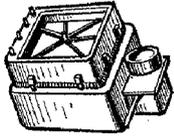
Термопары обычного исполнения обладают инерционностью (от нескольких секунд до нескольких минут), зависящей от конструкции термопары и свойств среды, в которой проводят измерения.

Погрешности термопар. Практически термоэлектрод в отношении своих термоэлектрических свойств неоднороден по всей длине. Поэтому при неравномерном нагревании его отдельных мест образуется дополнительная термо-э.д.с. Возникновение паразитных термо-э.д.с. вносит некоторые погрешности в показания прибора.

Термоэлемент как тепловая машина. Явление Зеебека не противоречит второму началу термодинамики, так как в данном случае внутренняя энергия преобразуется в электрическую, для чего используется два источника теплоты (два контакта). Следовательно, для поддержания постоянного тока в рассматриваемой цепи необходимо поддерживать постоянство разности температур контактов: к более нагретому контакту непрерывно подводить теплоту, а от холодного — непрерывно ее отводить. Таким образом, термоэлемент представляет собой тепловую машину, преобразующую тепловую энергию в энергию электрического тока. Горячий спай играет роль, аналогичную котлу или нагревателю паровой машины, а холодный спай играет роль охладителя. Если к горячему спаю, находящемуся при температуре T_1 , мы подводим количество теплоты Q_1 , то часть этого тепла Q_2 перейдет к холодному спаю, находящемуся при температуре T_2 , а разность $Q_1 - Q_2$ преобразуется в энергию тока. Коэффициент полезного действия термоэлемента, т.е. доля подводимого тепла, преобразуемая в электрическую форму энергии, $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$. В случае отсутствия потерь $\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$.

Явление Зеебека в принципе может быть использовано для генерации электрического тока. Металлические термоэлементы непригодны в качестве технических генераторов тока вследствие того, что их к.п.д. не превышает 0,5%. Однако термо-э.д.с. может возникать также в цепях, содержащих места соприкосновения металлов с некоторыми специально изготовленными полупроводниками. Полупроводниковые термопары, составленные из полупроводниковых стержней (графита, карбида, борида, теллура и др.) с различным характером проводимости (типа p и n), соединенных металлическим мостиком, позволяют получать в сотни раз большие термо-э.д.с. при той же разности температур, чем у термопар, выполненных из металлов. Сейчас к.п.д. полупроводниковых термопар достигает 18%. Следовательно, совершенствуя полупроводниковые термоэлектрогенераторы, можно добиться эффективного прямого преобразования тепловой энергии в электрическую.

С думой о воинах невидимого фронта создавал свой «партизанский котелок» в разгар войны академик А. Ф. Иоффе. В этом котелке особой конструкции (рис.6) был смонтирован простейший термогенератор, собранный из нескольких десятков термопар (сурьмянистый цинк — константан). В котелок наливали воду и помещали над костром. Спаи термопар, находящиеся с внешней стороны в его дне, нагревались пламенем костра, а другие — внутренние — оставались по отношению к ним холодными (они имели температуру воды). И хотя разность температур спаев была невелика (всего 250—300 °С), она оказывалась достаточной для



выработки электроэнергии, необходимой для питания радиопередатчиков и радиоприемников. Тем самым «котелки» помогли обеспечить партизанам радиосвязь [Тридцатилетие великой победы.- Физика в школе, 1975, №3, с.3-13.]

Рис.6

2.4. Метод измерения

В настоящей работе предлагается проградуировать термопару, т.е. получить характеристику термопары – зависимость ее термо-э.д.с. от разности температур ее спаев $\varepsilon_t = f(\Delta t)$, и определить удельную термо-э.д.с. термопары.

Проградуировать термопару можно разными методами.

1 метод. Горячий спай термопары находится в сосуде с водой, а холодный – в коробочке на панели. Температура горячего спая равна температуре воды, а холодного спая - температуре воздуха в лаборатории. С помощью микроамперметра измеряется величина термотока в цепи, величина которого зависит от термо-э.д.с., которая в свою очередь является линейной функцией разности температур концов спаев. По закону Ома для полной цепи термоток I_1 определяется по формуле:

$$I_1 = \varepsilon_t / r, \quad (3)$$

где ε_t - термо-э.д.с., r – полное сопротивление цепи термопары, состоящее из сопротивлений измерительного прибора и подводящих проводов.

Если в эту цепь последовательно с микроамперметром включено известное добавочное сопротивление R_0 , то величина термотока I_2 (при той же температуре):

$$I_2 = \varepsilon_t / (r + R_0). \quad (4)$$

Решая совместно (3) и (4), получим выражение для определения термо-э.д.с.:

$$\varepsilon_t = \frac{I_1 I_2}{I_1 - I_2} R_0.$$

2 метод. Для проведения измерений температуры, не требующих большой точности, в цепь термопары включают милливольтметр по схеме, изображенной на рис.7.



Рис.7

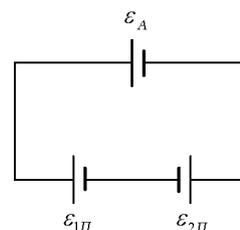


Рис.8

Измерительный спай термопары приводится в контакт с телом, температуру которого надо определить. На клеммах милливольтметра, к которым присоединены проводники 1 и 2, возникают свои контактные разности потенциалов $\varepsilon_{1П}$ и $\varepsilon_{2П}$, отличающиеся по величине и по знаку. Эквивалентная схема такого соединения приведена на рис.8.

Если все три контакта находятся при одинаковой температуре (например, комнатной), то результирующая э. д. с. цепи равна нулю, т. е.

$$\varepsilon_{1П} - \varepsilon_{2П} = \varepsilon_A,$$

где ε_A - э.д.с. спая А при комнатной температуре.

При нагревании спая А в цепи возникает э. д. с. $\varepsilon_{At} - \varepsilon_A$, где ε_{At} - э.д.с. спая при температуре t .

Таким образом, при включении термопары по схеме, изображенной на рис.7, показания милливольтметра пропорциональны разности температур рабочего спая и прибора.

В настоящей работе предлагается проградуировать термопару, пользуясь вторым методом.

3. Экспериментальная часть

3.1. Порядок выполнения работы

1. Измерить термометром и записать температуру холодного спая t_2 , считая ее равной температуре воздуха в лаборатории.
2. Поставить сосуд с водой на электрическую плитку.
3. Опустить в воду спай термопары, закрепленной на штативе.
4. Опустить в воду конец термометра, закрепленного на штативе.
5. Включить плитку в сеть.
6. Наблюдать за повышением температуры воды t_1 с помощью термометра, измерять милливольтметром значения э.д.с. ε термопары через каждые 10°C .
7. При достижении температуры 100°C выключить электрическую плитку и продолжить измерения температуры и э.д.с. в процессе охлаждения воды.

Результаты измерений записать в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты измерений

№ измерения	t_1 °C	t_2 °C	$(t_1 - t_2)$ °C	ε_t мВ
1				
2				
...				

8. По данным таблицы 2 построить график $\varepsilon_t = f(t_1 - t_2)$, как усреднённую прямую, проходящую через точку (0;0). Это можно сделать графическим или аналитическим методом. Зависимость $\varepsilon_t = f(t_1 - t_2)$ или $\varepsilon_t = \alpha_{AB} \cdot \Delta t$ является прямой пропорциональной, т.е. зависимостью вида $y = kx$, где $y = \varepsilon_t$, $k = \alpha_{AB}$, $x = \Delta t$.

9. Используя график, определить значение удельной термо-э.д.с. по формуле

$$\alpha_{AB} = \varepsilon_t / (t_1 - t_2),$$

где ε_t и $(t_1 - t_2)$ – значения э.д.с. термопары и разности температур спаев, взятые на графике в удобной точке у конца прямой.

Численное значение α_{AB} обычно выражается в мкВ/°С.

3.2. Обработка экспериментальных данных

3.2.1. Графический метод обработки экспериментальных данных

Провести прямую $y = kx$ «на глаз», при этом следить за тем, чтобы на каждом достаточно большом ее участке точки располагались как выше, так и ниже прямой.

Правило для определения погрешности графически найденного параметра k заключается в следующем. Диапазон по оси Ox от нуля до последней экспериментальной точки надо разбить на три части и самую левую – ближнюю к началу координат – часть во внимание не принимать. Затем нужно провести через начало координат две прямые так, чтобы выше одной из них лежало $2/3$ точек, а выше другой – $1/3$. Различие в k между этими прямыми определяет Δk . Погрешность находится по формуле:

$$\sigma_k = \frac{\Delta k}{\sqrt{n}},$$

где n – полное число точек на графике.

Систематическую погрешность оценим, сходя из класса точности вольтметра. Полагаем, что вся ошибка сосредоточена на одном крае шкалы, и учитываем правило, согласно которому погрешность, определяемую классом точности, при расчете ожидаемых ошибок нужно уменьшить вдвое:

$$\sigma_{сист} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma \cdot y_m}{x_m \cdot 100\%},$$

где γ – класс точности прибора (милливольтметра), y_m – значение измеряемой величины, соответствующее перемещению стрелки на всю шкалу прибора, т.е. полная шкала милливольтметра; x_m – полная шкала термометра.

Тогда, например, если полная шкала вольтметра 10мВ, класс точности 0,25, полная шкала термометра 100°С, то

$$\sigma_{сист} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,25\% \cdot 10\text{мВ}}{100^\circ\text{С} \cdot 100\%} = 0,000125 \frac{\text{мВ}}{^\circ\text{С}} = 0,125 \frac{\text{мкВ}}{^\circ\text{С}}.$$

Погрешность отсчета на миллиметровой бумаге:

$$\sigma_M = \frac{1\text{мм} \cdot 10\text{мкВ} / \text{мм}}{100^\circ\text{C}} = 0,1 \frac{\text{мкВ}}{^\circ\text{C}}.$$

Полная погрешность равна:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_M^2 + \sigma_k^2 + \sigma_{\text{сист}}^2}.$$

Окончательный ответ записывается в виде:

$$\alpha = (\alpha_{AB} \pm \sigma) \text{ мкВ}/^\circ\text{C}.$$

3.2.1. Аналитический метод обработки экспериментальных данных

Формула для определения параметра k прямой $y = kx$ ($y = \varepsilon_t$, $k = \alpha_{AB}$, $x = \Delta t$), проходящей через начало координат:

$$k = \frac{\langle xy \rangle}{\langle x^2 \rangle},$$

где $\langle xy \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i$, $\langle x^2 \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2$, $\langle y^2 \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2$.

Формула для оценки погрешности параметра k :

$$\sigma_k = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle}{\langle x^2 \rangle} - k^2}.$$

Найденную погрешность следует сложить с систематическими погрешностями так же, как при графическом способе обработки экспериментальных данных.

Контрольные вопросы

1. Какие явления называются термоэлектрическими?
2. В чём заключается явление Зеебека?
3. Применение явления Зеебека.
4. Как объясняет возникновение термо-э.д.с. зонная теория твердого тела?
5. Опишите метод определения термо-э.д.с. в данной работе.
6. Каков физический смысл постоянной термопары?

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики.- М.: Наука, т.1, 1970.
2. Трофимова Т.И. Учебное пособие для вузов,-4-е изд., испр. – М.:Высш.шк.,1997.
3. Лабораторные занятия по физике: Учебное пособие/ Гольдин Л.Л., Игошин Ф.Ф., Козел С.М. и др.; Под ред. Гольдина Л.Л.-М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983.

Оглавление

Цель работы.....	3
1. Средства измерения и вспомогательные устройства	3
2. Теоретическая часть	3
2.1. Термоэлектрические явления	3
2.1.1. Явление Зеебека	3
2.1.2. Явление Пельтье	4
2.1.3. Явление Томсона	4
2.2. Контакт двух металлов по зонной теории.....	4
2.3. Термопары	7
2.4. Метод измерения	10
3. Экспериментальная часть	11
3.1. Порядок выполнения работы.....	11
3.2. Обработка экспериментальных данных	12
3.2.1. Графический метод обработки экспериментальных данных	12
3.2.1. Аналитический метод обработки экспериментальных данных	13
Контрольные вопросы	13
Литература.....	13

Учебное издание

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭДС ТЕРМОПАРЫ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Методические указания

Составитель: Т.А. Сандиминова

Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П.Королева
443086 Самара, Московское шоссе, 34