



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

**И.Г. Самарина
А.Р. Бондарева
Е.Ю. Мухина**

МЕТРОЛОГИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве практикума*

Магнитогорск
2022

Рецензенты:

Заместитель генерального директора по проектному управлению
ЗАО «КонсОМ СКС» г. Магнитогорск
С.А. Астафьева

кандидат технических наук,
доцент ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
М.В. Вечёркин

Самарина И.Г., Бондарева А.Р., Мухина Е.Ю.

Метрология и средства измерений [Электронный ресурс]: практикум / Ирина Геннадьевна Самарина, Альбина Робертовна Бондарева, Елена Юрьевна Мухина ; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (0,88 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2022. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

Практикум соответствует учебной программе дисциплины «Метрология и средства измерений» и предназначен для выполнения лабораторных работ и закрепления теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях. В лабораторных работах рассмотрена основная измерительная техника, предназначенная для контроля температуры в технологических процессах.

Практикум предназначен для обучающихся направления 27.03.04 «Управление в технических системах» при изучении учебных дисциплин, связанных с вопросами автоматического управления технологическими процессами, также может быть использован обучающимися других направлений.

УДК 681.3.08

© Самарина И.Г., Бондарева А.Р., Мухина Е.Ю.2022
© ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова», 2022

Содержание

Предисловие	4
ВВЕДЕНИЕ	5
Лабораторная работа №1 ПОВЕРКА ТЕРМОПАР (СТЕНД № 9).....	6
Лабораторная работа №2 Поверка электронного автоматического моста КСМ-3, магнитоэлектрического логометра Ш-4540/1 и прибора А-566 (стенд №10)	20
Лабораторная работа №3 Испытание и поверка компенсационного автоматического потенциометра КСП-3, магнитоэлектрического милливольтметра Ш-4540 и вторичного прибора «Диск-250» (стенд № 12)..	31
Лабораторная работа №4 Термометры сопротивления (стенд №17).....	40
Библиографический список.....	51

ПРЕДИСЛОВИЕ

Содержание предлагаемого практикума основано на программе дисциплине «Метрология и средства измерений» изучаемых студентами направления 27.03.04 «Управление в технических системах».

Представлен лабораторный практикум. В каждой лабораторной работе содержится: цель работы, описание лабораторной установки, порядок выполнения работы, оформление отчёта и контрольные вопросы для самопроверки. Также приведены градуировочные таблицы наиболее распространённых термометров сопротивления и термопар, которые могут быть полезны при решении задач и выполнении лабораторных работ. Для более углубленного изучения излагаемого материала приведен библиографический список.

Может быть использован не только при изучении данных курсов, но и при изучении других курсов, связанных с измерениями технологических и технических параметров в различных отраслях промышленности, студентами других направлений.

Предложен цикл лабораторных работ для изучения различных методов измерения технических параметров, а также рассмотрены конкретные датчики и измерительные системы, начиная с первичных преобразователей и заканчивая средствами отображения информации. В каждой лабораторной работе содержится: цель работы; теоретическое введение; порядок выполнения работы; содержание отчета; контрольные вопросы.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности промышленных объектов идет по пути совершенствования как самих технологических процессов, так и процессов управления ими. Немаловажным фактором, затрудняющим построение систем управления, является то, что технологи, хорошо знающие, что следует измерять в объекте, как правило, плохо осведомлены о возможностях современной измерительной техники.

Весьма важно, чтобы с новыми приборами и методами были хорошо знакомы как производственники, так и лица, занимающиеся исследовательской работой. При этом они должны совершенно отчетливо представлять себе, в каких областях эти новые приборы и методы наиболее целесообразно использовать, с какими это сопряжено затратами времени (и средств) и какова точность получаемых с их помощью результатов.

Роль измерений при наблюдении за производственными процессами заметно отличается от роли измерений при проведении лабораторных опытов (физико-химических экспериментов). В первом случае задачей измерений является лишь получение численного значения наблюдаемой характеристики объекта измерений для контроля за правильностью осуществления известных операций производства. При проведении же опытов результат измерений рассматривается как отклик на целенаправленное изменение условий эксперимента, проводимого с целью получения неизвестных ранее сведений об исследуемом объекте.

Одним из важнейших параметров как лабораторных экспериментов, так и технологических процессов многих отраслей промышленности является температура. По оценкам отечественных и зарубежных специалистов технические измерения температуры составляют 40-50% общего числа всяких измерений. Поэтому качество температурного контроля часто обуславливает успех процесса производства.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ПОВЕРКА ТЕРМОПАР

(СТЕНД № 9)

Цель работы:

1. Ознакомиться с принципом действия и устройством термоэлектрических преобразователей.
2. Установить влияние температуры холодного спае на результат измерения.
3. Изучить способы устранения влияния температуры холодных спаев.

1. Теоретическое введение

Термоэлектрический метод измерения температур основан на строгой зависимости термоэлектродвижущей силы (термоЭДС) термоэлектрического термометра (термопары) от температуры.

Термоэлектрические явления – совокупность физических явлений, обусловленных взаимосвязью между тепловыми и электрическими процессами в металлах и полупроводниках.

Если составить цепь из двух разнородных проводников (или полупроводников) А и В и соединить их между собой концами, причем температуру Т1 одного места соединения сделать отличной от температуры Т2 другого, в цепи появится ЭДС, называемая термоэлектродвижущей силой (термоЭДС).

Принцип действия термопары основан на возникновении тока в цепи, составленной из двух разнородных проводников при нарушении теплового равновесия места их контактирования.

1.2 Термоэлектрические явления

В основе работы термоэлектрических преобразователей лежат следующие явления: явление Томсона; явление Зеебека; эффект Пельтье.

Явление Томсона (1850 г.) заключается в следующем: при пропускании электрического тока через полупроводник (или проводник), вдоль которого существует градиент температуры, в нем, помимо Джоулева тепла, в зависимости от направления тока будет выделяться или поглощаться дополнительное количество тепла (теплота Томсона).

Поглощение или высвобождение тепла линейно пропорционально току, проходящему через однородный проводник, имеющий градиент температуры вдоль его длины. При этом тепло поглощается, если ток и тепловой поток направлены в противоположных направлениях, и выделяется – когда они имеют одинаковое направление. Электрическое поле приводит к появлению разности потенциалов:

$$dE_a = \alpha_a \frac{dT}{dx} dx. \quad (1)$$

где dT – градиент температуры на небольшом участке длины dx ,

α_a – абсолютный коэффициент Зеебека материала.

Если материал однородный, α_a не зависит от его длины, и уравнение (1) принимает вид:

$$dE_a = \alpha_a dT. \quad (2)$$

Выражение (2) – это основное математическое выражение для термоэлектрического эффекта.

Термоэлектрический эффект объясняется наличием в металле свободных электронов, число которых в единице объема различно для разных металлов. Предположим, что в спае с температурой T_2 электроны из металла А диффундируют в металл В в большем количестве, чем в обратном направлении; поэтому металл А заряжается положительно, а металл В – отрицательно. Электрическое поле, возникающее в месте соприкосновения проводников, препятствует этой диффузии, и когда скорость диффузии электронов будет равна скорости их обратного перехода под влиянием установившегося электрического поля, наступает состояние подвижного равновесия. При таком состоянии между проводниками А и В возникает некоторая разность потенциалов, которая определяется только типом материалов и их температурой и не зависит от других факторов. Индуцированная теплом разность потенциалов называется *напряжением Зеебека*.

Если спаяны однородные проводники, концы которых нагреты до разных температур, то свободные электроны диффундируют из более нагретых частей проводника в менее нагретые с большей интенсивностью, чем в обратном направлении. Более нагретые концы проводников заряжаются положительно до тех пор, пока не наступает равновесное состояние за счет создания разности потенциалов, действующей в направлении, обратном тепловой диффузии электронов.

Тогда коэффициент Зеебека $\alpha_{ab} = \alpha_a + \alpha_b$, а напряжение на соединении равно

$$dE_{ab} = \alpha_{ab} dT. \quad (3)$$

Коэффициент Зеебека не зависит от физической природы соединения: металлы могут быть скручены, сварены, спаяны и т.д. Имеет значение только температура спаев и свойства металлов. *Эффект Зеебека* является прямым преобразованием тепловой энергии в электрическую.

Эффект Пельтье: при прохождении электрического тока из одного материала в другой в месте их соединения происходит либо выделение, либо поглощение тепла, что зависит от направления тока:

$$dQ_p = \pm p \cdot i \cdot dt, \quad (4)$$

где i – сила тока, А;

t – время, с;

p – коэффициент, определяемый термоэлектрическими свойствами материала, имеет размерность напряжения.

Следует отметить, что количество тепла не зависит от температуры других соединений.

Эффект Пельтье используется в двух ситуациях: когда надо либо подвести тепло к месту соединения материалов, либо отвести его, что осуществляется изменением направления тока. Это свойство нашло свое применение в устройствах, где требуется осуществлять точный контроль за температурой. Эффект Пельтье используется для построения термоэлектрических охладителей.

Необходимо помнить, что в любом месте схемы, где соединяются два или более различных металла, имеющих разную температуру, всегда возникает термоэлектрический ток. Эта разность температур всегда сопровождается явлением теплопроводности (Фурье), а при прохождении электрического тока выделяется тепло (Джоуля). Протекание электрического тока всегда связано с эффектом Пельтье: выделением или поглощением тепла в местах соединения различных металлов, при этом разность температур также вызывает появление эффекта Томпсона: нагрев или охлаждение проводников вдоль их длины. Эти два тепловых эффекта (Томпсона и Пельтье) выражаются в виде четырех составляющих в выражении для термоЭДС Зеебека:

$$E_{ab} = \int_{T_1}^{T_2} \sigma_a dT - \int_{T_1}^{T_2} \sigma_b dT = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_{ab} dT, \quad (5)$$

где σ – величина, называемая коэффициентом Томпсона.

Томсон называл ее удельной теплоемкостью электричества, проводя аналогию между σ и обычной удельной теплоемкостью c , принятой в термодинамике. Величина σ показывает, с какой скоростью происходит выделение или высвобождение тепла на единицу разности температур и на единицу массы.

1.3 Законы термоэлектричества

Для практического использования термопар необходимо знать три основных закона, устанавливающих правила их подключения.

Закон 1. Явление термоэлектричества характерно только для неоднородных электрических цепей. В случае однородного проводника при любом распределении температуры вдоль его длины результирующее напряжение будет всегда нулевым.

Закон 2. Алгебраическая сумма всех термоЭДС цепи, состоящей из любого количества термопар (соединений разных материалов), будет всегда равна нулю, если все соединения находятся при одинаковой температуре.

Это значит, что в любое плечо термоэлектрического контура можно внести дополнительный материал C , не изменяя результирующее напряжение E при условии, что оба новых соединения будут иметь одинаковую температуру. Нет ограничений на количество внесенных проводников, необходимо поддерживать одинаковую температуру в местах их подключения. Из этого закона также следует, что термоэлектрические соединения могут выполняться любым способом,

даже с использованием промежуточных материалов (например, припоев): сваркой, пайкой, скруткой, сплавлением и т.д.

Закон 3. Если два соединения разных материалов, находящихся при температурах T_1 и T_2 , вырабатывают термоЭДС E_1 , а при температурах T_2 и T_3 результирующая термоЭДС равна E_2 , то при температурах T_1 и T_3 выходное напряжение $E_3 = E_1 + E_2$.

Этот закон иногда называется законом промежуточных температур. Он позволяет калибровать термопары в одном температурном диапазоне, а использовать в другом. Из этого закона также следует, что в термоэлектрическую цепь могут быть внесены дополнительные провода без изменения ее характеристик.

1.4 Градуировки термопар

Поскольку термоэлектрические контактные датчики состоят, по крайней мере, из двух разных проводников и двух соединений (пар) этих проводников, их часто называют термопарами. Они являются пассивными датчиками, так как сами вырабатывают напряжение в ответ на изменение температуры и не требуют для этого внешнего источника питания. Термопары относятся к классу относительных датчиков, поскольку их выходное напряжение определяется разностью температур между двумя спаями и практически не зависит от абсолютной температуры каждого соединения.

К материалу термопар предъявляется ряд требований:

- однозначная и линейная зависимость между термоЭДС и температурой;
- высокое значение развиваемой термоЭДС;
- жаростойкость и механическая прочность;
- химическая инертность (материал термопар не должен вступать в контакт с окружающей средой);
- термоэлектрическая однородность материала проводника по всей длине, позволяет восстанавливать рабочий спай без переградуировки;
- стабильность градуировочной характеристики (т.е. с течением времени должна оставаться постоянной);
- технологичность (воспроизводимость) материала.

Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют стандартные термопары, основные из которых приведены в табл. 1.

Тип T: устойчивы к коррозии (поэтому могут применяться для работы во влажной атмосфере) и пригодны для измерения отрицательных температур. При работе на воздухе в агрессивной среде их верхний предел рабочего диапазона ограничен 370°C (700 F), что связано с окислением медного элемента. В других окружающих условиях термопары типа T могут использоваться при более высоких температурах.

Тип J: подходят для работы в вакууме, а также в различных средах: и инертных, и окислительных, и восстановительных. Их рабочий температурный диапазон лежит в интервале $0...760^{\circ}\text{C}$. При температуре около 540°C начинается быстрый процесс окисления железных термоэлементов. Если требуется, что-

бы термопары работали длительное время в условиях высоких температур, для их изготовления необходимо применять провода с большим поперечным сечением. Термопары типа J не рекомендуется использовать для измерения температур ниже точки замерзания воды из-за их хрупкости и подверженности ржавлению. В этом температурном диапазоне лучше работают термоэлементы типа T.

Тип E: рекомендуется использовать в температурном диапазоне – 200...900°C в окислительных или инертных атмосферах. В восстановительной атмосфере и в вакууме они имеют те же ограничения, что и термопары типа K. Термопары типа E могут применяться для измерения отрицательных температур благодаря тому, что они не подвержены коррозии при работе в атмосфере с повышенным содержанием влаги. Они способны вырабатывать наибольшую среди всех известных типов термопар ЭДС, поэтому являются самыми популярными.

Тип K: применяются для работы в окислительной и полностью инертных средах для измерения температур в диапазоне -200...1260°C. Благодаря своей устойчивости к окислению их часто используют при температурах выше 540°C. Однако термопары типа K нельзя применять в восстановительных и сернистых атмосферах, а также в вакууме.

Тип R и S: предназначены для непрерывной работы в окислительной и инертной среде в температурном диапазоне 0...1480°C

Тип B: подходят для непрерывной работы в окислительной и инертной атмосфере в температурном диапазоне 870...1700°C. Их также можно использовать для проведения кратковременных измерений в вакууме. Такие термопары не рекомендуется применять в восстановительной среде, содержащей пары металлов и неметаллов. Их нельзя вставлять в металлические защитные корпуса или чехлы.

Таблица 1

Основные характеристики термоэлектрических термометров ГОСТ.Р 8.585 – 2001

Тип термопары	Градуировка	Буквенное обозначение	Химический состав термоэлектродов, %		Пределы измерений t, °С		
			положительный	отрицательный	нижний	верхний	кратковременно
Медь-константановая	ТМКн	T	Cu	Cu+(40-45)Ni+1,0Mn+0,7Fe	-200	350	400
Хромель-копелевая	ТХК	L	Ni+9,5Cr	Cu+(42-44)Ni+0,5Mn+0,1Fe	-200	600	800
Хромель-константановая	ТХКн	E	Ni+9,5Cr	Cu+(40-45)Ni+1,0Mn+0,7Fe	-200	700	900
Железо-константановая	ТЖК	J	Fe	Cu+(40-45)Ni+1,0Mn+0,7Fe	-200	750	900
Хромель-алюмелевая	ТХА	K	Ni+9,5Cr	Ni+1Si+2Al+2,5Mn	-200	1200	1300
Нихром-никелевая	ТНН	N	Ni+14,2Cr+1,4Si	Ni+4,4Si+0,1Mg	-270	1200	1300
Платинородий-платиновая	ТПП13	R	Pt+13Rh	Pt	0	1300	1600
	ТПП10	S	Pt+10Rh	Pt			
Платинородий-платинородиевая	ТПР	B	Pt+30Rh	Pt+6Rh	600	1700	-
Вольфрамрений-вольфрамовая	A-1	A	W+5%Re	W+20%Re	0	2200	2500
	A-2						
	A-3						
Медь-копелевая		M	Cu	Cu+(42-44)Ni+0,5Mn+0,1Fe	-200	400	-

1.5 Способы введения поправки на температуру холодных концов термопары

При измерении температуры термоэлектрическим термометром его свободные концы должны иметь постоянную температуру, так как колебания последней отражаются на показаниях вторичного прибора.

Существуют следующие способы введения поправки:

– **Введение поправки вручную** в случае отклонения температуры свободных концов от градуировочного значения, равного 0°C , к показаниям вторичного прибора вводится соответствующая поправка.

– **Применение удлиняющих термоэлектродных проводов.** При прокладке соединительной линии между термоэлектрическим термометром и вторичным прибором свободные концы термометра, находящиеся на зажимах в его головке, будут расположены около нагретых поверхностей, т.е. в зоне переменной температуры. Чтобы отнести эти концы в зону с постоянной и более низкой температурой, применяются так называемые термоэлектродные удлиняющие провода.

Прокладывать термоэлектродные провода на такие большие расстояния не всегда рационально, особенно если термопара выполнена из благородных металлов. Кроме того, термоэлектродные провода обычно имеют значительное удельное электрическое сопротивление, что приводит к увеличению сопротивления цепи термопары. Поэтому для подключения термопар к измерительным приборам применяют удлинительные (так называемые компенсационные) провода, более дешевые, чем термоэлектродные, и имеющие меньшее сопротивление.

Основное требование к компенсационным проводам: они должны развивать в диапазоне температур $(0...100)^{\circ}\text{C}$ такую же термоЭДС, как и термоэлектродные.

Компенсационные провода состоят из двух жил, изготовленных из металлов или сплавов, имеющих одинаковые термоэлектрические свойства с термоэлектродами термопары. Посредством удлиняющих проводов производится как бы наращивание термоэлектродов термометра, позволяющее отнести свободные концы от места его установки в более благоприятные условия.

Для термометров из неблагородных металлов удлиняющие провода изготавливаются чаще всего из тех же материалов, что и термоэлектроды.

– **Применение специального медного сопротивления** во вторичных приборах или преобразователях.

– **Термостатирование холодных концов**, т.е. $T_2 = \text{const}$, при этом обычно используются термостаты или ванна с тающим льдом.

– **Применение компенсирующего моста для автоматического введения поправки** (рис. 1). Схема представляет собой неуравновешенный мост с постоянными манганиновыми резисторами R_1 , R_2 , R_3 и медным резистором R_4 , находящийся в равновесии при 0°C . При отклонении температуры свободных концов от нуля возникающий разбаланс моста U_{ab} компенсирует возможное снижение измеряемой ЭДС.

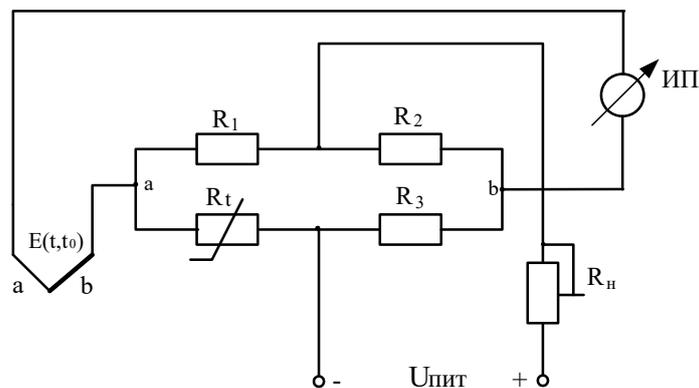


Рис. 1. Схема автоматической компенсации температуры свободных концов

Для измерения термоЭДС в цепь термопары включается измерительный прибор (милливольтметр, потенциометр и т. п.) по одной из двух схем на рис. 2.

Подключение измерительного прибора в контур термопары по двум схемам (рис. 2 а, б) одинаково правомочно. Третий проводник с не оказывает влияние при равенстве температур 2 и 3 (см. рис. 2, а) или 3 и 4 (см. рис. 2, б). Если температура свободных концов отлична от нуля, то показания приборов будут отличаться от градуировочной, поэтому необходимо вводить поправку на температуру холодных спаев.

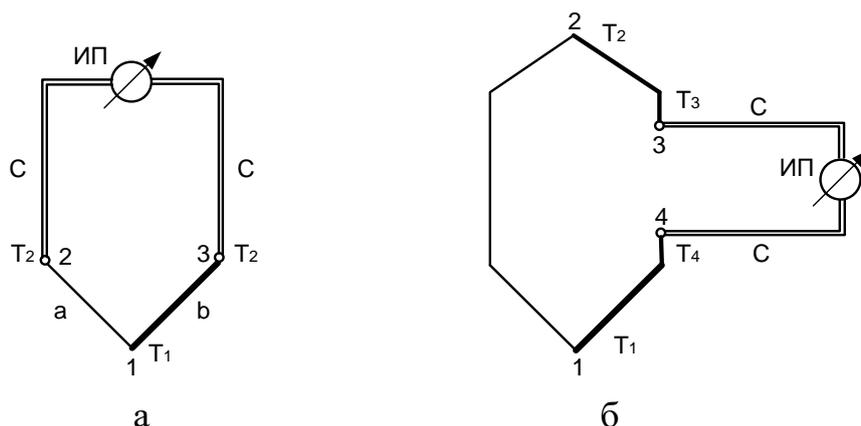


Рис. 2. Схема включения измерительного прибора в цепь термоэлектрического преобразователя

2. Описание лабораторной установки

Установка для поверки термопар представлена на рис. 3 и состоит из следующих приборов:

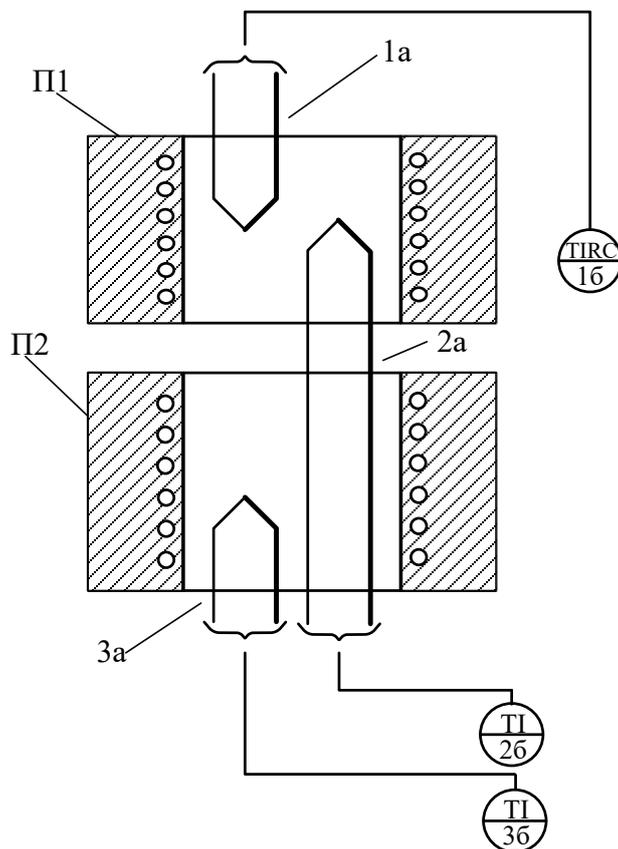


Рис. 3. Функциональная схема для поверки термопар:

1а – образцовая термопара ПП(S); 1б – вторичный прибор («Диск-250»);
 2а – поверяемая термопара ХА(К); 2б – вторичный прибор («Диск-250»);
 3а – термопара ХК(L); 3б – вторичный прибор (милливольтметр Ш4540/1)

- образцовая платиновый-платиновая термопара типа ПП(S), ТП1, показания которой регистрируются вторичным прибором «Диск-250»;
- поверяемая хромель-алюмелевая термопара типа ХА(К), ТП2, показания которой регистрируются вторичным прибором «Диск-250»;
- хромель-копелевая термопара ХК(Е) для измерения температуры холодных спаев поверяемой термопары ТП3, показания которой регистрируются вторичным прибором-милливольтметром типа Ш-4540/1;
- для нагрева рабочих концов поверяемой термопары ТП2 имеется электропечь сопротивления П1;
- электропечь сопротивления П2 производит нагрев свободных концов поверяемой термопары ТП2 и рабочего спая термопары ТП3;
- универсальный переключатель УП.

При включении УП в положение П1 включается нагревательная печь для подогрева рабочего спая поверяемой термопары. При переключении УП в положение П2 включается печь П2 для нагрева холодных концов поверяемой термопары. Печь П1 при этом остается включенной через позиционный регулятор, встроенный в «Диск-250».

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с инструкцией по проведению работы и установкой.
2. Подготовить табл. 2 для проведения эксперимента.
3. Включить вторичные приборы «Диск-250» и Ш4540/1.
4. Включить универсальный переключатель УП в режим нагрева рабочего спая П1.
5. С интервалом в 15 с фиксировать показания образцовой и поверяемой термопары до тех пор, пока температура в печи П1 не достигнет установившегося значения (задается преподавателем). Записывать показания в соответствующие графы табл. 2.
6. После достижения установившегося значения в печи П1 включить УП в положение П2, при этом включается печь П2 для нагрева холодных спаев поверяемой термопары.
7. С интервалом 15 с фиксировать показания всех трех термопар ТП1, ТП2, ТП3 до тех пор, пока температура в печи не достигнет 120°C.
8. Отключить установку. УП установить в положение «Выкл».

Таблица 2

Экспериментальные данные и оценка погрешности

Экспериментальные данные				Расчётные данные				
Время, с	Образцовая ТП1, °С	Поверяемая термопара ТП2, °С	Температура холодных концов поверяемой термопары ТП3, °С	Показания поверяемой термопары с учетом поправки, ТП4 °С	Погрешность измерения для поверяемой термопары, ТП2, °С		Погрешность измерения с учётом поправки	
					абсолютная, °С	относительная, %	абсолютная, °С	относительная, %

4. Обработка результатов измерений

По результатам измерений необходимо заполнить остальные графы табл. 2. Расчетное значение определяется на основании показаний поверяемой термопары ТП2 и температуры ее свободных концов (показания ТП3). График зависимости термоЭДС от температуры соответствует условию, когда температура свободных концов термопары равна нулю. Если же температура свободных концов отличается от градуировочной, то необходимо вводить поправку (как в нашем случае).

Эта поправка определяется по формуле

$$E_{ав}(T_1, T_0) = E_{ав}(T_1, T_2) \pm E_{ав}(T_2, T_0), \quad (6)$$

где знак «плюс» относится к случаю, когда $T_2 > T_0$, а «минус» – к случаю, когда $T_2 < T_0$.

Таким образом, расчетное значение температуры поверяемой термопары складывается из показаний поверяемой термопары плюс значение температуры по градуировочной зависимости хромель-алюмелевой термопары, найденной по показаниям термопары холодного спая. Например, «Диск-250» показывает 380°C, при этом милливольтметр показывает 120°C. Пользуясь градуировочной табл. 3 для ХА термопары, находим, что при 120 °С ХА-термопара дает 4,919 мВ, при 380°C – 15,552. Сумма термоЭДС равна $4,919 + 15,552 = 20,471$ мВ. И по ней определяем истинную температуру (пользуясь той же градуировочной таблицей), она равна 496°C. Результаты расчетов заносим в табл. 2.

Далее необходимо построить графики изменения показаний приборов во времени, а также показаний поверяемой термопары с учетом поправки на температуру свободных концов. Примерные графики приведены на рис. 4.

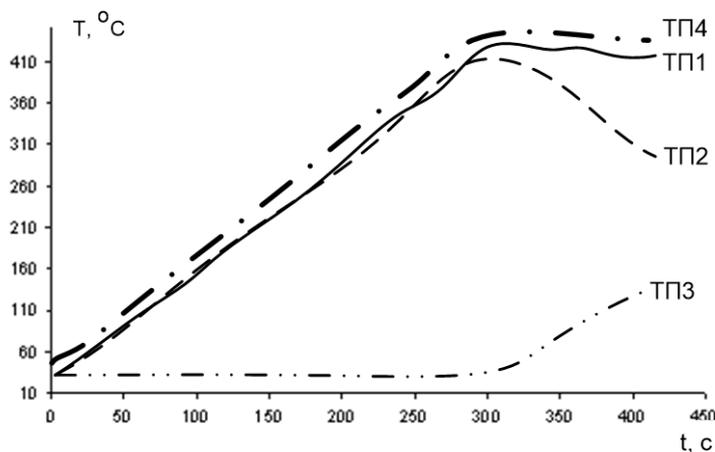


Рис. 4. График изменения температуры во времени:
 ТП1 – образцовая термопара; ТП2 – поверяемая термопара;
 ТП3 – температура холодного спая поверяемой термопары;
 ТП4 – с поправкой

Рассчитать абсолютную и относительную погрешности для поверяемой термопары и с учётом поправки. После расчётов необходимо проанализировать результаты расчётов и сделать вывод о степени влияния температуры холодных спаев на показания термопары.

5. Содержание отчета

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями стандарта предприятия (ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»).

Отчет составляется каждым студентом и должен включать в себя:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Краткое описание принципа работы термоэлектрических преобразователей.
4. Схему лабораторной установки и ее описание.

5. Результаты работы в виде таблицы и графика с примером расчёта.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. На каких явлениях основано действие термоэлектрических термометров?
2. Почему при подсоединении термопары к измерительному прибору используются компенсационными проводами?
3. Как вводится поправка на температуру свободных концов термопары в автоматических и переносных потенциометрах, милливольтметрах?
4. Для каких термопар невозможно применение компенсационных проводов для введения поправки?
5. Пределы измерений стандартных термоэлектрических термометров.
6. При измерении температуры в печи с помощью хромель-алюмелевой термопары (тип К) вольтметр показал 7,418 мВ. Температура холодного спая была стабилизирована на уровне 30°C. Пользуясь градуировочной табл. 3 для данной термопары, определить температуру T_x в печи.

Таблица 3

Номинальная статическая характеристика преобразования термопары ХА(К)

Температура рабочего кон- ца, °С	ТермоЭДС, мВ, при температуре, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,000	0,039	0,079	0,119	0,158	0,119	0,238	0,277	0,317	0,357
10	0,397	0,437	0,477	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758
20	0,798	0,838	0,879	0,919	0,960	1,000	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	1,570
40	1,611	1,652	1,683	1,734	1,776	1,817	1,858	1,899	1,940	1,981
50	2,022	2,064	2,105	2,146	2,188	2,229	2,270	2,312	2,353	2,394
60	2,436	2,477	2,159	2,560	2,601	2,643	2,684	2,726	2,767	2,809
70	2,850	2,892	2,933	2,975	3,016	3,058	3,100	3,151	3,183	3,224
80	3,266	3,307	3,349	3,390	3,432	3,478	3,515	3,556	3,598	3,639
90	3,681	3,722	3,764	3,805	3,847	3,888	3,930	3,971	4,012	4,054
100	4,095	4,137	4,178	4,219	4,261	4,302	4,343	4,384	4,426	4,467
110	4,508	4,549	4,590	4,632	4,673	4,714	4,755	4,796	4,837	4,878
120	4,919	4,960	5,001	5,042	5,083	5,124	5,164	5,205	5,246	5,287
130	5,327	5,368	5,409	5,450	5,490	5,531	5,571	5,612	5,652	5,693
140	5,733	5,774	5,814	5,855	5,895	5,936	5,973	6,016	6,057	6,097
150	6,137	6,177	6,218	6,258	6,298	6,338	6,378	6,419	6,459	6,499
160	6,539	6,579	6,619	6,659	6,699	6,739	6,779	6,819	6,859	6,899
170	6,939	6,979	7,019	7,059	7,099	7,139	7,179	7,219	7,259	7,299
180	7,338	7,378	7,418	7,458	7,498	7,538	7,578	7,618	7,658	7,697
190	7,737	7,777	7,817	7,857	7,897	7,937	7,977	8,017	8,057	8,097
200	8,137	8,177	8,217	8,257	8,297	8,337	8,377	8,417	8,457	8,497
210	8,537	8,577	8,617	8,657	8,697	8,737	8,777	8,817	8,857	8,898
220	8,98	8,978	9,018	9,058	9,099	9,139	9,179	9,220	9,260	9,300
230	9,341	9,381	9,421	9,462	9,502	9,543	9,583	9,624	9,664	9,705
240	9,745	9,786	9,856	9,867	9,907	9,948	9,989	10,029	10,070	10,111
250	10,151	10,192	10,233	10,274	10,315	10,355	10,396	10,437	10,478	10,519
260	10,560	10,600	10,641	10,682	10,723	10,764	10,805	10,846	10,887	10,928
270	10,969	11,010	11,051	11,051	11,093	11,134	11,175	11,216	11,257	11,339
280	11,381	11,422	11,463	11,463	11,504	11,546	11,578	11,628	11,669	11,752
290	11,793	11,835	11,876	11,876	11,911	11,959	12,000	12,042	12,083	12,166
300	12,207	12,249	12,290	12,332	12,373	12,415	12,456	12,498	12,539	12,581
310	12,623	12,664	12,706	12,747	12,789	12,831	12,872	12,914	12,955	12,997
320	13,039	13,080	13,122	13,164	13,205	13,247	13,289	13,331	13,372	13,414
330	13,456	13,497	13,539	13,581	13,623	13,665	13,705	16,748	13,790	13,832
340	13,874	13,915	13,957	13,999	14,041	14,083	14,125	14,167	14,208	14,250
350	14,292	14,334	14,376	14,418	14,460	14,502	14,544	14,586	14,628	14,670
360	14,712	14,754	14,796	14,838	14,880	14,922	14,964	15,006	15,048	15,090
370	15,132	15,174	15,216	15,258	15,300	15,342	15,384	15,426	15,468	15,510

Температура рабочего кон- ца, °С	ТермоЭДС, мВ, при температуре, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
380	15,552	15,594	15,636	16,679	15,721	15,763	15,805	15,847	15,889	15,931
390	15,974	16,016	16,058	16,100	16,142	16,184	16,227	16,269	16,311	16,353
400	16,395	16,438	16,480	16,522	16,564	16,607	16,649	16,691	16,733	16,776
410	16,818	16,860	16,902	16,945	16,987	17,029	17,072	17,114	17,165	17,199
420	17,241	17,283	17,326	17,368	17,410	17,453	17,495	17,537	17,580	17,662
430	17,664	17,707	17,749	17,792	17,834	17,876	17,919	17,961	18,004	18,046
440	18,088	18,131	18,173	18,126	18,258	18,301	18,343	18,385	18,428	18,470
450	18,513	18,555	18,598	18,640	18,623	18,325	18,768	18,810	18,853	18,895

Библиографический список

1. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1978. – 704 с.
2. Фрайден Дж. Современные датчики: справочник. – М.: Техносфера, 2006. – 588 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2
ПОВЕРКА ЭЛЕКТРОННОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО МОСТА КСМ–3,
МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЛОГОМЕТРА Ш–4540/1
И ПРИБОРА А–566 (СТЕНД №10)

Цель работы:

1. Изучить конструкцию, принцип действия и схему автоматического уравновешенного моста.
2. Произвести поверку моста с заполнением протокола поверки.
3. Изучить принцип действия и конструкцию логометра.
4. Произвести поверку логометра с заполнением протокола поверки.
5. Ознакомиться с назначением, принципом действия и составом прибора А–566.
6. Освоить методику определения метрологических характеристик приборов: чувствительности, порога чувствительности, вариации, времени пробега стрелкой, указателем шкалы прибора.

1. Теоретическое введение

1.1. Поверка, порядок проведения, виды поверок

Поверка средства измерений – это установление органом ГМС (Государственная метрологическая служба) пригодности средств измерения (СИ) к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик (МХ) и подтверждение их соответствия установленным обязательным требованиям.

По действующему законодательству СИ, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, должны подвергаться поверке при выпуске из производства или после ремонта, при ввозе по импорту и в процессе эксплуатации. Перечни групп СИ, подлежащих поверке, утверждает Госстандарт России в соответствии с МИ 2273-93, а требования к организации и проведению поверки СИ устанавливают правила ПР 50.2.006-94.

Поверка производится в соответствии с нормативными документами, утверждаемыми по результатам испытаний.

Результатом поверки является:

– подтверждение пригодности СИ к применению. В этом случае на него и (или) техническую документацию наносится оттиск поверительного клейма и (или) выдается Свидетельство о поверке. *Поверительное клеймо* – знак установленной формы, наносимый на СИ, признанные в результате их поверки годными к применению. Правила использования клейм описаны в ПР 50.2.007-94.

– признание СИ непригодным к использованию. В этом случае оттиск поверительного клейма и (или) Свидетельство о поверке аннулируются и выписывается Свидетельство о непригодности.

Форма клейма и Свидетельства о поверке, порядок нанесения поверительного клейма устанавливает Госстандарт России.

СИ подвергаются первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверкам.

Первичная поверка проводится при выпуске СИ из производства или после ремонта, а также при ввозе СИ из-за границы партиями. Такой поверке подвергается, как правило, каждый экземпляр СИ.

Периодическая поверка выполняется через установленные интервалы времени (межповерочные интервалы). Ей подвергаются СИ, находящиеся в эксплуатации или на хранении. Конкретные перечни СИ, подлежащих поверке, составляют их владельцы – юридические и физические лица. Органы ГМС в процессе надзора за соблюдением метрологических норм и правил проверяют правильность составления этих перечней.

Периодическую поверку должен проходить каждый экземпляр СИ. Исключения могут составлять СИ, находящиеся на длительном хранении. Результаты такой поверки действительны в течение межповерочного интервала. Первый интервал устанавливается при утверждении типа СИ, последующие определяются на основе различных критериев.

Внеочередная поверка СИ проводится до наступления срока периодической поверки в случаях:

- повреждения знака поверительного клейма или утрате Свидетельства о поверке;
- ввода в эксплуатацию СИ после длительного хранения (более одного межповерочного интервала);
- проведения повторной настройки, известном или предполагаемом ударном воздействии на СИ или при неудовлетворительной его работе;
- отправки потребителю СИ, не реализованных по истечении срока, равного половине межповерочного интервала;
- применения СИ в качестве комплектующих по истечении срока, равного половине межповерочного интервала.

Инспекционная поверка проводится органами МС при осуществлении государственного надзора или ведомственного контроля за состоянием и применением СИ. Ее допускается проводить не в полном объеме, предусмотренном методикой поверки. Результаты инспекционной поверки отражаются в акте.

Экспертная поверка проводится при возникновении спорных вопросов по МХ, исправности СИ и пригодности их к использованию. Ее проводят органы ГМС по письменному требованию заинтересованных лиц.

Порядок представления СИ на поверку устанавливает Госстандарт России. Поверка проводится в соответствии с методиками, требования к которым изложены в МИ 187-86 и МИ 188-36. Экспертная поверка включает следующее:

- установление периодичности работ (определение межповерочных интервалов) в соответствии с ИСО 10012, МИ 2187-92, МИ 1872-88;
- разработку и документирование методик проведения работ в соответствии с инструкцией РД 50-660-88;
- ведение соответствующих протоколов, отражающих результаты проведенных работ;
- организацию хранения и использования документации по поверке СИ.

Основной МХ, определяемой при поверке, является погрешность. Она находится на основании сравнения показаний поверяемого СИ и более точного рабочего эталона:

- сличением (методами противопоставления или замещения) с более точной мерой. Общим для этих методов поверки СИ является выработка сигнала о наличии разности размеров сравниваемых величин. Если этот сигнал путем подбора образцовой меры будет сведен к нулю, то реализуется нулевой метод измерения;

- измерением эталонным СИ величины, воспроизводимой мерой. В этом случае поверка часто называется градуировкой. **Градуировка** – нанесение на шкалу отметок, соответствующих показаниям рабочего эталона, или определение по его показаниям уточненных значений величины, соответствующих нанесенным отметкам на шкале поверяемого СИ;

- способом калибровки, когда с более точной мерой сличается лишь одна мера из набора или одна из отметок шкалы многозначной меры, а действительные размеры других мер определяются путем их взаимного сравнения в различных сочетаниях на приборах сравнения и при дальнейшей обработке результатов и измерений.

Поверка измерительных приборов проводится:

- методом непосредственного сравнения измеряемых величин и величин, воспроизводимых рабочими эталонами соответствующего разряда или класса точности. Значения величин на выходе мер выбираются равными соответствующим (чаще всего оцифрованным) отметкам шкалы прибора. Наибольшая разность между результатом измерения и соответствующим ему размером эталонов является в этом случае основной погрешностью прибора;

- методом непосредственного сличения показаний поверяемого и эталонного приборов при одновременном измерении одной и той же величины. Разность их показаний равна абсолютной погрешности поверяемого СИ.

Существуют и другие методы поверки, которые используются реже.

Важным при поверке является выбор оптимального соотношения между допускаемыми погрешностями эталонного и поверяемого СИ. Обычно это соотношение принимается равным 1:3 (исходя из критерия ничтожно малой погрешности), когда при поверке вводят поправки на показания образцовых СИ. Если поправки не вводят, то эталонные СИ выбираются из соотношения 1:5. Соотношение допускаемых погрешностей поверяемых и эталонных СИ устанавливается с учетом принятого метода поверки, характера погрешностей, допускаемых значений ошибок первого и второго рода и иногда может значительно отличаться от указанных ранее цифр.

По решению Госстандарта России право поверки СИ может быть предоставлено аккредитованным МС юридических лиц, деятельность которых осуществляется в соответствии с действующим законодательством и нормативными документами по обеспечению единства измерений. Порядок аккредитации определяется правилами ПР 50.2.014-94, разработанными с учетом руководств ИСО МЭК.

1.2. Метрологические характеристики средств измерений

Совокупность технических характеристик СИ, которые оказывает влияние на результаты и погрешности измерений, называются *метрологическими характеристиками (МХ) СИ*.

Все МХ СИ нормируют. *Нормировать* – значит указать номинальное значение и допускаемые отклонения. Перечень нормируемых МХ СИ, формы их представления и способы нормирования установлены в ГОСТ 8.009-84 (2003) «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений».

На практике наиболее распространены следующие МХ СИ.

Диапазон измерений – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ (для преобразователей – это диапазон преобразования).

Предел измерения – наибольшее или наименьшее значение диапазона измерения. Для мер – это номинальное значение воспроизводимой величины.

Цена деления шкалы – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Приборы с равномерной шкалой имеют постоянную цену деления, а с неравномерной – переменную. В этом случае нормируется минимальная цена делений.

Чувствительность – отношение изменения сигнала Δy на выходе СИ к вызвавшему это изменение изменению Δx сигнала на входе $S = \Delta y / \Delta x$. Например, для стрелочного СИ – это отношение перемещения стрелки к величине $S = dl / dx$.

Величину, обратную чувствительности, называют постоянной прибора $C = 1/S$.

Порог чувствительности – наименьшее значение измеряемой величины, вызывающее заметное изменение показаний прибора.

Вариация (гистерезис) – разность между показаниями СИ в данной точке диапазона измерения при возрастании и убывании измерений величины при неизменных внешних условиях:

$$V = |x_1 - x_2|,$$

где x_1, x_2 – значения измерений образцовыми СИ при возрастании и убывании величины x .

Основная МХ СИ – *погрешность СИ* – есть разность между показаниями СИ и истинными (действительными) значениями ФВ.

Все погрешности СИ в зависимости от внешних условий делятся на основные и дополнительные.

Основная погрешность – это погрешность СИ при нормальных условиях эксплуатации. Как правило, нормальными условиями эксплуатации являются: температура $20 \pm 5^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха $65 \pm 15\%$ при 20°C , напряжение в сети питания $220 \text{ В} \pm 10\%$ с частотой $50 \text{ Гц} \pm 1\%$, атмосферное давление от 97,4 до 104 кПа, отсутствие электрических и магнитных полей (наводок).

В рабочих условиях, зачастую отличающихся от нормальных более широким диапазоном влияющих величин, при необходимости нормируется **дополнительная погрешность** СИ.

Существует три способа нормирования основной погрешности СИ:

– нормирование пределов допускаемой абсолютной ($\pm \Delta = \pm a$ КТ обозначается N или III для мер) или приведенной ($\pm \gamma = \Delta/X_N$) погрешностей, постоянных во всем диапазоне измерения (аддитивная составляющая) КТ обозначается 1,5 (аналоговые СИ с X_N в единицах величины) или $\overset{2,5}{\curvearrowright}$ для СИ с резко нелинейными шкалами (омметры);

– нормирование пределов допускаемой абсолютной ($\pm \Delta = \pm (a+bx)$ КТ обозначается N или III для мер) или относительной ($\pm \delta = \Delta/X_\delta$) погрешностей в функции измеряемой величины (мультипликативная составляющая) КТ обозначается $\textcircled{1,0}$ (мосты, счетчики, делители);

– нормирование постоянных пределов допускаемой основной погрешности, различных для всего диапазона измерений одного или нескольких участков (аддитивная + мультипликативная) КТ обозначается γ_K/γ_H (цифровые средства измерения).

В качестве предела допускаемой погрешности выступает наибольшая погрешность, вызываемая изменением влияющей величины, при которой СИ по техническим требованиям может быть допущено к применению. То же самое относится и к дополнительным погрешностям. При этом исходят из следующих положений:

– дополнительная погрешность имеет такой же вид, что и основная (абсолютная, относительная и приведенная);

– дополнительные погрешности, вызванные различными влияющими факторами, должны нормироваться отдельно.

Динамические характеристики отражают инерционные свойства СИ при воздействии на него меняющихся во времени величин параметров входного сигнала, внешних влияющих величин, нагрузки.

По степени полноты описания инерционных свойств СИ динамические характеристики делятся на полные и частные.

К полным динамическим характеристикам относятся:

– дифференциальное уравнение, описывающее работу СИ:

$$a_n \frac{d^n Y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} Y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dY(t)}{dt} + Y(t) = KX(t);$$

– передаточная функция $W(p) = Y(p)/X(p)$;

– переходная характеристика;

– импульсная переходная характеристика;

– амплитудно-фазовая характеристика;

– амплитудно-частотная характеристика для минимально-фазовых средств измерения;

– совокупность амплитудно-фазовых и фазово-частотных характеристик.

Кроме метрологических характеристик при эксплуатации средств измерений важны и *неметрологические характеристики*: показатели надежности, электрическая прочность, сопротивление изоляции, устойчивость к климатическим и механическим воздействиям, время установления рабочего режима и др.

Надежность средства измерений – это способность СИ сохранять нормированные характеристики при определенных условиях работы в течение заданного времени. Основными критериями надежности приборов являются вероятность и средняя продолжительность безотказной работы.

Вероятность безотказной работы определяется вероятностью отсутствия отказов прибора в течение определенного промежутка времени.

Средняя продолжительность – отношение времени работы прибора к числу отказов за это время.

1.3. Класс точности

Для высокоточных СИ и СИ, используемых в качестве образцовых, систематическая и случайная составляющие погрешности могут нормироваться отдельно. Для большинства СИ, предназначенных для технических измерений, нормируется предел допускаемого значения $\Delta X_{СЛ} + \Delta X_{СТ}$. На основе этой метрологической характеристики устанавливаются классы точности (КТ) СИ.

Класс точности – обобщенная характеристика точности СИ. В соответствии с ГОСТ 8.401–80 «ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования» КТ устанавливаются для СИ, у которых погрешность нормируется в виде пределов допускаемой основной и дополнительных погрешностей.

КТ присваиваются СИ при их разработке по результатам метрологической аттестации и подтверждаются (или не подтверждаются) при периодических поверках СИ в процессе эксплуатации. Основные правила нормирования погрешностей СИ в соответствии с ГОСТ 8.009–84 можно сформулировать следующим образом:

– нормировать следует все свойства СИ, влияющие на точность результатов измерений;

– каждое из подлежащих нормированию свойств следует нормировать по отдельности;

– способы нормирования должны давать возможность экспериментально проверить соответствие каждого экземпляра СИ установленным нормам и при этом так, чтобы указанная проверка была возможно более простой;

– нормирование должно быть выполнено так, чтобы по установленным нормам можно было выбирать СИ и расчетным путем оценивать погрешности результатов измерений.

В таблице приведены формулы для вычисления погрешностей и обозначения классов точности СИ.

Формулы для вычисления погрешностей и обозначения классов точности

Вид	Формула и примеры пределов допустимой погрешности	Обозначение КТ		СИ, рекомендуемые к обозначению таким образом
		в НТД	на СИ	
Абсолютная	$\Delta = \pm a$ $\Delta = \pm(a+bX)$ Пример: $\Delta = \pm 0,2A$	КТ N или КТ III	N III	Меры – Меры
Относительная	$\delta = \pm \Delta/X_D, \%$ Пример: $\delta = \pm 0,5\%$	КТ 0,5	⓪,5	Мосты, счетчики, делители, измерительные трансформаторы
	$\delta = \pm[c + d(X_K/X_D-1)], \%$ Пример: $\delta = \pm[0,02+0,01(X_K/X_D-1)], \%$	КТ 0,02/0,01	0,02/0,01	Цифровые СИ, магазины емкостей (сопротивлений)
	$\delta(x) = \pm X_{MIN}/X_D + \delta_0 + X_D/X_K$ Пример: $\delta(x) = \pm[0,02/X_D + 0,5/100 + X_D/10^6], \%$	КТ C или КТ III	C III	Цифровые частотомеры, мосты сопротивлений
Приведенная	При $X_N = X_K$ $\gamma = \pm \Delta \cdot 100\%/X_K$ Пример: $\gamma = \pm 1,5\%$	КТ 1,5	1,5	Аналоговые СИ, если X_N в единицах величины
	При X_N равном длине шкалы или ее части, мм $\gamma = \pm \Delta \cdot 100\%/X_K$ Пример: $\gamma = \pm 2,5\%$	КТ 2,5	2,5	Омметры, если X_N определяется длиной шкалы или ее части

Пример. Отчет по шкале прибора с пределами измерений 0 – 50 А и равномерной шкалой составил 25 А. Оценить пределы допустимой абсолютной погрешности этого отсчета при использовании различных СИ с КТ: 0,02/0,01; ⓪,5 и 0,5.

Решение: $\delta = \pm \Delta/X_D \pm [c + d(X_K/X_D-1)], \%$

Так как $X_K = 50 A$, $X_D = 25 A$, $c = 0,02$, $d = 0,01$, то

1. $\Delta = \pm [0,02 + 0,01(50/25 - 1)25/100] = \pm 0,0075 A$.

2. $\Delta = \pm \delta X_D/100 = 25 \cdot 0,5/100 = \pm 0,125 A$.

3. $\Delta = \pm \gamma X_K/100 = 50 \cdot 0,5/100 = \pm 0,25 A$.

2. Методика проведения поверки логометра и моста

2.1. Поверка логометра

1. Внешний осмотр.

2. Определение времени установления показаний (успокоения подвижной части). На прибор подают скачкообразно изменяемую величину, создающую установившееся отклонение указателя, примерно $2/3$ длины шкалы. Время определяют от момента изменения до остановки указателя. В зависимости от длины шкалы оно должно соответствовать: до 90 мм – 8 с, 90 – 150 мм – 14 с, 150 мм – 18 с.

3. Определение основной погрешности и вариаций показаний осуществляют на всех числовых отметках шкалы. Сначала надо установить сопротивления линии $R_{л1}$ и $R_{л2}$. Затем при помощи образцового магазина сопротивлений устанавливают указатель прибора на поверяемую отметку шкалы, плавно подводя его к отметке слева (прямой ход), определяя при этом сопротивление R_1 . Эта величина заносится в соответствующую графу протокола испытаний. Затем осуществляется поверка при обратном ходе – подводя указатель к поверяемой точке справа, определяя R_2 . Рассчитать погрешность и вариацию.

4. Определение влияния изменения напряжения питания на показания на трёх числовых отметках (начале, середине и конце) шкалы. Для этого указатель устанавливают, плавно подводя справа и слева, к выбранной отметке при номинальном напряжении, записывают R_1 и R_2 . затем изменяют напряжение питания и записывают R'_1 и R'_2 . Наибольшая из двух разностей $(R_1 - R'_1)$ и $(R_2 - R'_2)$, умноженная на $100/(R_K - R_H)$, не должна превышать 0,5 предела допустимой погрешности.

5. Заполнение протокола.

6. Вывод о соответствии прибора техническим требованиям.

2.2. Поверка моста

1. Внешний осмотр.

2. Определение характера успокоения подвижной части. Для этого подают скачкообразный сигнал, соответствующий одному из показаний поверяемого прибора в начале, середине или конце шкалы, и наблюдают за колебаниями указателя. Он должен устанавливаться в положении равновесия после двух-трёх полуколебаний. Если число полуколебаний другое, то необходимо изменить чувствительность электронного усилителя поворотом регулировочного винта.

3. Определение времени прохождения указателем всей шкалы. При помощи секундомера определяют время прохождения указателя при прямом и обратном ходе. Окончательное значение принимают как среднее арифметическое из четырёх измерений.

4. Определение порога чувствительности осуществляют в трёх точках шкалы при смещении указателя как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения показаний. За порог чувствительности принимают минимальное сопротивление,

которое не должно превышать 0,1% – для приборов с классом точности 0,25 и 0,5 или 0,2% – с классом точности 1,0 от разности ($R_K - R_H$).

5. Определение основной погрешности и вариации показаний.
6. Заполнение протокола.
7. Вывод о соответствии прибора техническим требованиям

3. Описание установки

При поверке моста и логометра используют схему, приведённую на рисунке.

Установка включает: образцовый прибор одинарно-двойной мост постоянного тока типа Р329, применяемый в качестве меры сопротивления 1; логометр 2; автоматический уравновешенный мост 3; прибор А – 566.

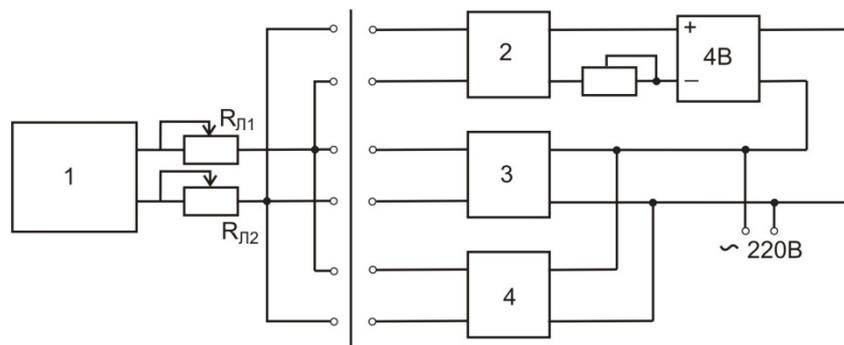


Схема лабораторной установки

К образцовому прибору с помощью переключателя П подсоединяются входные клеммы поверяемого прибора. Питание логометра осуществляется от ИПС ($U_{ПИТ}=4В$). Для изменения $U_{ПИТ}$ служит резистор R . Для имитации сопротивления линии используются регулируемые резисторы $R_{Л1} = R_{Л2} = 0,5 R_{Л}$.

Питание установки 220 В должно быть включено за 5 – 10 мин до начала поверки.

4. Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип действия, конструкцию схемы автоматического уравновешенного моста, логометра и прибора А – 566.
2. Ознакомиться с методикой поверки, схемой экспериментальной установки.
3. Подготовить протоколы поверки. Протоколы поверки выполняются на отдельной странице. Для каждого прибора должен быть отдельный протокол. Записать все данные о приборах в соответствующие протоколы.
4. Изменяя сопротивление моста Р329, подойти к каждой оцифрованной отметке с левой стороны и записать показания моста в графу 3 «Прямой ход», а затем с правой стороны, записывая данные в графу «Обратный ход».
5. Обработать результаты.

ПРОТОКОЛ

Дата _____ поверки _____
типа _____ № _____ градуировки _____
с пределами измерений от _____ до _____ класса точности _____ представлен-
ного _____
Поверка производилась по образцовому магазину сопротивлений
№ _____ класса точности _____
Результаты внешнего осмотра

Результаты поверки

Показания поверяемого прибора, °С	Сопротивление по градуировочной таблице R, Ом	Показания образцового прибора		Приведённые погрешности, %		
		Прямой ход R ₁ , Ом	Обратный ход R ₂ , Ом	Прямой ход	Обратный ход	Вариация
1	2	3	4	5	6	7

Для моста

Время прохождения указателем всей шкалы _____ с
Порог чувствительности _____
Поверку производил _____

Вывод:

5. Обработка результатов измерений

Протокол для каждого прибора должен быть выполнен на отдельной странице (см. протокол выше).

Для автоматического моста и логометра при проведении эксперимента надо результаты заносить в графы 1–4 протокола.

Для заполнения графы 2 использовать данные одной из таблиц, приведённых на лицевой панели лабораторного стенда.

Затем необходимо рассчитать приведённые погрешности для всех числовых отметок шкалы (графы 5–7).

Вариацию выходного сигнала рассчитывают по формуле

$$\nu = |R_1 - R_2|. \quad (1)$$

Приведённую вариацию выходного сигнала определить по формуле

$$V = \frac{\nu}{R_K - R_H} \cdot 100\%. \quad (2)$$

За основную погрешность прибора принимают наибольшие по абсолютному значению величины приведённой погрешности. Сравнить с классом точности прибора. Сделать выводы, в которых необходимо классифицировать погрешность и пригодность прибора к измерениям.

6. Содержание отчета

Отчёт должен быть оформлен в соответствии с требованиями стандарта предприятия (МГТУ им. Г.И. Носова).

Отчёт составляется каждым студентом и должен включать в себя:

1. Наименование работы.
2. Цель и основные задачи.
3. Теоретическое введение.
4. Описание установки.
5. Результаты эксперимента, оформленные в виде протоколов.
6. Выводы по результатам поверки, в выводах необходимо классифицировать погрешность прибора (систематическая, случайная).

Защита результатов лабораторной работы осуществляется индивидуально или подгруппой перед выполнением следующей работы.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы измерения температуры?
2. На чём основано действие термометров сопротивления?
3. Какие материалы используют для изготовления термометров сопротивления?
4. Какие приборы применяют в комплекте с термометрами сопротивления?
5. Каковы преимущества подключения термометров сопротивления ко вторичному прибору по трёхпроводной схеме?
6. Достоинства и недостатки неуравновешенных мостов.
7. Как работает уравновешенный мост?
8. Каковы особенности измерительной схемы автоматических электронных мостов?
9. В чём заключается условие равновесия мостов?
10. Принцип действия работы логометров.
11. Какие виды погрешностей вы знаете?
12. Для чего выполняют поверку прибора и что понимают под классом точности прибора?

Библиографический список

1. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1978. – 704 с.
2. Эрастов В.Е. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие. – Томск: ТУСУР, 2003. – 175 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3
ИСПЫТАНИЕ И ПОВЕРКА КОМПЕНСАЦИОННОГО
АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИОМЕТРА КСП-3,
МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МИЛЛИВОЛЬТМЕТРА Ш-4540
И ВТОРИЧНОГО ПРИБОРА «ДИСК-250»
(СТЕНД № 12)

Цель работы:

1. Изучить цель и порядок проведения поверки контрольно-измерительных приборов.
2. Изучить конструкцию КИСС-03. Освоить методику поверки с помощью КИСС-03.
3. Произвести поверку потенциометра, милливольтметра и прибора «Диск-250» с заполнением протоколов поверки.
4. Освоить методику оценки погрешностей.

1. Методика проведения поверки автоматического потенциометра типа КСП-3, милливольтметра типа Ш-4540 и потенциометра типа «Диск-250» с помощью КИСС-03

При проведении поверки соединение образцового прибора с поверяемым осуществляют медными или термоэлектрическими проводами с учетом требуемого внешнего сопротивления.

После прогрева потенциометра или милливольтметра при любом значении задаваемого напряжения в диапазоне измерения необходимо оценить реакцию приборов на изменение входного сигнала. Убедившись в том, что приборы правильно реагируют на изменение входного сигнала, необходимо приступить к поверке.

Для проведения поверки автоматического потенциометра типа КСП-3, милливольтметра типа Ш-4540 и прибора «Диск-250» в промышленных условиях необходимо:

- «закоротить» прибор;
- сравнить показания прибора с показаниями образцового стеклянного термометра, установленного рядом с поверяемым прибором.

При этом все закороченные приборы должны показывать одинаковую температуру, равную температуре окружающей среды того помещения, где находятся приборы. Эту же температуру должен показывать образцовый стеклянный термометр.

Поверка указанных приборов в данной лабораторной работе осуществляется с помощью калибратора-измерителя стандартных сигналов КИСС-03.

При этом поверяемые приборы не «закорачивают», но на приборе КИСС-03 первым значением температуры вводят «ноль», что равносильно операции «закорачивания».

После введения «нуля» на приборе КИСС-03 стрелки поверяемых приборов должны установиться на делении значения температуры помещения, где нахо-

дятся приборы (температура холодных концов подсоединенных к поверяемым приборам термопар).

При проведении поверки автоматического потенциометра типа КСП-3, милливольтметра типа Ш-4540 и потенциометра типа «Диск-250», которые преобразуют сигналы с термоэлектрических преобразователей (термопар), необходимо учитывать температуру холодных концов подключенной термопары (температуру места присоединения компенсационных проводов к прибору).

Если градуировочные таблицы поверяемых приборов составлены для условий, когда температура холодных концов подключенной термопары равна 0°C , то значения термоЭДС находят путем вычитания термоЭДС, соответствующей температуре холодных концов. Например, для температуры 150°C , которую измеряет термопара градуировки ХК значение термоЭДС при температуре свободных концов 0°C из таблицы равно 10,591 мВ. Для температуры 30°C значение термоЭДС равно 1,947 мВ. Разница $10,591 - 1,947 = 8,644$ мВ устанавливается на образцовом потенциометре.

После введения «нуля» на приборе КИСС-03 стрелка потенциометра типа «Диск-250» не установится на «ноль», а покажет значение температуры окружающей среды $t_{\text{ок}}$. Это значение записывается в протокол поверки. В дальнейшем эту поправку на температуру окружающей среды необходимо вычитать из стандартных сигналов прибора КИСС-03.

Пример: $t_{\text{ок}} = 28^{\circ}\text{C}$; необходимо поверить прибор на отметках « 0°C », « 20°C », « 30°C »,..., « 100°C ».

Для этого на приборе КИСС-03 нужно выставлять следующие температуры $t_{\text{пов}}$:

при поверке отметки « 0°C » $t_{\text{пов}} = 0 - 28 = -28^{\circ}\text{C}$;

при поверке отметки « 20°C » $t_{\text{пов}} = 20 - 28 = -8^{\circ}\text{C}$;

при поверке отметки « 30°C » $t_{\text{пов}} = 30 - 28 = 2^{\circ}\text{C}$;

и т.д.

При этом необходимо помнить, что прибор КИСС-03 может генерировать только положительное напряжение. Для получения отрицательного напряжения нужно изменить полярность концов.

Однако поправка на температуру окружающей среды не учитывается для приборов, имеющих встроенный манганиновый резистор, который тумблером или переключкой переключается вместо компенсационной медной катушки. Такой манганиновый резистор имеется в автоматическом потенциометре КСП-3.

При отсутствии встроенной манганиновой катушки ее рекомендуется изготовить со следующими номинальными значениями сопротивлений:

$(9,02 \pm 0,005)$ Ом – для приборов градуировки ХК;

$(0,78 \pm 0,001)$ Ом – для приборов градуировки ПП;

$(5,42 \pm 0,005)$ Ом – для приборов градуировки ХА.

Как было сказано ранее, автоматический потенциометр типа КСП-3, в отличие от потенциометра типа «Диск-250», обладает определенными конструктивными особенностями: в схеме КСП-3 имеется градуировочное манганиновое сопротивление, имитирующее нахождение прибора при нулевом значении температуры в градусах Цельсия. В это состояние прибор приходит при установке

внутренней переключки в положение «градуировка». Поэтому потенциометр типа КСП-3 поверяется стандартными сигналами КИСС-03 по шкале прибора. При этом минусовую характеристику ЭДС термопары извлекают, вводя клавишей КИСС-03 «+/-».

Поверку приборов проводят с помощью калибратора-измерителя стандартных сигналов КИСС-03. Калибратор-измеритель стандартных сигналов КИСС-03 предназначен для проверки, настройки и поверки показывающих и регистрирующих приборов, различных измерительных комплексов, а также может применяться при выполнении пуско-наладочных работ в различных отраслях промышленности.

Внешний вид прибора приведен на рис. 1.

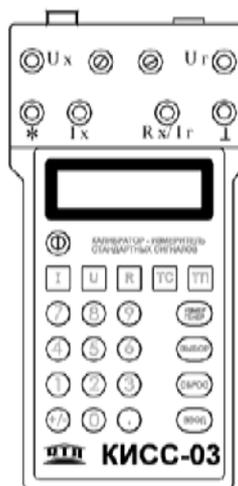


Рис. 1. Внешний вид прибора

Основными являются следующие функции:

- измерение значений постоянного тока или напряжения;
- измерение сопротивления;
- измерение температуры с помощью термопреобразователей сопротивления (ТС) с номинальной статической характеристикой преобразования 50М, 100М, 50П, 100П (в дальнейшем – ТСМ50, ТСМ100, ТСП50, ТСП100 соответственно), Pt100, подключенных по 4-проводной линии связи;
- измерение температуры с помощью термопар (ТП) типов S, K, L, В, А-1, N, J (ГОСТ Р 8.585-2001) с компенсацией температуры «холодных» спаев;
- генерация постоянного тока или напряжения с возможностью плавной регулировки и задания от одного до шести значений генерируемого параметра; вывод значений осуществляется циклически с помощью нажатия одной клавиши; имеется возможность изменять направление вывода значений;
- генерация ЭДС ТП типов S, K, L, В, А-1, N, J с возможностью компенсации ЭДС «холодных» спаев и плавной регулировки;
- генерация и измерение постоянного тока и/или напряжения одновременно с возможностью установки одного значения генерируемого параметра.

Назначение функциональных клавиш приведено в табл. 1.

Таблица 1

Назначение функциональных клавиш КИСС-03

Функциональная клавиша	Назначение
	Применяется во время диалога для подтверждения выбора текущего режима работы, типа термодатчика, а также в режиме генерации для ввода числовых значений и плавной регулировки выходного параметра
	Применяется для продолжения работы в случае возникновения различных ошибочных ситуаций, для отмены ошибочно введенного числового значения, а также для возврата к предыдущему режиму работы прибора
	Применяется во время диалога для выбора типа ТП или ТС, а также в режиме генерации тока или напряжения для выбора следующего числового значения генерируемого сигнала (если их количество более одного)

Окончание табл. 1

Функциональная клавиша	Назначение
	Применяется для перехода в следующий режим работы. Данный переход может быть осуществлен на любом этапе работы прибора
	Клавиша выбора режима измерения и/или генерации тока
	Клавиша выбора режима измерения и/или генерации напряжения. В режимах, связанных с генерацией напряжения, клавиша выключает автоподстройку выходного напряжения. Данная возможность может быть использована при работе с многоканальными приборами, имеющими на входе при переключении каналов высокий уровень помех или шумов
	Клавиша выбора режима измерения сопротивления
	Клавиша выбора режима измерения температуры с помощью ТС. В режиме генерации сигнала данная клавиша активизирует сервисный режим электронной таблицы: зависимость значения ТС от температуры по ГОСТ 6651-94
	Клавиша выбора режима измерения температуры с помощью ТП. В режиме генерации данная клавиша активизирует режим генерации ЭДС ТП в зависимости от температуры с/без компенсации температуры «холодных» спаев
	Клавиша ввода знака значений температуры. В режиме генерации сигнала позволяет изменить направление выбора следующего числового значения (если их количество более

	одного)
	Клавиша включения/выключения прибора. При включении прибора время удержания данной клавиши в нажатом состоянии должно составлять не более 1 с

Все остальные клавиши предназначены для ввода цифровой информации.

Существует три основных режима работы прибора: измерение; генерация; измерение и генерация одновременно.

Циклический переход из одного режима в другой осуществляется с помощью  клавиши по схеме, приведенной на рис. 2.

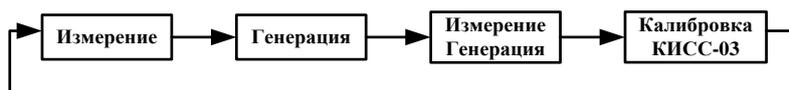


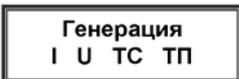
Рис. 2. Схема циклического переключения режимов работы КИСС-03

Во всех режимах работы выбор предела измерения/генерации осуществляется автоматически.

Порядок проведения генерации ТЭДС термопар для осуществления поверки приборов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Порядок проведения генерации ТЭДС термопар
для осуществления поверки приборов

Порядок действий	Результат
1. Последовательно нажимая клавишу «Измерение/Генерация», перейти в режим «Генерация»	
2. Клавишей «ТП» установить данный режим работы. Последовательно нажимая клавишу «Выбор», установить нужный тип ТП. Нажать клавишу «Ввод»	
3. Ввести значение температуры ТП. Нажать клавишу «Ввод» Примечание. При вводе отрицательного значения температуры на ЖКИ будет отображаться соответствующее отрицательное значение напряжения ТП. Прибор может генерировать только положительное напряжение. Для получения отрицательного напряжения измените полярность концов	

Порядок действий	Результат
<p>4. В верхней строке ЖКИ отображается температура ТП, направление плавного изменения значения температуры и тип ТП. В нижней строке – значение генерируемой ЭДС</p> <p>Примечание. Плавное изменение температуры производится клавишей «Ввод». Продолжительное (более 1 с) нажатие клавиши приводит к ускоренному изменению значения. При необходимости вхождения в минусовые значения ЭДС нужно использовать клавишу «+/-»</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <p style="text-align: center;">+1000.5 °C ↑ ТП К 16.133 мВ</p> </div>

2. Описание установки

Установка состоит из калибратора измерительных стандартных сигналов – КИСС-03, автоматического потенциометра типа КСП-3, милливольтметра типа Ш-4540 и прибора «Диск-250». С помощью переключателя можно подсоединить любой из приборов к КИСС-03.

Схема лабораторной установки приведена на рис. 3.

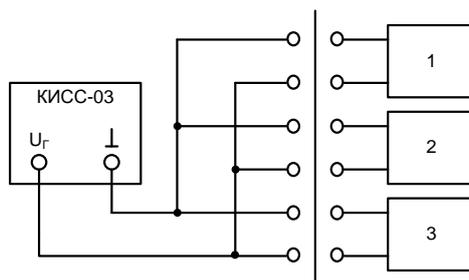


Рис. 3. Схема лабораторной установки:

- 1 – автоматический потенциометр типа КСП-3;
2 – потенциометр типа «Диск-250»; 3 – милливольтметр типа Ш-4540

Необходимо помнить, что в потенциометрах КСП-3 компенсация температуры свободных концов осуществляется с помощью медного резистора, встроенного в схему компенсации.

Для прибора «Диск-250» необходимо знать температуру в лаборатории и составить градуировочную таблицу с учетом этой температуры (указать эту температуру перед таблицей протокола).

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методикой поверки, схемой экспериментальной установки.
2. Подготовить протоколы поверки.

3. Включить прибор КИСС – 03 в сеть. Подготовить прибор КИСС-03 к работе. Для этого выполнить следующее:

- подключить КИСС-03 к потенциометру типа «Диск-250»;
- с режима «Измерение» перейти в режим «Генерация» нажатием кнопки «Генерация»;
- выбрать ТП (термопара), выбрать градуировку термопары (*L*) с помощью кнопки «Выбор». После выбора нужной термопары вводим прибор в работу с помощью кнопки «Ввод»;
- ввести «ноль» и проверить установку стрелки потенциометра типа «Диск-250» на деление, соответствующее температуре окружающей среды;
- записать температуру окружающей среды в протокол поверки с целью последующего ее вычитания из стандартных сигналов КИСС-03;
- последовательно задавать поверяемую температуру в приборе КИСС-03 и записывать показания КИСС-03 (в мВ) и соответствующие показания поверяемого прибора в протоколы поверки в соответствующие графы (протокол поверки составляются для каждого прибора на отдельной странице);
- каждый раз при вводе нового значения поверяемой температуры, сначала нажимаем кнопку «Сброс», затем с клавиатуры прибора КИСС-03 вводим температуру и нажимаем кнопку «Ввод».

4. Выполнить п. 3 для автоматического потенциометра типа КСП-3 и милливольтметра.

5. Так как характеристика термопары для отрицательных температур отличается от положительных, то при введении отрицательных значений сначала нажимаем кнопку «±», затем набираем число.

6. Рассчитать приведенную погрешность для каждого прибора и определить его пригодность к работе.

4. Обработка результатов

Протокол для каждого прибора должен быть выполнен на отдельной странице (приведен ниже).

Необходимо рассчитать приведённые погрешности для всех числовых отметок шкалы (графа 4 в таблице протокола).

За основную погрешность прибора принимают наибольшие по абсолютному значению величины приведённой погрешности. Основную погрешность необходимо сравнить с классом точности прибора и сделать выводы, в которых необходимо классифицировать погрешность и пригодность прибора к измерениям.

ПРОТОКОЛ

Дата _____ поверки _____ типа _____

№ _____ градуировки _____ с пределами измерений от _____ до _____
класса точности _____ представленного _____

Поверка производилась по калибратору-измерителю стандартных сигналов
КИСС-03

№ _____ класса точности _____

Результаты внешнего осмотра _____

Результаты поверки

$t_{o.c.}$ = (только для «Диска-250»)

Поверяемая точ-ка, °C	Стандартный сигнал КИСС-03, мВ	Показания пове-ряемого прибо-ра, °C	Приведённая погрешность, %
1	2	3	4

Вывод:

5. Содержание отчета

Отчёт должен быть оформлен в соответствии с требованиями стандарта предприятия (МГТУ им. Г.И. Носова).

Отчёт составляется каждым студентом и должен включать в себя:

1. Наименование работы.
2. Цель и основные задачи.
3. Теоретическое введение.
4. Описание установки.
5. Результаты эксперимента, оформленные в виде протоколов.
6. Выводы по результатам поверки, в выводах необходимо классифицировать погрешность прибора (систематическая, случайная).

Защита результатов лабораторной работы осуществляется индивидуально или подгруппой перед выполнением следующей работы.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности методики проведения поверки автоматического потенциометра типа КСП-3 и вторичного прибора «Диск-250»?
2. Как осуществляется компенсация температуры свободных концов термоэлектрического преобразователя в автоматическом потенциометре?
3. Что такое основная и дополнительная погрешность прибора?
4. Какие погрешности необходимо рассчитать для того, чтобы сделать вывод о результатах поверки?

5. Для чего выполняют поверку прибора и что понимают под классом точности прибора?
6. Какие существуют виды поверок?
7. Перечислить метрологические характеристики средств измерений.
8. Что относится к неметрологическим характеристикам средств измерений?
9. Отчет по шкале прибора с пределами измерений 0–10 А и равномерной шкалой составил 2,5 А. Оценить пределы допустимой абсолютной погрешности этого отсчета при использовании различных СИ с КТ: 0,02/0,01; $\textcircled{0,5}$ и 0,5.

Библиографический список

1. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1978. – 704 с.
2. Эрастов В.Е. Метрология, стандартизация и сертификация. учеб. пособие. – Томск: ТУСУР, 2003. - 175 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

(СТЕНД №17)

Цель работы:

1. Изучить принцип действия и устройство термометров сопротивления. Стандартные и полупроводниковые термометры сопротивления.
2. Ознакомиться с характеристиками металлических полупроводниковых термометров сопротивления.
3. Овладеть методикой для определения показателя тепловой инерции термометра сопротивления.
4. Ознакомиться с устройством и методикой измерения сопротивления различными приборами.

1. Теоретическое введение

Терморезистором называется проводник или полупроводник с большим температурным коэффициентом сопротивления, находящийся в теплообмене с окружающей средой. Теплообмен может происходить различными путями: конвекцией, теплопроводностью среды, теплопроводностью самого проводника и излучением.

Интенсивность теплообмена проводника с газовой или жидкой средой определяют следующие основные факторы:

- температура среды и самого проводника;
- физические свойства среды (плотность, теплопроводность, вязкость);
- скорость протекания среды;
- геометрия проводника и состояние его поверхности;
- размеры и форма арматуры, к которой крепится проводник.

Зависимость сопротивления проводника от перечисленных факторов можно использовать для измерения различных неэлектрических величин, характеризующих газовую или жидкую среду: температуры, скорости, концентрации, плотности (вакуума). При конструировании соответствующих преобразователей стремятся к тому, чтобы теплообмен проводника и среды определялся в основном только измеряемой величиной, а влияние остальных факторов было минимальным.

Терморезисторы, используемые для измерения температуры, часто называют **термометрами сопротивления**. Их принцип действия основан на изменении электрического сопротивления под действием температуры $R = f(t)$. Они применяются для измерения температуры в диапазоне от -270 до 1600°C . По типу используемого материала различают металлические и полупроводниковые терморезисторы.

Термометры сопротивления бывают одинарные и двойные. В двойных термометрах сопротивления встроены два изолированных друг от друга чувствительных элемента, применяемые для одновременного измерения температуры одной точки двумя приборами.

Основные факторы, влияющие на погрешность измерения температуры технологических объектов, – это инерционность термодатчиков, неправильная их установка, нарушение условий монтажа и эксплуатации приборов.

Инерционность термодатчиков проявляется с увеличением скорости изменения температуры объекта, так как возникает значительная разница в показаниях прибора и истинной температурой объекта.

При использовании термодатчиков в агрессивной среде и высоких давлениях за счет использования соответствующих защитных гильз значительно увеличивается их инерционность. Для уменьшения инерционности зазор между датчиком и установочной гильзой по всей длине заполняют средой с большой теплопроводностью. При рабочей температуре 0...200°C используют компрессионное масло, при температуре свыше 200°C – чугунные или бронзовые опилки.

Термометры сопротивления по точности подразделяют на три класса; по инерционности – на малоинерционные (до 9 с), среднеинерционные (10...80 с), высокоинерционные (до 4 мин).

В соответствии с требованиями производства датчики температур имеют различную монтажную (установочную) длину в интервале 60...3200 мм.

1.1. Металлические термометры сопротивления

Как известно, сопротивление металлов увеличивается с увеличением температуры. Для изготовления металлических терморезисторов обычно применяются медь, платина, никель, железо, иногда молибден и вольфрам.

Зависимость сопротивления металлов от температуры не линейная и записывается так:

$$R = C \cdot e^{\alpha T}, \quad (1)$$

где C – коэффициент, зависящий от материала и конструктивных размеров проводника;

T – абсолютная температура металла;

α – температурный коэффициент сопротивления, являющийся функцией температуры.

Для практических расчетов пользуются разложением этой функции в степенной ряд:

$$R = R_0 \left[1 + a \cdot (T - T_0) + b \cdot (T - T_0)^2 + c \cdot (T - T_0)^3 + \dots \right], \quad (2)$$

где R – сопротивление металла при температуре T ;

R_0 – сопротивление металла при температуре T_0 ;

a, b, c, \dots – постоянные коэффициенты.

Медные термометры сопротивления (рис. 1) применяются для измерения температуры в диапазоне от –180 до 200°C (ГОСТ Р 8.625-2006 ГСИ. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля), часто используют выпускаемые серийно. Медные терморезисторы обозначают ТСМ (термосопротивления медные).

Градуировка ТСМ: 10М, 50М, 100М (буква «М» обозначает материал, из которого сделан термометр сопротивления, цифра обозначает номинальное сопро-

тивление, соответствующее 0°C), а также используются градуировки: гр. 23 имеет сопротивление $53,0\ \text{Ом}$ при 0°C ; гр. 24 имеет сопротивление $100,0\ \text{Ом}$ при 0°C ;

Удельное сопротивление $\rho = 0,17 \cdot 10^{-7}\ \text{Ом}\cdot\text{м}$.

Степень чистоты металла $W = R_{100}/R_0 = 1,428$.

Функция преобразования медного терморезистора в диапазоне от 0 до 200°C линейна и имеет вид

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (3)$$

где R_0 – сопротивление при 0°C ;

$\alpha = 4,2 - 4,27 \cdot 10^{-3}\ \text{K}^{-1}$ – температурный коэффициент.

Чувствительный элемент медного терморезистора (рис. 1, а) представляет собой пластмассовый цилиндр 1, на который бифилярно в несколько слоев намотана медная проволока 2 диаметром $0,1\ \text{мм}$. Сверху катушка покрыта глифталевым лаком. К концам обмотки припаиваются медные выводные провода 3 диаметром $1,0-1,5\ \text{мм}$. Провода изолированы между собой асбестовым шнуром или фарфоровыми трубочками. Чувствительный элемент вставляется в тонкостенную металлическую гильзу 4. Гильза с выводными проводами помещается в защитный чехол (рис. 1, б) который представляет собой закрытую с одного конца трубку 1. На открытом ее конце помещается клеммная головка 2. Для удобства монтажа защитный чехол может иметь фланец 3.

Достоинством применения меди, как материала, является дешевизна, простота получения тонкой проволоки в различной изоляции, возможно получения высокой чистоты меди, линейная характеристика.

Недостатки – малое удельное сопротивление ρ , интенсивное окисление при невысоких температурах.

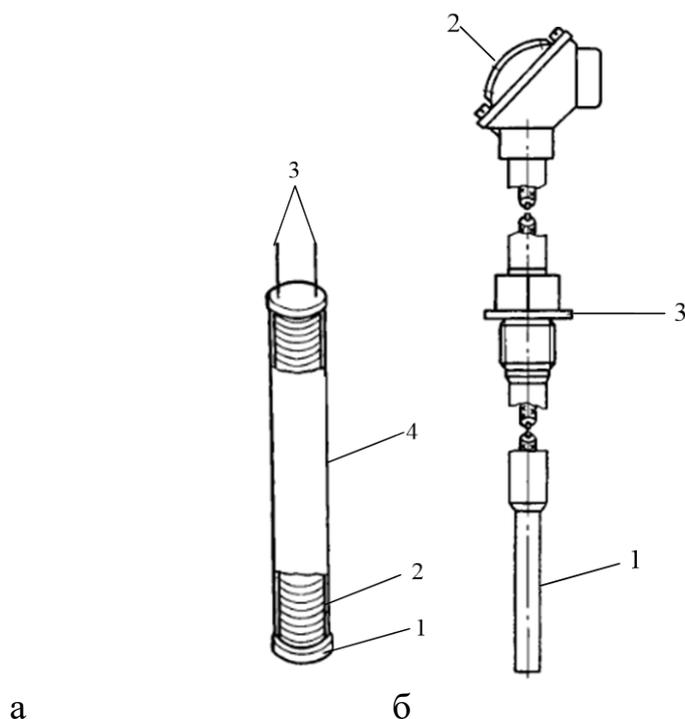


Рис. 1. Конструкция термометра сопротивления медного

Платиновые термометры сопротивления (рис. 2) представляют собой неизолированную платиновую проволоку 2 диаметром 0,05...0,07 мм, намотанную на каркас размером 100×10 мм. Обмотка укладывается в зубчатую нарезку на краях каркаса. В качестве каркаса используют материалы, обладающие термостойкостью и высокими электроизоляционными свойствами: слюду, кварц, фарфор.

К концам обмотки припаиваются выводы 3 из серебряной проволоки, которые изолируют фарфоровыми бусами. В термометрах сопротивления, предназначенных для измерения температуры до 100°С, возможно применение выводов из меди.

Обмотку с каркасом заключают между двух слюдяных прокладок 4, затем всю конструкцию собирают в пакет серебряной лентой и заключают в тонкостенную алюминиевую трубку, а затем в чехол из нержавеющей стали. Выводы датчика подключают к зажимам специальной платы, установленной в головке защитного чехла.

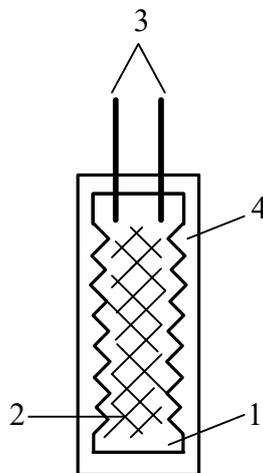


Рис. 2. Конструкция термометра сопротивления платинового

Функция преобразования платинового терморезистора нелинейная и обычно аппроксимируется квадратичным трехчленом:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2). \quad (4)$$

Температурный коэффициент платины примерно равен $\alpha = 3,91 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Обозначаются термометры сопротивления платиновые (ТСП) с соответствующей градуировкой: гр. 20 имеет сопротивление $R_0 = 10,0 \text{ Ом}$ при 0°С, гр. 21 – 46,0 Ом; гр. 22 – 100,0 Ом. Также существуют градуировки: 1П, 5П, 10П, 100П, 500П.

Пределы измерения -260...1000°С.

Удельное сопротивление $\rho = 0,098 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

$W = R_{100}/R_0 = 1,392$ – степень чистоты металла.

Номинальные функции преобразования (статические характеристики) медных и платиновых терморезисторов и их погрешность определяются по ГОСТ Р 8.625-2006.

Схемы включения металлических терморезисторов. Термометры сопротивления и провода, соединяющие его с вторичным прибором, включены последова-

тельно. Обычно используются медные провода, сопротивление которых зависит от их температуры. Температурные изменения сопротивления проводов приводят к погрешности измерения температуры.

Значения W_{100} , определяемые как отношение сопротивления ТС при 100°C R_{100} к сопротивлению при 0°C R_0 , должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Номинальные и допустимые значения W_{100}

Тип ТС	Класс допуска	Номинальное значение W_{100}	Наименьшее допускаемое значение W_{100}
Платиновый (ТСП)	А	1,3850	1,3845
		1,3910	1,3905
	В	1,3850	1,3840
		1,3910	1,3900
	С	1,3850	1,3835
		1,3910	1,3895
Медный (ТСМ)	А	1,4260	1,4255
		1,4280	1,4275
	В	1,4260	1,4250
		1,4280	1,4270
	С	1,4260	1,4240
		1,4280	1,4260
Никелевый (ТСН)	С	1,6170	1,6130

Сопротивление терморезистора определяется его температурой, зависит не только от температуры окружающей среды, но и от проходящего по нему тока. Перегрев медного термометра током не должен превышать $0,4^{\circ}\text{C}$, а платинового $0,2^{\circ}\text{C}$. Для этого ток не должен превосходить $10...15$ мА.

Градуировочную таблицу металлических термометров сопротивления смотри в ГОСТ.

Конструкция промышленно выпускаемых металлических термометров сопротивления приведена на рис. 3.

Чувствительный элемент 1 помещают в защитный чехол 9, который предохраняет его от механических повреждений и агрессивных воздействий окружающей среды. Выводные провода чувствительного элемента изолируют фарфоровыми изоляторами 3 и присоединяют к контактным клеммам 4, расположенным в головке 5 преобразователя, которую закрывают крышкой 6 с прокладкой 7. Герметизацию выходных проводов чувствительного элемента осуществляют с помощью эпоксидного компаунда 8. Свободное пространство защитного чехла заполняют окисью алюминия 9.

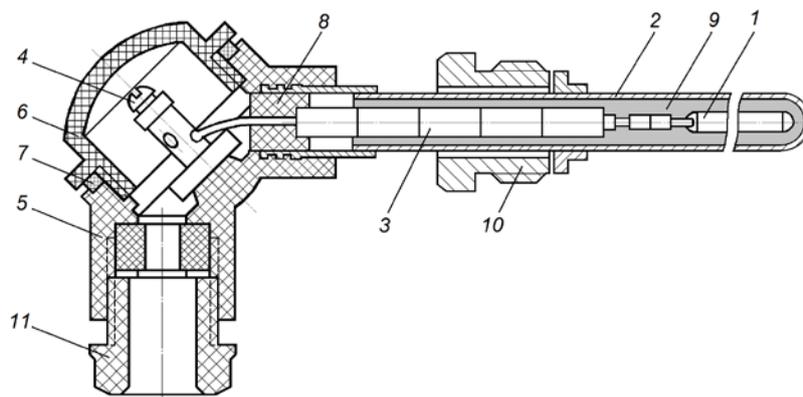


Рис. 3. Термопреобразователь сопротивления

Термопреобразователь может иметь штуцеры 2 и 3 для крепления по месту к объекту контроля и для ввода соединительных проводов измерительных приборов.

Качество герметизации является важным фактором обеспечения надежности термометров сопротивления. Попадание влаги может снизить сопротивление чувствительного элемента, привести к его окислению, вызывать шумы в выходном сигнале.

1.2. Полупроводниковые термометры сопротивления (термисторы)

Чувствительный элемент *полупроводникового терморезистора термистора* изготавливается из окислов различных металлов: меди, кобальта, магния, марганца и др. То есть термисторы – это по сути термометры сопротивления, выполненные на основе смешанных оксидов переходных металлов. Два основных типа термисторов – NTC (с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления) и PTC (с положительным коэффициентом). Наиболее распространенный тип – NTC. PTC-термисторы используются только в очень узких диапазонах температур, в несколько градусов, в основном в системах сигнализации и контроля.

Размолотые в мелкий порошок компоненты прессуются и спекаются в виде столбика, шарика или шайбы. В надлежащих местах напыляются электроды и подпаиваются выводы из медной проволоки. Для предохранения от атмосферных воздействий чувствительный элемент термистора покрывают защитной краской, помещают в герметизирующий металлический корпус или запаивают в стекло.

С увеличением температуры сопротивление термисторов уменьшается. Их функцию преобразования (рис. 4) обычно аппроксимируют выражением

$$R_t = Ae^{B/t}, \quad (5)$$

где R_t – сопротивление термистора при температуре T в кельвинах;

A и B – постоянные, зависящие от материала и технологии, причем A зависит, кроме того, от размеров термистора и его формы.

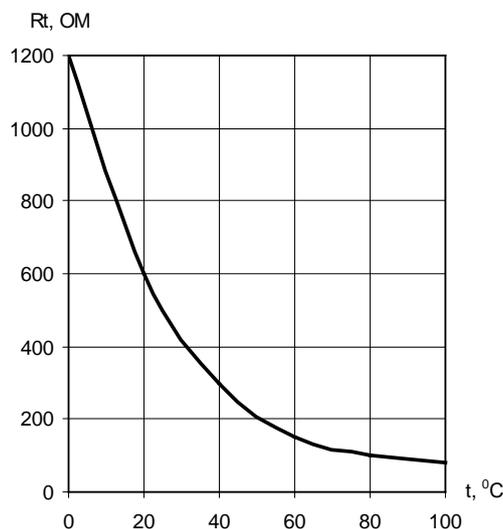


Рис. 4. Зависимость $R_t = f(t)$ полупроводниковых термометров сопротивления

Термисторы изготавливаются с номинальным сопротивлением (при 20°C) от 1 до 200 кОм, в зависимости от типа они могут применяться для измерения температур от -100 до $120\dots 600^\circ\text{C}$. Их чувствительность в 6–10 раз больше, чем чувствительность металлического терморезистора. Кроме того, термисторы имеют значительно меньшие массы и размеры. Имеются термисторы, выполненные в виде шариков диаметром от 0,006 до 2,5 мм. Теплоемкость таких термисторов на несколько порядков меньше, чем у металлических терморезисторов. Малая теплоемкость обуславливает малую инерционность термисторов.

Имеются термисторы с постоянной тепловой инерцией несколько миллисекунд.

Недостатком термисторов является нелинейность функции преобразования, большой разброс их параметров, а также старение и некоторая нестабильность характеристик. В течение первой недели их сопротивление может измениться на 1–1,5%, а за несколько месяцев еще на 1%. В дальнейшем изменение сопротивления термистора происходит медленнее, не превышая 0,2% в год.

Термисторы обычно включаются в схему неравновесного или автоматического моста. Приборы имеют индивидуальную градуировку, что обусловлено большим разбросом параметров и характеристик преобразователей. К вторичному прибору термисторы присоединяются с помощью двухпроводного кабеля. Погрешность, вызванная изменением параметров кабеля, ничтожна, поскольку сопротивление и чувствительность термистора много больше сопротивления линии связи и ее чувствительности к изменению температуры.

Термисторы применяются для измерения температуры в тех случаях, когда не требуется высокая точность, но нужно измерить температуру малых объектов, обладающих малой теплоемкостью. Они широко используются, например, в биологии. С помощью термистора, смонтированного на острие иглы, можно измерить температуру внутренних органов живого организма. Широкое применение термисторы находят в различных приборах для температурной коррекции характеристик приборов.

1.3. Способы подключения термометров сопротивления

При измерении температуры термометрами сопротивления необходимо измерить сопротивление терморезистора, который подключается к прибору соединительными проводами. Поэтому сопротивление, подключенное к измерительному прибору, представляет собой сумму сопротивлений терморезистора и медных соединительных проводов.

Чтобы минимизировать влияние дополнительного сопротивления на результаты измерения, используют различные способы, которые зависят от схемы подключения термометра и метода измерения.

Применяется двух-, трех- и четырехпроводная схема подсоединения термометров сопротивления к измерительному прибору (рис. 5).

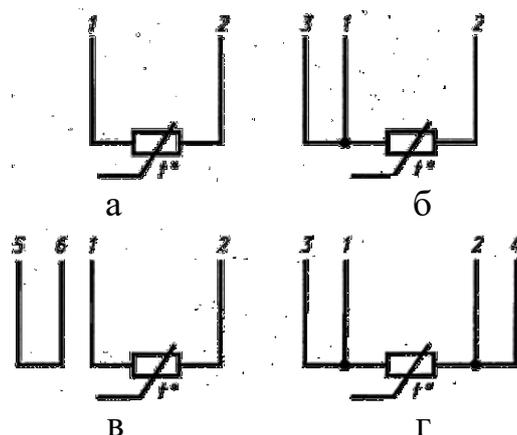


Рис. 5. Схемы подсоединения термометров сопротивления:
а – двухпроводная схема; *б* – трехпроводная схема;
в – четырехпроводная схема с компенсацией изменения сопротивления выводов; *г* – четырехпроводная схема

Другая особенность, которая имеет место при измерении сопротивления термометра, заключается в том, что для измерения сопротивления по терморезистору должен протекать ток.

При этом, согласно закону Джоуля–Ленца, выделяется теплота, которая нагревает термометр до более высокой температуры, чем температура измеряемой среды, что вызывает соответствующее изменение его сопротивления.

В промышленных условиях выбирают измерительный ток таким образом, чтобы погрешность за счет самонагрева не превышала $0,1\% R_0$ – сопротивления термометра при 0°C .

2. Описание лабораторной установки

Схема установки представлена на рис. 6.

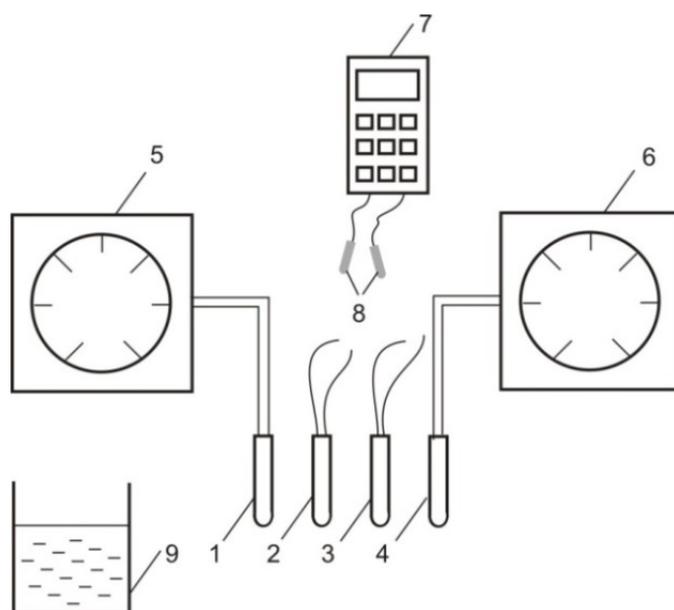


Рис. 6. Схема лабораторной установки:

- 1 – термометр сопротивления платиновый, градуировки 100П;
2, 3 – полупроводниковые термометры сопротивления; 4 – термометр сопротивления медный, градуировки 50М; 5, 6 – прибор типа «Диск-250»; 7 – цифровой мультиметр; 8 – штекеры для подключения;
9 – ёмкость с измеряемой средой (снег; вода при температуре 20, 40, 60, 80°C)

Лабораторная установка состоит из трёх термометров сопротивления, градуировок 1 – 100П; 2 – 50М; 3, 4 – полупроводниковые термометры сопротивления. Платиновый и медный термометры сопротивления подключены ко вторичным приборам – 5, 6 «Диск-250», который отградуирован в единицах измерения температуры. Градуировочные значения сопротивлений приведены в таблице на лабораторном стенде. Значения полупроводниковых термометров сопротивлений при различной температуре определяют по показаниям цифрового мультиметра 7, подсоединяя его с помощью штекеров.

3. Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип действия и конструкции медных, платиновых и полупроводниковых термометров сопротивления.
2. Подготовить таблицу для записи экспериментальных данных, табл. 2.

Экспериментальные данные

Термометры сопротивления	0°С	20°С	40°С	60°С	90°С
ТСМ 50М, Ом					
ТСП 50П, Ом					
КМТ, кОм					
ММТ, кОм					

3. Получив разрешение, включить установку.

4. Записать значения сопротивлений ТСМ, ТСП, КМТ и ММТ, соответствующие 0°С. Для этого нужно погрузить их в ёмкость со снегом. Температуру измеряемой среды можно наблюдать на приборах типа «Диск-250», к которым подключены ТСП и ТСМ. Сопротивления полупроводниковых термометров измеряют с помощью цифрового мультиметра.

5. Получить значения полупроводниковых сопротивлений при 20°С. Для этого в ёмкость налить холодную воду и смешать её с горячей водой (воду взять у мастера), посмотреть на прибор «Диск-250», убедиться, что температура 20°С, и записать показания полупроводниковых сопротивлений. Измерять сопротивления с помощью цифрового мультиметра.

6. Получить значения полупроводниковых сопротивлений, соответствующие 40, 60 и 90°С (см. п. 5).

7. Определить показатель тепловой инерции для медного термометра сопротивления. Для этого резко переместить медный термометр сопротивления из горячей воды в холодную и замерять значения температур через каждые 5 с.

4. Обработка результатов измерений

1. Построить графики градуировочных зависимостей для всех исследуемых термометров сопротивлений.

2. Рассчитать чувствительность всех исследуемых термометров сопротивлений. Сравнить их и сделать вывод.

3. Построить график изменения сопротивления для медного и платинового термометров сопротивлений во времени $R=f(t)$. Определить показатель тепловой инерции для медного и платинового термометров сопротивлений.

5. Содержание отчёта

Отчёт должен быть оформлен в соответствии с требованиями стандарта предприятия (МГТУ им. Г.И. Носова).

Отчёт составляется каждым студентом и должен включать в себя:

1. Наименование работы, цель и основные задачи.
2. Теоретическое введение, описание и схему установки.

3. Краткие сведения о характеристиках стандартных термометров сопротивления (см. теоретическое введение).

4. Зависимость сопротивления медного и платинового термометров сопротивления от температуры.

5. Показатель тепловой инерции медного и платинового термометров сопротивления.

6. Графики изменения сопротивления от температуры для полупроводниковых термометров сопротивления.

Дополнительно могут быть заданы преподавателем следующие задания:

1. Оценить влияние сопротивления соединительных проводов.

2. Изучить способы подсоединения термометров сопротивления к измерительной схеме.

3. Оценить точность измерения медными термометрами сопротивления.

Защита результатов лабораторной работы осуществляется индивидуально или подгруппой перед выполнением следующей работы.

Контрольные вопросы

1. Какой принцип действия у термометров сопротивления?

2. От чего зависит электрическое сопротивление проводника?

3. Влияет ли на электрическое сопротивление проводника электрический ток, проходящий по проводнику?

4. Что является термометрическим параметром в термометре сопротивления?

5. Почему термопреобразователи изготавливают, как правило, из металлов, а не из сплавов?

6. Какие преимущества у медного и платинового термопреобразователей сопротивления?

7. Какое значение при измерении температуры имеет показатель тепловой инерции?

8. Каким параметром характеризуется чистота материала, идущего на изготовление термометра сопротивления?

9. Что такое трёхпроводная схема включения термопреобразователя сопротивления?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пелевин, В. Ф. Метрология и средства измерений: учеб. пособие / В.Ф. Пелевин. – Минск: Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2019. – 273 с. : ил. – (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-006769-8. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/document?pid=988250> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: по подписке

2. Метрология, стандартизация, сертификация: учеб. пособие / А.И. Аристов, В.М. Приходько, И.Д. Сергеев, Д.С. Фатюхин. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 256 с. + Доп. материалы – Текст : электронный (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-16-013964-7. – Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1190667> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: по подписке

3. Эрастов, В. Е. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / В.Е. Эрастов. – Москва : Форум, 2017. – 208 с. (Высшее образование). ISBN 978-5-91134-193-0. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/636241> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: по подписке

4. Раннев, Г.Г. Интеллектуальные средства измерений : учебник / Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. – Москва : КУРС : ИНФРА-М, 2020. – 280 с. – ISBN 978-5-906818-66-9. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1054205> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: по подписке

5. Сажин, С. Г. Средства автоматического контроля технологических параметров : учебник / С. Г. Сажин. – Санкт-Петербург : Лань, 2014. – 368 с. – ISBN 978-5-8114-1644-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/51355> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для авториз. Пользователей.

6. Афанасьев, А. А. Физические основы измерений и эталоны : учеб. пособие / А.А. Афанасьев, А.А. Погонин. – Москва : ИНФРА-М, 2018. – 246 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – www.dx.doi.org/10.12737/textbook_598da02128e609.60046688. – ISBN 978-5-16-012858-0. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/882396> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: по подписке.

7. Сажин, С. Г. Приборы контроля состава и качества технологических сред : учеб. пособие / С. Г. Сажин. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 432 с. – ISBN 978-5-8114-1237-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/4134> (дата обращения: 18.09.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

8. Гребенникова, В.В. Технические измерения и приборы : учеб. пособие / В.В. Гребенникова, М.В. Вечеркин ; МГТУ, [каф. ЭиЭС]. – Магнитогорск, 2014. – 150 с. : ил., схемы. – URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=817.pdf&show=dcatalogues/1/1116327/817.pdf&view=true> (дата обращения: 14.05.2020). – Макрообъект. – Текст: электронный. - ISBN 978-5-9967-0543-6. - Имеется печатный аналог

9. Гребенникова, В.В. Технические измерения и приборы. Лабораторный практикум: учеб. пособие / В.В. Гребенникова, И.Г. Самарина. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2016. – 102 с. – Текст: непосредственный.

Учебное текстовое электронное издание

**Самарина Ирина Геннадьевна
Мухина Елена Юрьевна
Бондарева Альбина Робертовна**

МЕТРОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Практикум

Ответственность за содержание возлагается на авторов
Издается полностью в авторской редакции

0,88 Мб
1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2022 год
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Кафедра автоматизированных систем управления
Библиотечно-информационный комплекс
e-mail: bik@magtu.ru