

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ
ХИМИКО–ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА»**

НОВОМОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)

Ю.И. АЗИМА, А.Ю. СТЕКОЛЬНИКОВ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ
Методические указания к выполнению лабораторных работ

**Новомосковск
2015**

УДК 621.758
ББК 30.10
М 545

Рецензент:
кандидат технических наук, доцент Сидельников С.И.
(НИ РХТУ им. Д. И. Менделеева)

Азима Ю.И., Стекольников А.Ю.

"Технические измерения и приборы ": Методические указания к выполнению лабораторных работ / РХТУ им. Д. И. Менделеева, Новомосковский ин-т. Новомосковск, 2015.–28 с.

Описание лабораторных работ предназначено для студентов по направлению подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств». Табл. 11. Ил. 5. Библиогр.: 4 назв.

УДК 621.758
ББК 30.10

© Новомосковский институт Российского химико–
технологического университета
им. Д. И. Менделеева, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины «Технические измерения и приборы» является формирование у студентов знаний о теоретических основах, современных принципах, методах и средствах технических измерений, конструкциях приборов и их использовании в контроле технических процессов и производств.

Основным результатом изучения данного курса должно быть получение навыков по обработке результатов измерений, применение средств измерений в зависимости от конкретной решаемой задачи.

Задачи преподавания дисциплины – изучение методов и средств измерений основных параметров технологических процессов

Методические указания составлены в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», направленность «Автоматизация технологических процессов и производств», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. N 200.

1 ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

- способностью участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения (ОПК-4);
- способность участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством (ПК-7);
- способность аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом (ПК-18).

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- классификацию и основные характеристики средств измерений;
- типовые структуры средств автоматического контроля различных параметров и их характеристики;
- методы измерений различных параметров технологического процесса;
- особенности методов и средств контроля параметров окружающей среды промышленных выбросов

Уметь:

- по заданным условиям выбрать тип СИ, выполнить его расчетное обоснование и принципиальную схему реализации;
- определять метрологические характеристики, компенсировать погрешности измерений;
- выбирать устройства обработки измерительного сигнала в зависимости от требований, предъявляемых к виду их представления и обработки;

Владеть:

- навыками по выбору средств измерений в зависимости от конкретной решаемой задачи;
- навыками обработки экспериментальных данных и оценки точности измерений, испытаний и достоверности контроля;
- навыками оформления результатов исследований и принятия соответствующих решений.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Измерение температуры термопреобразователем сопротивления

Цель работы. Изучение методики измерения температуры термопреобразователем сопротивления.

Оборудование. Воздушный термостат, термопреобразователь сопротивления (ТПС) градуировки 21, уравновешенный мост постоянного тока.

Основные сведения

Термопреобразователи сопротивления (терморезисторы, резистивные термопреобразователи, термометры сопротивления) являются вторыми по распространенности средствами измерения температуры после термпар. Принцип их действия основан на зависимости электрического сопротивления металла (используется медь, платина и никель) или полупроводника от температуры.

Достоинством металлических датчиков является высокая линейность и взаимозаменяемость, т.е. возможность замены вышедшего из строя датчика на аналогичный без повторной калибровки системы. Взаимозаменяемость достигается благодаря малому технологическому разбросу сопротивлений датчиков от номинального значения. Медные датчики используются для измерения температуры в диапазоне от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$, платиновые - в диапазоне от $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+850\text{ }^{\circ}\text{C}$, никелевые - от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1.1. Классы допусков и диапазоны измерений для термопреобразователей сопротивления и чувствительных элементов

Класс допуска	Допуск, $^{\circ}\text{C}$ (разброс относительно номинала)	Диапазон измерений, $^{\circ}\text{C}$		
		Платиновый ТС, ЧЭ		Медный ТС, ЧЭ
		Проволочный ЧЭ	Пленочный ЧЭ	
AA W 0.1 F 0.1	$\pm(0,1 + 0,0017 t)$	От -50 до +250	От 0 до +150	-
A W 0.15 F 0.15	$\pm(0,15 + 0,002 t)$	От -100 до +450	От -30 до +300	От -50 до +120
B W 0.3 F 0.3	$\pm(0,3 + 0,005 t)$	От -196 до +660	От -50 до +500	От -50 до +200
C W 0.6 F 0.6	$\pm(0,6 + 0,01 t)$	От -196 до +660	От -50 до +600	От -180 до +200

Никелевые термопреобразователи имеют высокую чувствительность, платиновые - высокую стабильность (неизменность показаний с течением времени), медные - низкую цену и наилучшую линейность зависимости сопротивления от температуры.

Нормируемыми параметрами металлических термопреобразователей являются сопротивление R_0 при 0°C и отношение $W_{100}=R_{100}/R_0$, где R_{100} - сопротивление при 100°C . Медные датчики изготавливаются с $W_{100}=1,4260$, и $W_{100}=1,4280$, платиновые - с $W_{100}=1,3850$ и $W_{100}=1,3910$, никелевые - с $W_{100}=1,6170$. Эти параметры, а также класс допуска указываются в маркировке датчика. Сопротивление указывается в форме "ТСМ50" (Термопреобразователь Сопротивления Медный, 50 Ом), "ТСП100" (Термопреобразователь Сопротивления Платиновый, 100 Ом) и т. П

Термины и определения (ГОСТ 6651-2009)

термопреобразователь сопротивления; ТС: Средство измерений температуры, состоящее из одного или нескольких термочувствительных элементов сопротивления и внутренних соединительных проводов, помещенных в герметичный защитный корпус, внешних клемм или выводов, предназначенных для подключения к измерительному прибору;

чувствительный элемент термопреобразователя сопротивления; ЧЭ: Резистор, выполненный из металлической проволоки или пленки с выводами для крепления соединительных проводов, имеющий известную зависимость электрического сопротивления от температуры и предназначенный для использования в термопреобразователях сопротивления;

защитный корпус: Конструктивный элемент термопреобразователя сопротивления, обеспечивающий его механическую прочность и устойчивость к воздействию внешней среды, как правило, представляющий собой заваренную с одной стороны металлическую трубку с приспособлениями для монтажа термопреобразователей сопротивления или без этих приспособлений;

длина погружаемой части термопреобразователя сопротивления: Максимально возможная глубина погружения термопреобразователя сопротивления в среду при температуре верхнего предела рабочего диапазона без нарушения работоспособности термопреобразователя сопротивления;

минимальная глубина погружения термопреобразователя сопротивления: Такая глубина погружения термопреобразователя сопротивления в среду с однородным распределением температуры, что при дальнейшем погружении показания термопреобразователя сопротивления не изменяются более чем на 1/5 допуска соответствующего класса, а сопротивление термопреобразователя сопротивления при этом остается в пределах допуска;

диапазон измерений термопреобразователя сопротивления: Диапазон температур, в котором выполняется нормированная в соответствии с настоящим стандартом зависимость сопротивления термопреобразователя сопротивления от температуры в пределах соответствующего класса допуска;

рабочий диапазон температур термопреобразователя сопротивления: Диапазон температур, находящийся внутри диапазона измерений или равный ему, в пределах которого изготовителем установлены показатели надежности термопреобразователя сопротивления;

номинальная температура применения термопреобразователя сопротивления: Температура эксплуатации термопреобразователя сопротивления, для которой нормированы показатели надежности и долговечности;

номинальное сопротивление термопреобразователя сопротивления; R_0 , Ом: Нормированное изготовителем сопротивление термопреобразователя сопротивления при 0 °С, округленное до целых единиц, указанное в его маркировке и рекомендуемое для выбора из ряда: 10, 50, 100, 500, 1000 Ом.

номинальная статическая характеристика; НСХ: Зависимость сопротивления термопреобразователя сопротивления или чувствительного элемента от температуры, рассчитанная по формулам (1-6).

Примечание - Условное обозначение НСХ состоит из значения номинального сопротивления ТС или ЧЭ R_0 и обозначения типа. Русское обозначение типа приводят за значением номинального сопротивления, латинское обозначение - перед значением номинального сопротивления. Например: 100 П означает НСХ для платинового ТС (или ЧЭ) с $\alpha = 0,00391 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ и $R_0 = 100 \text{ Ом}$; Pt 100 означает НСХ для платинового ТС (или ЧЭ) с $\alpha = 0,00385 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ и $R_0 = 100 \text{ Ом}$.

температурный коэффициент термопреобразователя сопротивления; α , $^\circ\text{C}^{-1}$: Коэффициент, определяемый по формуле $\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0}$, где R_{100} , R_0 - значения сопротивления термопреобразователя сопротивления по номинальной статической характеристике соответственно при 100 °С и 0 °С, и округляемый до пятого знака после запятой;

допуск: Максимально допустимое отклонение от номинальной статической характеристики, выраженное в градусах Цельсия;

электрическое сопротивление изоляции термопреобразователя сопротивления: Электрическое сопротивление между внешними выводами термопреобразователя сопротивления и защитным корпусом, а также между цепями термопреобразователя сопротивления с двумя или более чувствительными элементами при комнатной или другой заданной температуре, измеряемое при заданном испытательном напряжении;

самонагрев термопреобразователя сопротивления: Повышение температуры термопреобразователя сопротивления, вызванное нагревом чувствительного элемента измерительным током;

максимальный измерительный ток: Измерительный ток, вызывающий самонагрев термопреобразователя сопротивления, не превышающий 20 % допуска соответствующего класса и не приводящий к выходу показаний термопреобразователя сопротивления за пределы допуска;

время термической реакции: Время, которое требуется для изменения показаний термопреобразователя сопротивления на определенный процент полного изменения при ступенчатом изменении температуры среды;

Формулы для расчета номинальной статической характеристики

НСХ ТС и ЧЭ в пределах диапазона измерений рассчитывают по следующим формулам:

Платиновые ТС и ЧЭ, $\alpha = 0,00385 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Для диапазона измерений от минус 200 $^\circ\text{C}$ до 0 $^\circ\text{C}$:

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100 \text{ } ^\circ\text{C})t^3]$$

Для диапазона измерений от 0 $^\circ\text{C}$ до 850 $^\circ\text{C}$:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

где R_t - сопротивление ТС, Ом, при температуре t , $^\circ\text{C}$;

R_0 - номинальное сопротивление ТС, Ом, при температуре 0 $^\circ\text{C}$.

Значения постоянных следующие:

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}; B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}; C = -4,183 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}.$$

Платиновые ТС и ЧЭ, $\alpha = 0,00391 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Для диапазона измерений от минус 200 $^\circ\text{C}$ до 0 $^\circ\text{C}$:

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100 \text{ } ^\circ\text{C})t^3].$$

Для диапазона измерений от 0 $^\circ\text{C}$ до 850 $^\circ\text{C}$:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

где R_t - сопротивление ТС, Ом, при температуре t , $^\circ\text{C}$;

R_0 - номинальное сопротивление ТС, Ом, при температуре 0 $^\circ\text{C}$.

Значения постоянных следующие:

$$A = 3,9690 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}; B = -5,841 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}; C = -4,330 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}.$$

Медные ТС и ЧЭ, $\alpha = 0,00428 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Для диапазона измерений от минус 180 $^\circ\text{C}$ до 0 $^\circ\text{C}$:

$$R_t = R_0[1 + At + Bt(t + 6,7 \text{ } ^\circ\text{C}) + Ct^3].$$

Для диапазона измерений от 0 $^\circ\text{C}$ до 200 $^\circ\text{C}$:

$$R_t = R_0[1 + At],$$

где R_t - сопротивление ТС, Ом, при температуре t , $^\circ\text{C}$;

R_0 - номинальное сопротивление ТС, Ом, при температуре 0 $^\circ\text{C}$.

Значения постоянных следующие:

$$A = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}; B = -6,2032 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}; C = 8,5154 \cdot 10^{-10} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3}.$$

ЗАДАНИЕ. 1. Измерить температуру в термостате измерительным каналом ТПС– уравновешенный мост. **2.** Определить погрешность измерения температуры.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с уравновешенным мостом и порядком работы с ним. Внести в протокол характеристики погрешности применяемых СИ.

2. Подключить ТПС, который находится в термостате, к уравновешенному мосту по 4-х проводной (4-х зажимной) схеме
3. Установить на задатчике температуры заданное значение температуры. Включить блок управления термостатом.
4. После достижения установившегося значения показаний уравновешенного моста, записать данное значение в таблицу 1.2.
5. Повторить п.3-4. для нескольких температур. Результаты измерений записать в таблицу 1.2.

Таблица 1.2. Результаты измерений и расчетов

Показания уравновешенного моста, Ом	Результат измерения температуры, °C	Допуск ТПС, °C (класс C)	Предел доп. погрешности измерения температуры, °C
		0,6+0,01t	

Расчетная часть

1. Определить результат измерения температуры, используя формулу:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

где R_t - сопротивление ТС, Ом, при температуре t , °C; $R_0=46$ Ом - номинальное сопротивление ТС при температуре 0 °C; $A = 3,9690 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $B = -5,841 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$; t – результат измерения температуры, °C. Вычисления необходимо проводить в среде Mathcad, используя функцию **root**.

2. Оценка погрешности измерения температуры определяется по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2},$$

где $\Delta_1 = \frac{\Delta_R}{R_0 A}$ - оценка погрешности измерения температуры, обусловленная погрешностью

Δ_R измерения сопротивления; $\Delta_2=0,6+0,01t$ - предел допускаемой погрешности НСХ (допуск ТПС). Погрешность Δ_R измерения сопротивления определить исходя из предела допускаемой основной, относительной погрешности уравновешенного моста $\delta=\pm 0,1\%$.

3. Записать результаты измерений температуры в следующем виде $t = t_{\text{ИК}} \pm \Delta$, где Δ – погрешность измерения температуры (округляется до двух значащих цифр), $t_{\text{ИК}}$ – результат измерения температуры измерительным каналом (ИК).

Содержание отчета.

1. Цель работы
2. Результаты измерений и расчетов (таблица 1.2)
3. Листинг расчетов в Mathcad

Перечень основных вопросов для защиты лабораторной работы

1. Принцип действия и конструкция термопреобразователя сопротивления.
2. Методика измерения температуры при использовании ТПС
3. Определить следующие термины (ГОСТ 6651-2009): термопреобразователь сопротивления, чувствительный элемент термопреобразователя сопротивления; защитный корпус, диапазон измерений термопреобразователя сопротивления, рабочий диапазон температур термопреобразователя сопротивления, номинальное сопротивление термопреобразователя сопротивления, номинальная статическая характеристика, температурный коэффициент термопреобразователя сопротивления, электрическое сопротивление изоляции термопреобразова-

теля сопротивления, самонагрев термопреобразователя сопротивления, максимальный измерительный ток.

4. Формулы для расчета номинальной статической характеристики ТПС (ГОСТ 6651-2009)

5. Схемы соединения ТПС

6. Измерение сопротивления уравновешенным мостом постоянного тока. Схемы подключения измеряемого сопротивления.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Измерение температуры термоэлектрическим преобразователем

Цель работы. Изучение методики измерения температуры термоэлектрическим преобразователем.

Оборудование. Воздушный термостат, термоэлектрический преобразователь (ТЭП) хромель-копель (ХК), микровольтмикроамперметр Ф136 с электрическим выходом (усилитель напряжения), цифровой вольтметр, ртутный термометр.

Основные сведения

Определения, обозначения и сокращения (ГОСТ Р. 8.585—2001)

термопара: Два проводника из разнородных материалов, соединенных на одном конце и образующих часть устройства, использующего термоэлектрический эффект для измерений температуры;

НСХ термопары: Номинально приписываемая термопаре данного типа зависимость ТЭДС от температуры рабочего конца и при постоянно заданной температуре свободных концов, выраженная в милливольтках;

диапазон преобразований температур термопары: Интервал температур термопары, в котором выполняется преобразование температур в ТЭДС;

допускаемое отклонение от НСХ: Максимально возможное отклонение ТЭДС термопары от номинального значения, удовлетворяющее техническим требованиям на термопару.

Термопары являются самым распространенным средством измерения температуры в промышленности и лабораториях. Это связано с их широким температурным диапазоном (от -270°C до $+2500^{\circ}\text{C}$), обычно удовлетворительной точностью, низкой ценой, взаимозаменяемостью и высокой надежностью.

Термопара представляет собой два провода из различных металлов, соединенных на одном конце ("рабочий конец", "горячий спай") и предназначенных для измерения температуры (рис.2.1). Вторые концы термопары ("свободные концы", "холодный спай") соединены со средством измерения напряжения с помощью проводов из металла одного типа, например, меди.

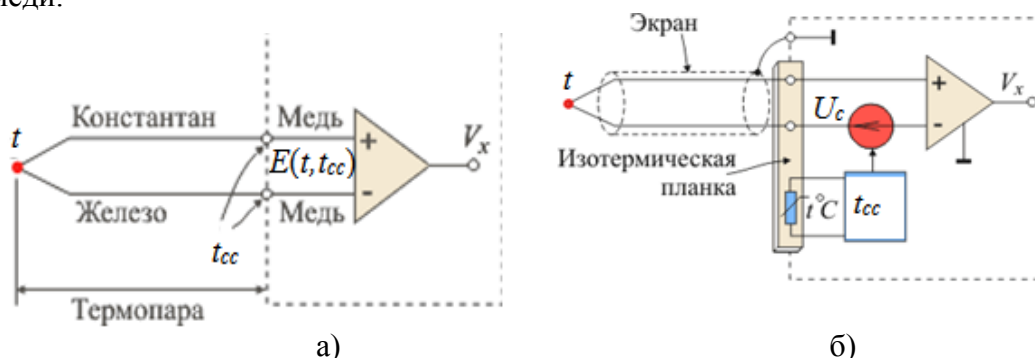


Рис. 2.1. Измерение сигнала термопары без компенсации температуры холодного спая (а) и с компенсацией (б)

Между двумя несоединенными выводами термопары возникает э. д. с, E (рис.2.1.-а), величина которой зависит от температуры горячего и холодного спая: $E(t, t_{cc})$, где t – температура рабочего спая, t_{cc} – температура свободного спая. Для случая, когда температура холодного спая (свободных концов) равна 0°C ($t_{cc}=0$), зависимость $E(t)=F(t)$, а также обратная зависимость $t(E)=F^{-1}(E)$ представлены в ГОСТ Р 8.585-2001 в виде градуировочной таблицы или полинома.

Для случая, когда температура свободных концов не равна нулю, они являются источником э. д. с. E_c , величина, которой также зависит от температуры: $E_c(t_c)$. Поэтому напряжение на свободных концах термопары будет равно:

$$E(t, t_{cc}) = E(t) - E(t_c),$$

где $E(t) = E(t, 0)$, $E(t_c) = E(t_c, 0)$ – термоэдс термопары при температуре свободного спаев равного 0°C и рабочего спаев соответственно, t и t_c .

Измерение температуры с помощью термопары выполняется косвенным методом: сначала измеряется напряжение $E(t, t_{cc})$ между свободными концами термопары и их температура t_{cc} . Затем по НСХ определяется величина термоэдс $E(t_c) = E(t_c, 0)$, обусловленная отклонением температуры свободного спаев от 0°C . Далее значение тэдс термопары при температуре свободных спаев t_c приводится к термоэдс термопары при $t_c = 0$ по формуле:

$$E(t, 0) = E(t, t_{cc}) + E(t_{cc}, 0).$$

Измеряемую температуру определяют по обратной зависимости $t(E) = F^{-1}(E)$ или по градуировочной таблице для соответствующей термопары, приведенными в ГОСТ Р 8.585-2001. На-

пример, для термопары ХК зависимость $t(E)$ имеет вид: $t(E) = \sum_{i=0}^9 (C_i E^i)$, где $C_0 = 3.1116085 \cdot 10^{-2}$,

$C_1 = 1.5632542 \cdot 10^{-2}$, $C_2 = -0.2281310 \cdot 10^{-2}$, $C_3 = 1.6061658 \cdot 10^{-2}$, $C_4 = -1.2036818 \cdot 10^{-3}$, $C_5 = 5.7602230 \cdot 10^{-5}$, $C_6 = -1.6144584 \cdot 10^{-6}$, $C_7 = 2.5988757 \cdot 10^{-8}$, $C_8 = -2.2286755 \cdot 10^{-10}$, $C_9 = 7.8910747 \cdot 10^{-13}$

В модулях ввода сигналов термопар в измерительных системах указанные нелинейные зависимости хранятся в ПЗУ микропроцессора и необходимые вычисления выполняются автоматически. Пользователю нужно только задать тип термопары и подключить ее к модулю ввода. Температура свободных концов ("холодного спаев") измеряется встроенным в модуль датчиком температуры (рис. 2.1-б), в качестве которого чаще всего используется терморезистор.

Для подключения термопары к модулю ввода используют специальные термопарные провода, выполненные из того же материала, что и сама термопара. Для этой цели можно использовать и обычные медные провода, однако в этом случае необходим выносной датчик температуры холодного спаев, который должен измерять температуру в месте контакта термопары с медными проводами.

В таблице 2.1. приведены типы термопар, их маркировка, классы допуска и допустимые отклонения от номинальной статической характеристики преобразования.

Таблица. 2.1 Типы термопар и их маркировка

Тип	Обозначение	Материал положительного электрода	Материал отрицательного электрода	Диапазон измерений, $^\circ\text{C}$	Пределы отклонений, $^\circ\text{C}$	Класс допуска
J	ТЖК	Железо, Fe	Константан, Cu-Ni (55% Cu)	0...333 333...900	$\pm 2,5$ $\pm 0,0075t$	2
K	ТХА	Хромель, Cr-Ni (90,5% Ni)	Алюмель, Ni-Al (94,5 % Ni)	-250...-167 -167...+40	$\pm 0,015 t $ $\pm 2,5$	3
T	ТМК	Медь, Cu	Константан, Cu-Ni (55% Cu)	-200...-66 -66...+40	$\pm 0,015 t $ $\pm 1,0$	3
E	ТХКн	Хромель, Cr-Ni (90,5% Ni)	Константан, Cu-Ni (55% Cu)	-200...-167 -167...+40	$\pm 0,015 t $ $\pm 2,5$	3
N	ТНН	Никросил, Ni-Cr-Si-Fe-C-Mg	Нисил, Ni-Cr-Si-Fe-C-Mg	-250...-167 -167...+40	$\pm 0,015 t $ $\pm 2,5$	3
R	ТПП	Платина-Родий (13% Rh)	Платина Pt	0...600 600...1600	$\pm 1,5$ $\pm 0,0025t$	2

S	ТПП	Платина-Родий (10% Rh)	Платина Pt	0...600 600...1600	$\pm 1,5$ $\pm 0,0025t$	2
B	ТПР	Платина-Родий (30% Rh)	Платина-Родий (6% Rh)	600...800 800...1800	± 4 $\pm 0,005t$	3
L	ТХК	Хромель, Cr-Ni (90,5% Ni)	Копель, Cu- Ni (56% Cu, 44% Ni)	-200...-100 -100...+100	$\pm 1,5+0,01 t $ $\pm 2,5$	3
M	ТМК	Медь Cu	Копель, Cu-Ni (56% Cu)	-200...0 0...100	$\pm 1,3+0,001 t $ $\pm 2,5$	-
A1, A2, A3	ТВР	Вольфрам-Рений, W-Re (5% Re)	Вольфрам-Рений, W-Re (20% Re)	1000...2500	$\pm 0,0075t$	3

Благодаря стандартизации допусков и номинальных характеристик преобразования термопары являются взаимозаменяемыми без дополнительной подстройки. Сварка проводов термопары, изготовленных из разных металлов, выполняется таким образом, чтобы получилось небольшое по размеру соединение - спай. Сварку металлов иногда заменяют пайкой, однако верхний температурный диапазон такой термопары ограничен температурой плавления припоя. Под действием высокой температуры в процессе эксплуатации может произойти уход характеристики термопары от номинального вида вследствие окисления и диффузии компонентов окружающей среды в металл, а также изменения структуры материала. В таких случаях термопару следует откалибровать заново или заменить.

Промышленностью выпускаются термопары трех различных конструкций: с открытым спаем, с изолированным незаземленным спаем и с заземленным спаем. Термопары с открытым спаем имеют малую постоянную времени, но плохую коррозионную стойкость. Термопары двух других типов применимы для измерения температуры в агрессивных средах. Изготавливают также микроминиатюрные термопары по тонкопленочной и полупроводниковой технологии для измерений температуры тел малых размеров, в частности, поверхности полупроводниковых приборов.

ЗАДАНИЕ. 1. Измерить температуру в термостате измерительным каналом ТЭП– усилитель напряжения–вольтметр. 2. Определить погрешность измерения температуры.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Внести в таблицу 2.2. метрологические характеристики применяемых СИ;
2. Подключить ТЭП к микровольтметру Ф136, а выход Ф136 - к цифровому вольтметру
3. Установить на задатчике температуры, блока управления термостата, заданное значение температуры. Включить блок управления термостатом.
4. После достижения установившегося значения показаний цифрового вольтметра записать показания вольтметра в таблицу 2.3. .
5. Повторить п.3-4. для нескольких температур. Результаты измерений записать в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 Метрологические характеристики применяемых СИ

Коэффициент усиления по напряжению Ф136	
Предел доп. погрешности ТЭП, °С	
Предел доп. приведенной погрешности Ф136, %	
Предел доп. погрешности ртутного термометра, °С	
Оценка погрешности измерения температуры, °С	

НСХ ТЭП ХК	$E(t,0) = \sum_{i=0}^8 A_i \cdot t^i$ $A_0=-4,16269630 \times 10^{-6}, A_1=6.3310880 \times 10^{-2},$ $A_2=6.0118088 \times 10^{-5}, A_3=-7.9469796 \times 10^{-8},$ $A_4=9.3010891 \times 10^{-11}, A_5=-2.4299630 \times 10^{-14},$ $A_6=-2.6547176 \times 10^{-16}, A_7=4.4332477 \times 10^{-19},$ $A_8=-2.1172626 \times 10^{-22}$
Градуировочная характеристика ТЭП ХК	$t(E) := \sum_{i=0}^9 (C_i \cdot E^i)$ $C_0= 3.1116085 \cdot 10^2 \quad C_1= 1.5632542 \cdot 10$ $C_2= -0.2281310 \quad C_3= 1.6061658 \cdot 10^{-2}$ $C_4= -1.2036818 \cdot 10^{-3} \quad C_5= 5.7602230 \cdot 10^{-5}$ $C_6= -1.6144584 \cdot 10^{-6} \quad C_7= 2.5988757 \cdot 10^{-8}$ $C_8= -2.2286755 \cdot 10^{-10} \quad C_9= 7.8910747 \cdot 10^{-13}$

Таблица 2.3 Результаты измерений и расчетов

Показания вольтметра, В	Термодс термопары $E(t, t_{cc})$, мВ	Температура свободных спаев, °С	Поправка $E(t_c, 0)$, мВ	Результат измерения температуры, °С

Расчетная часть

1. Вычислить по НСХ используемой термопары (представлена в таблице 2.2.) значение поправки $E(t_c) = E(t_c, 0)$ на изменение тэдс термопары, обусловленной отклонением температуры свободных спаев от 0°С.

2. Определить величину термоэдс $E(t, t_{cc})$ развиваемой термопарой при рабочей температуре t и температуре свободных спаев t_{cc} по измеренному значению напряжения U_u на выходе преобразователя Ф136 по формуле:

$$E(t, t_{cc}) = U_u / K,$$

где $K=10^3/U_{np}$ – коэффициент усиления Ф136 (U_{np} – верхний предел измерения Ф136 на выбранном поддиапазоне)

3. Вычислить тэдс термопары в мВ, приведенную к температуре свободных спаев равных 0°С ($t_c=0$) по формуле:

$$E(t, 0) = E(t, t_{cc}) + E(t_{cc}, 0).$$

4. По градуировочной характеристике термопары ХК (представлена в таблице 2.2.) вычислить измеренную температуру t .

5. Определить составляющие погрешности измерения температуры: $\Delta_{ХК}=2,5^\circ\text{С}$ – погрешность термопары, обусловленная отклонением ее статической характеристики от НСХ; $\Delta_{cc}=0,5^\circ\text{С}$ – погрешность измерения температуры свободных спаев; $\Delta_E=0,01\gamma_{\Phi116}U_{np}/S$ – погрешность измерения температуры, обусловленная погрешностью измерения термоэдс $E(t, t_{cc})$ преобразователем Ф116, где $\gamma_{\Phi116}=1\%$ – приведенная погрешность преобразователя Ф116, U_{np} – верхний предел измерения Ф116 на выбранном поддиапазоне, $S=0,069\text{мВ/К}$ – приближенное значение чувствительности термопары ХК в диапазоне 0–100°С.

6. Вычислить суммарную погрешность измерения температуры по формуле:

$$\Delta_t = \sqrt{\Delta_{ХК}^2 + \Delta_{cc}^2 + \Delta_E^2}$$

7. Записать результаты измерений температуры в следующем виде $t = t_{ИК} \pm \Delta$, где Δ – погрешность измерения температуры (округляется до двух значащих цифр), $t_{ИК}$ – результат из-

мерения температуры измерительным каналом (ИК), t – действительное значение температуры (наиболее приближенное к истинному значению).

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Результаты измерений и расчетов (таблицы 2.1, 2.2, 2.3)
3. Листинг расчетов в Mathcad

Перечень основных вопросов

1. Принцип действия и конструкция термоэлектрического преобразователя.
2. Методика измерения температуры при использовании ТЭП
3. НСХ ТЭП. Определение тэдс ТЭП по известным температурам рабочего и свободного спаев. Обратная градуировочная характеристика ТЭП.
4. Промышленные типы ТЭП. Какие провода используются для подключения ТЭП к измерительному прибору или преобразователю. Где находятся свободные спаи ТЭП и каким образом осуществляется автоматическая коррекция эдс ТЭП от изменения их температуры.

Определение основной погрешности автоматического моста

Цель работы. Изучение методики определения основной погрешности автоматического моста.

Оборудование. Автоматический мост КСМ-3, магазины сопротивлений.

Основные сведения

Автоматический мост работает в комплекте с термопреобразователем сопротивления и применяется для измерения температуры. Электрическая схема моста приведена на рис.3.1.



Рис.3.1. Принципиальная электрическая схема уравновешенного моста:

R_p - реохорд, предназначен для уравнивания моста; $R_{ш}$ - шунт для подготовки сопротивления реохорда к стандартному значению; $R_{п}$ - резистор для установления верхнего предела измерения; $R_{н}$ - резистор для установления начала шкалы; $R_{л}$ - резисторы для подгонки сопротивления линии к стандартному значению; R_t - термопреобразователь сопротивления; R_2, R_3 - резисторы в плечах моста; $R_{д}$ - резистор для подгонки тока питания.

Мост работает следующим образом. При изменении измеряемой температуры изменяется сопротивление R_t в результате чего равновесие моста нарушается, и в диагонали моста "ab" появляется напряжение U_{ab} . Это напряжение усиливается усилителем до величины, достаточной для приведения реверсивного двигателя РД во вращение. Двигатель, вращаясь по часовой или против часовой стрелки (в зависимости от фазы напряжения U_{ab}), перемещает движок реохорда до тех пор, пока напряжение U_{ab} не станет равным нулю (мост уравнивается). Одновременно двигатель перемещает стрелку по шкале прибора. Равновесие моста характеризуется отсутствием напряжения в диагонали "ab", при этом:

$$(R'_{np} + R_H + R_{II} + R_t) \cdot R_2 = (R_{II} + R_I) \cdot (R''_{np} + R_3),$$

где $R'_{\text{пр}}$ - приведенное сопротивление реохорда слева от движка, $R''_{\text{пр}}$ - приведенное сопротивление реохорда справа от движка.

ЗАДАНИЕ. Определить основную погрешность автоматического моста КСМ-4 и сравнить с пределом допускаемой основной погрешности.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Подключить магазины сопротивления вместо $R_{\text{д}}$, $R_{\text{т}}$
2. Установить на магазинах сопротивления, имитирующих сопротивление схемы моста $R_{\text{д}}$ сопротивление 2,5 Ом.
3. По таблице НСХ для термопреобразователя сопротивления ТСМ гр.23 определить значения сопротивления, соответствующие заданным отметкам шкалы моста, в которых определяется погрешность; данные занести в таблицу.
4. Изменяя сопротивление на магазине, включенном вместо $R_{\text{т}}$, устанавливать стрелку моста на поверяемую отметку при возрастании сопротивления от начала до конца шкалы (прямой ход). То же самое проделать при уменьшении сопротивления от конца шкалы до начала (обратный ход). Значения сопротивления на магазине, соответствующие показаниям моста в заданных точках шкалы записать в таблицу

Расчетная часть

1. Определить абсолютную погрешность моста в заданных точках шкалы при прямом и обратном ходе:

$$\Delta = R_{\text{гр}} - R_{\text{м}}$$

где $R_{\text{гр}}$ - градуировочное значение сопротивления ТПС, соответствующее поверяемой отметке; $R_{\text{м}}$ - показания магазина сопротивления при прямом или обратном ходе.

Записать в таблицу для каждой точки большие значения погрешности.

2. Определить приведенную погрешность моста:

$$\gamma = \frac{\Delta}{R_{\text{ик}} - R_{\text{иН}}} \cdot 100$$

где $R_{\text{ик}}$ - сопротивление ТПС, соответствующее концу шкалы; $R_{\text{иН}}$ - сопротивление ТПС, соответствующее началу шкалы.

3. Определить вариацию показаний моста в заданных точках шкалы:

$$b = R_{\text{пх}} - R_{\text{ох}},$$

$R_{\text{пх}}$, $R_{\text{ох}}$ – значения на магазине сопротивления при прямой и обратном ходе

Таблица 3.1 Результаты измерений и расчетов

Поверяемая отметка, °С	Градуировочное значение сопротивления ТПС, Ом	Показания магазина сопротивлений, Ом		Абсолютная погрешность Δ , Ом	Приведенная погрешность γ , %	Вариация показаний, %
		Прямой ход	Обратный ход			

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Результаты измерений и расчетов (таблица 3.1)

Перечень основных вопросов

1. Методика измерения сопротивления уравновешенным мостом.
2. Принцип измерения температуры автоматическим уравновешенным мостом. Условие равновесия моста и его работа.
3. Что представляет номинальная статическая характеристика (НСХ) термопреобразователя сопротивления

4. Методика определения основной погрешности уравновешенного моста

5. Все вопросы лабораторной работы №1.

Таблица 3.2 Номинальная статическая характеристика термопреобразователя сопротивления ТСМ Гр.23 ($R_0=53,00 \text{ Ом}$)

°C	Сопротивление, Ом	°C	Сопротивление, Ом	°C	Сопротивление, Ом	°C	Сопротивление, Ом	°C	Сопротивление, Ом
-50	41,711	0	53,000	50	64,289	100	75,578	150	86,867
-45	42,840	5	54,122	55	65,418	105	76,707	155	87,996
-40	43,968	10	55,258	60	66,547	110	77,836	160	89, 25
-35	45,098	15	56,387	65	67,676	115	78,965	165	90,254
-30	46,227	20	57,516	70	68,805	120	80,094	170	91,383
-25	47,356	25	58,645	75	69,934		81,223	175	92,512
-20	48,484	30	59,773	80	71,062	130	82,351	180	93,640
-15	49,613	35	60,902	85	72,191	135	83,480		
-10	50,742	40	62,031	90	73,320	140	84,609		
-5	51,871	45	63,160	95	74,449	145	85,758		

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Определение основной погрешности автоматического потенциометра

Цель работы. Изучение методики определения основной погрешности автоматического потенциометра.

Оборудование. Автоматический потенциометр Диск-250 (основная погрешность $\pm 0,5\%$ от нормирующего значения), калибратор напряжения.

Основные сведения

Автоматический потенциометр работает в комплекте с термоэлектрическим преобразователем (ТЭП) и применяется для измерения температуры. Электрическая схема потенциометра приведена на рис.4.1.

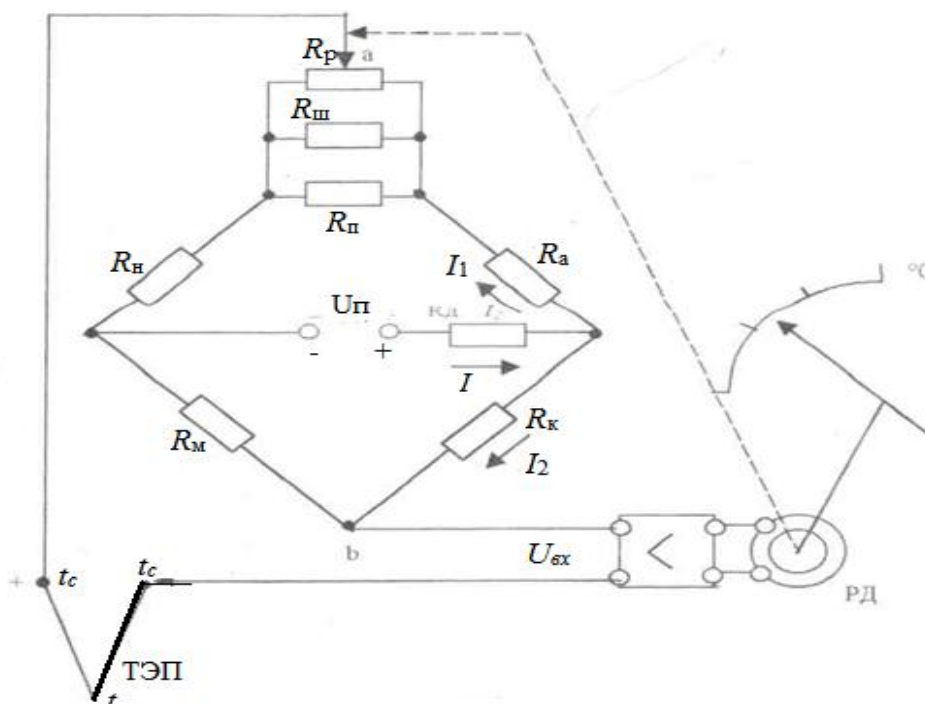


Рис.4.1. Принципиальная схема автоматического потенциометра: R_p - реохорд, $R_{ш}$ - шунт, R_p - резистор для установления верхнего предела измерения R_n - резистор для установления начала шкалы; R_m - медный резистор, R_k, R_a - плечи моста; R_d - добавочный резистор.

Назначение резисторов схемы потенциометра: R_p - реохорд, предназначен для изменения напряжения U_{ab} в выходной диагонали измерительной схемы моста; $R_{ш}$ - шунт, предназначен для подгонки сопротивления реохорда к стандартному значению; R_p - резистор для установления верхнего предела измерения; R_n - резистор для установления начала шкалы; R_m - медный резистор, предназначен для компенсации температуры холодных спаев ТЭП; R_d - резистор для установки тока питания схемы неуравновешенного моста; R_k, R_a - плечи моста

Измерительная схема потенциометра представляет собой неуравновешенный мост, который питается стабилизированным напряжением U_p .

Принцип действия потенциометра основан на компенсации термо-э.д.с. $E(t, t_c)$ падением напряжения U_{ab} ;

$$E(t, t_c) = I_1 (R'_{np} + R_n) - I_2 R_m$$

где R'_{np} - приведенное сопротивление реохорда слева от его движка.

При изменении измеряемой температуры изменяется термо-э.д.с ТЭП и на вход усилителя подается напряжение

$$U_{BX}=E(t,t_c) - U_{ab}$$

Это напряжение усиливается усилителем до величины, достаточной для приведения во вращение реверсивного двигателя РД. Двигатель, вращаясь по часовой или против часовой стрелки (в зависимости от полярности напряжения U_{BX}) перемещает движок реохорда до тех пор, пока не восстановится равенство (1). Одновременно двигатель перемещает стрелку по шкале потенциометра. Изменение температуры холодных спаев ТЭП приводит к изменению термо-э.д.с. и изменению сопротивления медного резистора R_m , расположенного рядом с клеммами, к которым подключен ТЭП, т.е. свободными спаями ТЭП. В результате изменяется термоэдс ТЭП на величину

$$\Delta E = E(t, t_c) - E(t_c, t'_c)$$

и напряжение U_{ab} :

$$U_{ab} + \Delta U_{ab} = I_1 (R'_{np} + R_n) - I_2 (R_m + \Delta R_m)$$

т.е. $\Delta U_{ab} = I_2 \Delta R_m$

Сопротивление медного резистора рассчитано так, что при изменении t_c в пределах от 0 до 50 °С изменение термоэдс $\Delta E = \Delta U_{ab}$, в результате чего равновесие в схеме не нарушается, и показания потенциометра не изменяются.

ЗАДАНИЕ. Определить основную погрешность автоматического потенциометра Диск-250 и сравнить с пределом допускаемой основной погрешности.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Измерить температуру воздушной среды, окружающую свободные спай ТЭП. Обратить внимание на расположение медного резистора R_m по отношению к свободным спаям ТЭП.
2. Определить тип ТЭП, для которого отградуирована шкала автоматического потенциометра (приведена на шкале)
3. По таблице номинальной статической характеристики (НСХ), данного типа ТЭП определить поправку на температуру холодных спаев ТЭП: $E(t_c, 0)$
4. Изменяя напряжение на калибраторе напряжения установить стрелку потенциометра Диск-250 на первую оцифрованную отметку шкалы, соответствующую 0°С.
5. Записать в таблицу 4.1. значение напряжения на выходе калибратора (с учетом полярности), соответствующее данной отметки шкалы потенциометра.
6. Аналогичным образом установить остальные оцифрованные отметки сначала при увеличении напряжения, подаваемого на потенциометр Диск-250 (прямой ход), затем при уменьшении его (обратный ход). Полученные значения напряжения на выходе калибратора, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы записать в таблицу 4.1.

Расчетная часть

1. Определить абсолютную погрешность потенциометра Диск-250 в оцифрованных отметках шкалы при прямом и обратном ходе:

$$\Delta = E(t, t_c) - U_k$$

где $E(t, t_c) = E(t, 0) - E(t_c, 0)$ - градуировочное значение термоэдс ТЭП при температуре рабочего спая t , равной значению оцифрованной отметки шкалы, и температуре свободного спая t_c , равной измеренному стеклянным термометром значению; U_k - показания калибратора напряжения при прямом или обратном ходе (принимается то значение, которое приводит к большей погрешности). Записать в таблицу для каждой точки большие значения погрешности.

2. Определить приведенную погрешность потенциометра:

$$\gamma = \frac{\Delta}{E(t_k, t_c) - E(t_n, t_c)} \cdot 100$$

где t_k, t_n – температура, соответствующая соответственно концу и началу шкалы потенциометра, t_c – температура свободного спая.

3. Определить вариацию показаний моста в заданных точках шкалы:

$$b = U_{\text{к пх}} - U_{\text{к ох}},$$

$U_{\text{к пх}}$, $U_{\text{к ох}}$ – значения напряжения на калибраторе при прямой и обратном ходе

Таблица 4.1. Результаты измерений и расчетов

Отметка шкалы, °C	Температура свободного спая t_c , °C	ТермоэДС ТЭП по НСХ $E(t, t_c)$, мВ	Напряжение калибратора U_k , мВ		Абс. погрешность Δ , мВ	Приведен. погрешность γ , %	Вариация показаний b , %
			Прямой ход	Обратный ход			
0							
100							
200							
300							
400							
500							
600							

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Результаты измерений и расчетов (таблица 4.1)

Перечень основных вопросов

1. Все вопросы из лабораторной работы №2.
2. Принцип измерения температуры автоматическим потенциометром. Условие компенсации измеряемой термоэДС.
3. Каким способом обеспечивается компенсация изменения термоэДС ТЭП от изменения температуры свободного спая
4. Что представляет номинальная статическая характеристика (НСХ) термоэлектрического преобразователя. Форма представления
5. Методика определения основной погрешности автоматического потенциометра Диск-250
6. Как изменятся показания автоматического потенциометра если используется ТЭП не соответствующий градуировке потенциометра.
7. Как будут изменяться показания потенциометра при изменении сопротивлений измерительной схемы.
8. Как изменится положение движка реохорда при изменении температуры: рабочего спая; свободного спая.

Таблица 4.2 Номинальная статическая характеристика (НСХ) ТЭП ТХА (К)

$t, ^\circ\text{C}$	0°C	1°C	2°C	3°C	4°C	5°C	6°C	7°C	8°C	9°C	10°C
0°C	0,000	0,039	0,079	0,119	0,158	0,198	0,238	0,277	0,317	0,357	0,397
10°C	0,397	0,437	0,477	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758	0,798
20	0,798	0,838	0,879	0,919	0,960	1,000	1,041	1,081	1,122	1,163	1,203
30	1,203	1,244	1,285	1,326	1,366	1,407	1,448	1,489	1,530	1,571	1,612
40	1,612	1,653	1,694	1,735	1,776	1,817	1,858	1,899	1,941	1,982	2,023
50	2,023	2,064	2,106	2,147	2,188	2,230	2,271	2,312	2,354	2,395	2,436
60	2,436	2,478	2,519	2,561	2,602	2,644	2,685	2,727	2,768	2,810	2,851
70	2,851	2,893	2,934	2,976	3,017	3,059	3,100	3,142	3,184	3,225	3,267
80	3,267	3,308	3,350	3,391	3,433	3,474	3,516	3,557	3,599	3,640	3,682
90	3,682	3,723	3,765	3,806	3,848	3,889	3,931	3,972	4,013	4,055	4,096
100	4,096	4,138	4,179	4,220	4,262	4,303	4,344	4,385	4,427	4,468	4,509
110	4,509	4,550	4,591	4,633	4,674	4,715	4,756	4,797	4,838	4,879	4,920
120	4,920	4,961	5,002	5,043	5,084	5,124	5,165	5,206	5,247	5,288	5,328

130	5,328	5,369	5,410	5,450	5,491	5,532	5,572	5,613	5,653	5,694	5,735
140	5,735	5,775	5,815	5,856	5,896	5,937	5,977	6,017	6,058	6,098	6,138
150	6,138	6,179	6,219	6,259	6,299	6,339	6,380	6,420	6,460	6,500	6,540
160	6,540	6,580	6,620	6,660	6,701	6,741	6,781	6,821	6,861	6,901	6,941
170	6,941	6,981	7,021	7,060	7,100	7,140	7,180	7,220	7,260	7,300	7,340
180	7,340	7,380	7,420	7,460	7,500	7,540	7,579	7,619	7,659	7,699	7,739
190	7,739	7,779	7,819	7,859	7,899	7,939	7,979	8,019	8,059	8,099	8,138
200	8,138	8,178	8,218	8,258	8,298	8,338	8,378	8,418	8,458	8,499	8,539
210	8,539	8,579	8,619	8,659	8,699	8,739	8,779	8,819	8,860	8,900	8,940
220	8,940	8,980	9,020	9,061	9,101	9,141	9,181	9,222	9,262	9,302	9,343
230	9,343	9,383	9,423	9,464	9,504	9,545	9,585	9,626	9,666	9,707	9,747
240	9,747	9,788	9,828	9,869	9,909	9,950	9,991	10,031	10,072	10,113	10,153
250	10,153	10,194	10,235	10,276	10,316	10,357	10,398	10,439	10,480	10,520	10,561
260	10,561	10,602	10,643	10,684	10,725	10,766	10,807	10,848	10,889	10,930	10,971
270	10,971	11,012	11,053	11,094	11,135	11,176	11,217	11,259	11,300	11,341	11,382
280	11,382	11,423	11,465	11,506	11,547	11,588	11,630	11,671	11,712	11,753	11,795
290	11,795	11,836	11,877	11,919	11,960	12,001	12,043	12,084	12,126	12,167	12,209
300	12,209	12,250	12,291	12,333	12,374	12,416	12,457	12,499	12,540	12,582	12,624
310	12,624	12,665	12,707	12,748	12,790	12,831	12,873	12,915	12,956	12,998	13,040
320	13,040	13,081	13,123	13,165	13,206	13,248	13,290	13,331	13,373	13,415	13,457
330	13,457	13,498	13,540	13,582	13,624	13,665	13,707	13,749	13,791	13,833	13,874
340	13,874	13,916	13,958	14,000	14,042	14,084	14,126	14,167	14,209	14,251	14,293
350	14,293	14,335	14,377	14,419	14,461	14,503	14,545	14,587	14,629	14,671	14,713
360	14,713	14,755	14,797	14,839	14,881	14,923	14,965	15,007	15,049	15,091	15,133
370	15,133	15,175	15,217	15,259	15,301	15,343	15,385	15,427	15,469	15,511	15,554
380	15,554	15,596	15,638	15,680	15,722	15,764	15,806	15,849	15,891	15,933	15,975
390	15,975	16,017	16,059	16,102	16,144	16,186	16,228	16,270	16,313	16,355	16,397
400	16,397	16,439	16,482	16,524	16,566	16,608	16,651	16,693	16,735	16,778	16,820
410	16,820	16,862	16,904	16,947	16,989	17,031	17,074	17,116	17,158	17,201	17,243
420	17,243	17,285	17,328	17,370	17,413	17,455	17,497	17,540	17,582	17,624	17,667
430	17,667	17,709	17,752	17,794	17,837	17,879	17,921	17,964	18,006	18,049	18,091
440	18,091	18,134	18,176	18,218	18,261	18,303	18,346	18,388	18,431	18,473	18,516
450	18,516	18,558	18,601	18,643	18,686	18,728	18,771	18,813	18,856	18,898	18,941
460	18,941	18,983	19,026	19,068	19,111	19,154	19,196	19,239	19,281	19,324	19,366
470	19,366	19,409	19,451	19,494	19,537	19,579	19,622	19,664	19,707	19,750	19,792
480	19,792	19,835	19,877	19,920	19,962	20,005	20,048	20,090	20,133	20,175	20,218
490	20,218	20,261	20,303	20,346	20,389	20,431	20,474	20,516	20,559	20,602	20,644
500	20,644	20,687	20,730	20,772	20,815	20,857	20,900	20,943	20,985	21,028	21,071
510	21,071	21,113	21,156	21,199	21,241	21,284	21,326	21,369	21,412	21,454	21,497
520	21,497	21,540	21,582	21,625	21,668	21,710	21,753	21,796	21,838	21,881	21,924
530	21,924	21,966	22,009	22,052	22,094	22,137	22,179	22,222	22,265	22,307	22,350
540	22,350	22,393	22,435	22,478	22,521	22,563	22,606	22,649	22,691	22,734	22,776
550	22,776	22,819	22,862	22,904	22,947	22,990	23,032	23,075	23,117	23,160	23,203
560	23,203	23,245	23,288	23,331	23,373	23,416	23,458	23,501	23,544	23,586	23,629
570	23,629	23,671	23,714	23,757	23,799	23,842	23,884	23,927	23,970	24,012	24,055
580	24,055	24,097	24,140	24,182	24,225	24,267	24,310	24,353	24,395	24,438	24,480
590	24,480	24,523	24,565	24,608	24,650	24,693	24,735	24,778	24,820	24,863	24,905
600	24,905	24,948	24,990	25,033	25,075	25,118					

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Измерение температуры многоканальным измерительным преобразователем Ш711 и термопарой

Цель работы. Изучение устройства и работы многоканального измерительного преобразователя Ш711 в комплекте с термоэлектрическим преобразователем.

Оборудование. Преобразователь измерительный цифровой многоканальный Ш711 (МИП), термоэлектрический преобразователь ТХК; блок соединительный (БС); термостат; термопреобразователь сопротивления, уравновешенный мост.

Основные сведения

Многоканальные измерительные преобразователи (МИП) Ш711 применяются в составе АСУ ТП, измерительно-технологических комплексов, а также как автономный измерительный прибор на предприятиях энергетики, металлургии, химической, нефтеперерабатывающей промышленности и других отраслях.

МИП Ш711 выполняет преобразование унифицированных аналоговых электрических сигналов постоянного тока, напряжения от датчиков расхода, давления, уровня и датчиков температуры в кодированный электрический сигнал. С использованием дополнительных устройств возможно подключение к ПЭВМ до 8 МИП.

Приборы Ш711/1-1, Ш711/2-1 обеспечивают:

измерение по 80 каналам (любой канал может быть запрограммирован потребителем на любой датчик);

подключение датчиков Q, P, H, U, I и т.п. с унифицированным выходным сигналом постоянного тока, напряжения : 0-5 мА; 0-20 мА; 4-20 мА; 0-100 мВ, 0-500 мВ;

подключение термопреобразователей сопротивления (ТС) 100П с $W_{100}=1,3910$, 50П с $W_{100}=1,3910$, 100М с $W_{100}=1,4280$, 50М с $W_{100}=1,4280$, 100М с $W_{100}=1,4260$ по ГОСТ 6651-94, ТСП гр.21 ($R_0=46$ Ом) с $W_{100}=1,3910$, ТСМ гр.23 ($R_0=53$ Ом) с $W_{100}=1,4260$ по ГОСТ 6651-78, термопар (ТП) А-1, А-2, А-3(ТВР), В(ТПР), S(ТПП), К(ТХА), L(ТХК), Т(ТМК), М(ТМК), R(ТПП), Е(ТХКн), J(ТЖК) по ГОСТ Р 8.585 – 2001;

масштабное преобразование выходного кодированного сигнала;

извлечение квадратного корня из значения выходного кодированного сигнала;

измерение расхода с помощью расходомеров, имеющих унифицированный выходной сигнал 0...100 мВ, 0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА,

преобразование выходного кодированного сигнала в унифицированный аналоговый сигнал постоянного тока (0-5 мА; 0-20 мА; 4-20 мА), количество аналоговых выходов – не более 16;

индикацию результатов преобразования и вычисления на цифровом индикаторе пульта;

предел допускаемого значения основной приведенной погрешности МИП при преобразовании напряжения 0,05%;

предел допускаемого значения основной приведенной погрешности МИП при преобразовании тока 0,1%;

предел допускаемого значения основной приведенной погрешности МИП при преобразовании выходного кодированного сигнала в выходной аналоговый сигнал 0,5%;

пределы допускаемого значения абсолютной основной погрешности МИП при измерении температуры с помощью ТП находятся в пределах от $\pm 0,5$ до $\pm 2,2$ °С в зависимости от типа ТП и диапазона измерения;

пределы допускаемого значения абсолютной основной погрешности МИП при измерении температуры с помощью ТС находятся в пределах от $\pm 0,25$ до $\pm 1,00$ °С в зависимости от типа ТС и диапазона измерения;

ЗАДАНИЕ. Измерить температуру в термостате измерительным каналом ТЭП– МИП Ш711.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться со схемой подключения МИП к термопаре.
2. Выполнить подключение термопары к блоку соединительному (БС) и блока соединительного к модулю соединительному (МС), который подключается к МИП. Схема подключения приведена на рис.5.1.
3. Запрограммировать МИП для измерения температуры в одной точке термоэлектрическим термометром хромель - копель (ХК).

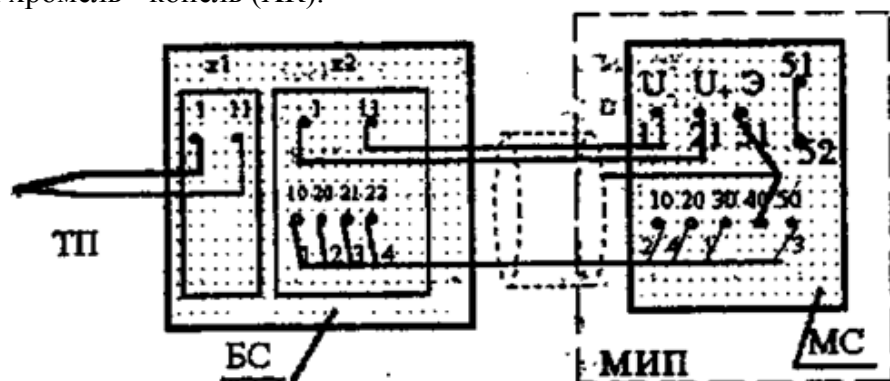


Рис.5. 1. Схема подключения термопары к МИП: ТП- термопара, БС – блок соединительный, МС – модуль соединительный, 1, 11– клеммы для подключения термопары, 10,20,21,22 – клеммы для подключения термопреобразователя сопротивления

4. Установить на задатчике температуры, блока управления термостата, заданное значение температуры. Включить блок управления термостатом.
5. Измерить температуру в термостате образцовым термометром сопротивления и уравновешенным мостом. Образцовый ТС имеет градуировку Гр.21
6. Поместить термопару в термостат и записать в таблицу 5.1. установившееся показание МИП.

Таблица 5.1 Результаты измерений и расчетов

Показания уравновешенного моста, Ом	Результат измерения температуры по ТПС, °С	Показания МИП, °С	Погрешности измерения температуры МИП, °С	Погрешности измерения температуры ТПС, °С

Расчетная часть

1. Определить результат измерения температуры, используя формулу:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

где R_t - сопротивление ТС, Ом, при температуре t , °С; $R_0=46$ Ом - номинальное сопротивление ТС при температуре 0 °С; $A = 3,9690 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $B = -5,841 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$; t – результат измерения температуры, °С.

Вычисления необходимо проводить в среде Mathcad, используя функцию **root**.

2. Оценка погрешности измерения температуры с помощью ТПС и уравновешенного моста определяется по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2},$$

где $\Delta_1 = \frac{\Delta_R}{R_0 A}$ - оценка погрешности измерения температуры, обусловленная погрешностью

Δ_R измерения сопротивления; $\Delta_2=0,6+0,01t$ - предел допускаемой погрешности НСХ (до-

пуск ТПС). Погрешность Δ_R измерения сопротивления определить исходя из предела допускаемой основной, относительной погрешности уравновешенного моста $\delta=\pm 0,1\%$.

3. Оценка погрешности измерения температуры с помощью ТЭП и МИП определяется по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2},$$

где $\Delta_3=2,5^\circ\text{C}$ – погрешность термопары ХК (исходя из допуска); $\Delta_4=0,5^\circ\text{C}$ – погрешность МИП, обусловленная влиянием температуры свободных спаев; $\Delta_5=0,6^\circ\text{C}$ – погрешность МИП.

4. Записать результаты измерений температуры двумя измерительными каналами в следующем виде $t = t_{\text{ИК}} \pm \Delta$, где Δ – погрешность измерения температуры (округляется до двух значащих цифр), $t_{\text{ИК}}$ – результат измерения температуры измерительным каналом (ИК), t – действительное значение температуры (наиболее приближенное к истинному значению).

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Результаты измерений и расчетов (таблицы 5.1)
3. Листинг расчетов в Mathcad

Перечень основных вопросов для защиты лабораторной работы

1. Все вопросы лабораторных работ №1 и №2
2. Схема подключения ТЭП к МИП. Способ коррекции показаний МИП по температуре свободных спаев.
3. Уравнения, используемые вычислительным модулем МИП при расчете измеряемой температуры

ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ № 6

Определение основной погрешности преобразователя разности давлений типа САПФИР- 22ДД

Цель работы. Изучение устройства и работы преобразователя. Изучение методики определения основной погрешности.

Оборудование. Преобразователя разности давлений САПФИР 22ДД с диапазоном измерения $0 \div 63$ кПа, блок питания преобразователя, источник сжатого воздуха (компрессор), редуктор давления с фильтром и манометром, задатчик давления П23Д.4, манометр образцовый МО с диапазоном измерения $0 \div 1$ кгс/см² и шкалой $0 \div 400$ делений, цифровой вольтметр В7-22А.

Основные сведения

Тензорезистивный преобразователь разности давлений Сапфир 22ДД предназначен для преобразования перепада (разности) давления в диапазоне $(0 - 63)$ кПа в унифицированный сигнал постоянного тока $(4 - 20)$ мА.

Тензопреобразователь 4 (рис. 6.1.) мембранно-рычажного типа, размещен внутри основания 9, в замкнутой полости 11, заполненной кремнийорганической жидкостью, и отделен от измеряемой среды металлическими гофрированными мембранами 8. Мембраны 8 приварены по наружному контуру к основанию 9 и соединены между собой центральным штоком 6, который связан с концом рычага тензопреобразователя 4 с помощью тяги 5. Фланцы 10 уплотнены прокладками 3. воздействие измеряемой разности давлений (большее давление подается в камеру 7, меньшее – в камеру 12) вызывает прогиб мембран 8, изгиб мембраны тензопреобразователя 4 и изменение сопротивления тензорезисторов. Электрический сигнал от тензопреобразователя передается в электронное устройство 1 по проводам через гермовывод 2.

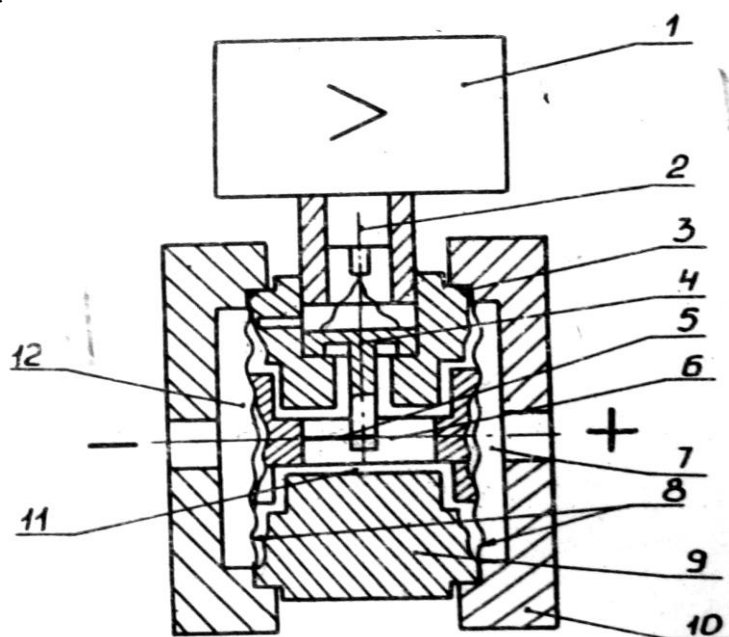


Рис. 6.1. Схема преобразователя САПФИР 22ДД: 1 – электронное устройство, 2 – гермовывод, 3 – прокладка, 4 – тензопреобразователь, 5 – тяга, 6 – центральный шток, 7 – камера, 8 – мембраны, 9 – основание, 10 – фланцы, 11 – полость, 12 – камера

Задание. Определить основную погрешность преобразователя САПФИР -22ДД

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Включить источник напряжения питания преобразователя Сапфир -22ДД в сеть и прогреть его в течение 30 мин.

2. Редуктором давления установить давление 1,4 кгс/см².
3. Задатчиком давления подать на вход преобразователя давление 0 кПа (0 по шкале образцового манометра).
4. Определить выходной ток преобразователя Сапфир -22ДД по цифровому вольтметру В7-22 в режиме измерения тока
5. Определить выходной ток преобразователя Сапфир -22ДД, последовательно подавая на вход преобразователя давление воздуха, соответствующее показаниям образцового манометра: 0, 50, 100, 150, 200, 250 дел.
7. Тоже самое проделать при уменьшении входного давления в тех же точках шкалы образцового манометра (обратный ход). Данные занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 Результаты измерений и расчетов

Входное давление $P_{ВХ}$, кгс/см ²	Расчетное значение выходного тока I_P , мА	Выходной ток $I_{ВЫХ}$, мА		Абсолютная погрешность $\Delta_{МАХ}$, мА		Приведенная погрешность γ , %		Вариация V , %
		Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	

Расчетная часть

1. Определить цену деления образцового манометра:
ЦД= 1кгс/см²/400дел
2. Определить значения давления в кгс/см² на входе преобразователя Сапфир -22ДД, соответствующие показаниям образцового манометра: 0, 50, 100, 150, 200, 250 дел. и записать в таблицу 6.1.
3. Определить расчетное значение выходного тока преобразователя Сапфир -22ДД по уравнению:

$$I_P = \frac{I_P^K - I_P^H}{P_{ВХ}^K - P_{ВХ}^H} \cdot P_{ВХ} + I_P^H,$$

где $I_P^K = 20 \text{ мА}$ - расчетное конечное значение выходного тока, мА; $I_P^H = 4 \text{ мА}$ - расчетное начальное значение выходного тока, мА; $P_{ВХ}$ - входное давление, кгс/см²; $P_{ВХ}^K$ - конечное значение входного давления, кгс/см²; $P_{ВХ}^H$ - начальное значение входного давления, кгс/см².

4. Определить основную погрешность преобразователя Сапфир 22ДД

$$\Delta = I_{ВЫХ} - I_P,$$

$I_{ВЫХ}$ – значение выходного тока преобразователя.

5. Определить приведенную погрешность преобразователя:

$$\gamma = \frac{\Delta}{I_P^K - I_P^H} \cdot 100\%$$

6. Определить вариацию показаний преобразователя:

$$V = \frac{I_{ВЫХ}^{ОБ.ХОД} - I_{ВЫХ}^{ПР.ХОД}}{I_P^K - I_P^H} \cdot 100\%.$$

7. Сделать вывод о соответствии максимальной погрешности преобразователя с его пределом допускаемой основной погрешности.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Результаты измерений и расчетов (таблицы 6.1)

Перечень основных вопросов для защиты лабораторной работы

1. Единицы измерения давления. Перевод из одних единиц измерения в другие.
2. Конструкция и принцип работы преобразователя Сапфир 22 ДД. Элементы конструкции.
3. Методика экспериментального определения погрешности преобразователя
4. Формулы для расчета абсолютной, относительной и приведенной погрешности.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. Учебн. для вузов. 4-е изд. М.: Машиностроение, 2008.
2. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. Учебн. для вузов по специальности «Автоматизация теплоэнергетических процессов». – 3-е изд., М.: Энергия, 1978.
3. ГОСТ 6651-2009. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний.
4. ГОСТ Р. 8.585—2001. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования.

Методическое издание
АЗИМА ЮРИЙ ИВАНОВИЧ
СТЕКОВНИКОВ АЛЕКСАНДР ЮРЬЕВИЧ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ
Методические указания к выполнению лабораторных работ

Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева
Новомосковский институт. Издательский центр
Адрес университета: 125047, Москва, Миусская пл., 9
Адрес института: 301670, Новомосковск, Тульской обл., Дружбы 8