

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования**

**«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра автоматизированных  
систем управления производством**

**ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ И  
ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ**

**Методические указания к выполнению  
лабораторных работ по дисциплине  
«Автоматика и электроника»**

для студентов специальности 1-740005  
«Энергетическое обеспечение сельского хозяйства»

Минск 2007

УДК  
ББК

Потенциометрические датчики и датчики температуры. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Автоматика и электроника» для студентов специальности 1-740005 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства» рассмотрено на заседании методической комиссии агроэнергетического факультета и рекомендованы к изданию на ротапринте БГАТУ.

Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Составитель к. т. н., доцент Сидоренко Ю.А.  
Отв. за выпуск Сидоренко Ю.А.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Подготовка к лабораторным занятиям и правила оформления отчета о лабораторной работе .....	4
Лабораторная работа № 1 Потенциометрические датчики .....	7
Лабораторная работа № 2 Датчики температуры .....	16

## **ВВЕДЕНИЕ**

Предлагаемые лабораторные работы посвящены изучению потенциометрических датчиков и датчиков температуры, в частности термометров сопротивления и термопар.

Рассматриваемые датчики широко используются в системах автоматики благодаря своей простоте, надежности, сравнительно высокой точности и стабильности.

## **ПОДГОТОВКА К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ И ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ**

Перед лабораторным занятием необходимо понять цель работы и задание, освоить по рекомендуемой литературе и методическим указаниям учебный материал, относящийся к теме работы, ознакомиться с лабораторным стендом и порядком выполнения работы. Перед занятием необходимо заготовить титульный лист, листы с целью работы, заданием и другим необходимым материалом согласно порядку выполнения работы (заголовки, таблицы и т. д.). На лабораторных занятиях необходимо иметь калькулятор.

Согласно «СТП БГАТУ 02-96» отчет выполняется по одной стороне листа формата А4 или близкого к нему формата. Допускается выполнение отчета в специальных тетрадях.

Отчет излагается в такой последовательности: титульный лист, цель работы, задание, пункты работы в соответствии с «Порядком выполнения работы». Каждый пункт нумеруется и озаглавляется в соответствии с «Порядком выполнения работы». В каждом пункте должны быть приведены необходимые эскизы, схемы, таблицы, графики, формулы и зависимости.

Пример оформления титульного листа приведен ниже.

Эскизы и схемы должны быть выполнены с соблюдением правил. Под ними должны быть даны номер рисунка, полное название рисунка и, при необходимости, расшифровка обозначений.

Таблицы приводятся с номером таблицы и названием над таблицей, обозначениями переменных и их размерностью.

Пример оформления титульного листа отчета о лабораторной работе:

Белорусский государственный аграрный технический университет

Кафедра АСУП

Группа 72

## **Д а т ч и к и   т е м п е р а т у р ы**

Отчет о лабораторной работе № 1  
по дисциплине «Автоматика и электроника»

Исполнитель

10. 05. 07 г.

В.И. Петров

Руководитель

10. 05. 07 г.

Ю.А. Сидоренко

Графики выполняются в масштабе, обеспечивающем наглядность и достоверность информации. Оси координат должны быть снабжены обозначениями переменных, размерностью переменных и шкалой. На графике должны быть нанесены точки, по которым он строится. Если в одних координатах строится несколько графиков, то они должны быть обозначены. Под графиками должны быть даны номер рисунка и полные названия графиков.

Формулы и зависимости приводятся в общем виде и с численными значениями параметров и результатом расчета (если он выполняется) с размерностью полученных величин. Под формулой или зависимостью дается расшифровка обозначений, если эти обозначения встречаются в отчете впервые.

Отчет о лабораторной работе представляется преподавателю, и работа защищается в конце занятия.

В исключительном случае допускается защита в начале следующего занятия или на консультации.

## Лабораторная работа № 1 ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ

**Цель работы:** изучить принцип действия, назначение, особенности работы и примеры исполнения потенциометрических датчиков.

### Задание

Изучить принцип действия, назначение, особенности работы и примеры исполнения потенциометрических датчиков по литературе [1, 2], лабораторному стенду, плакатам и данным методическим указаниям.

Теоретически и экспериментально исследовать один из потенциометрических датчиков (по указанию преподавателя) для измерения линейных или угловых перемещений.

Ознакомиться с работой других датчиков, представленных на стенде.

### Краткие сведения о потенциометрических датчиках

Потенциометрические датчики (потенциометрические измерительные преобразователи) представляют собой переменное сопротивление с подвижным контактом (потенциометр) (рисунок 1.1). К подвижному контакту и одному из концов сопротивления подключена нагрузка  $R_n$ . Нагрузка — это последующие элементы устройства, в которое входит датчик, например последующие элементы или измерительный прибор.

Потенциометрические датчики по принципу действия относятся к омическим датчикам (омическим измерительным преобразователям) — датчикам, у которых при изменении входной (измеряемой) величины изменяется омическое сопротивление первичного преобразователя. Предназначены потенциометрические датчики для измерения линейных  $X$  и угловых  $\alpha$  перемещений (рисунок 1.1).

При перемещении подвижного контакта изменяется сопротивление  $R_x$  (или  $R_0$ ) и, следовательно, изменяются ток и напряжение на нагрузке. Ток  $I_n$  и напряжение  $U_n$  являются выходным сигналом датчика.

Примеры различных видов омических преобразователей представлены на стенде над лабораторной установкой

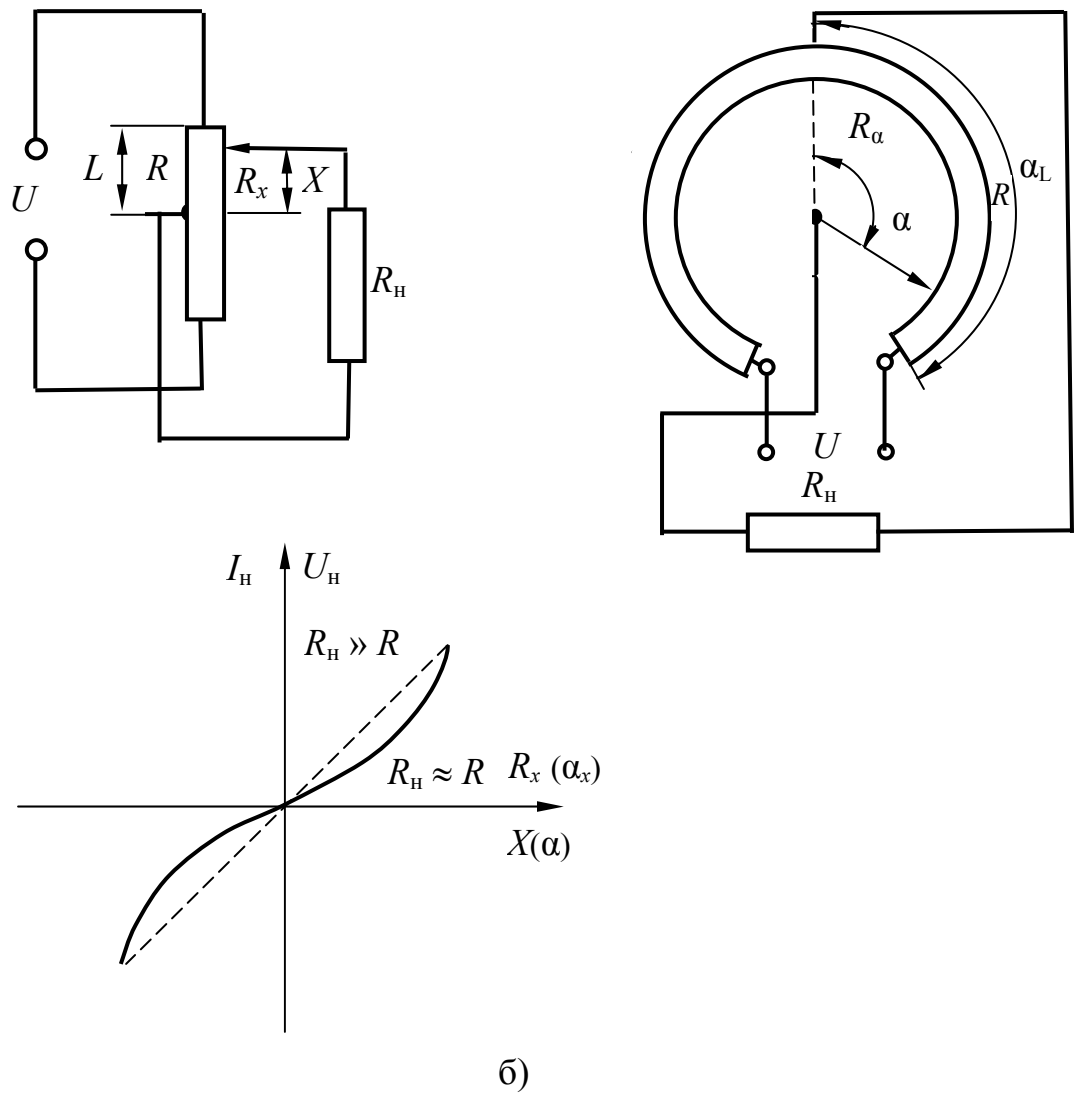
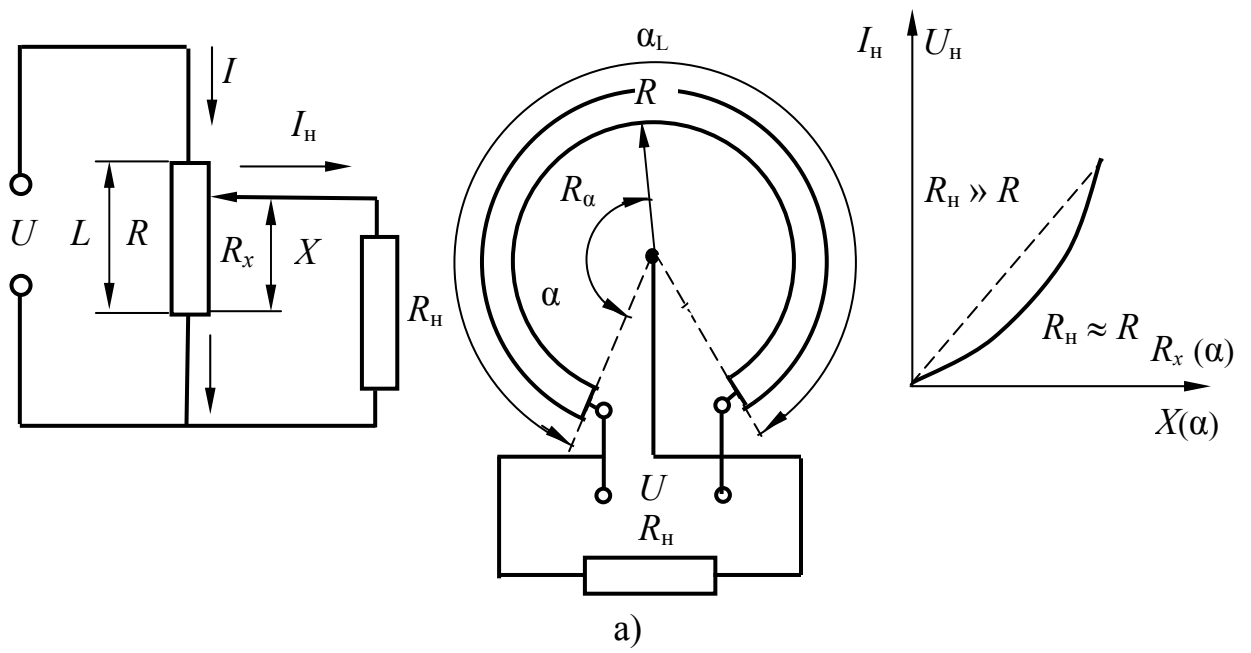


Рисунок 1.1 — Принципиальные схемы потенциметрических датчиков и соответствующие им статические характеристики:  
 а — схема без средней точки; б — схема со средней точкой



Сопротивление  $R$  потенциометрического датчика потенциометрического датчика может быть выполнено проволочным (в виде намотанной на изоляционный каркас проволоки), угольным, пленочным, и жидкостным. В последних случаях роль сопротивления выполняют угольные пластины или стержни, проводящая пленка, нанесенная на изолятор, например стекло, и жидкость в специальном сосуде.

Достоинством потенциометрических датчиков является простота, высокая точность измерения, стабильность. Недостатком является наличие подвижного контакта, который изнашивается, и чувствительность к вибрациям из-за нарушения контакта между собственно сопротивлением и подвижным контактом.

В системах автоматики наиболее часто используются специальные прецизионные потенциометры. В качестве примера на стенде имеется такой потенциометр типа ПЛ1 (второй слева).

Рассмотрим зависимости между входной (измеряемой) величиной  $X$  и выходными величинами  $I_H$  и  $U_H$  рассматриваемых датчиков.

$$\left[ \begin{array}{l} U = I(R - R_x) + (I_H R_H) \\ I = I_x + I_H \\ R_x/R = X/l \\ I_x/I_H = R_H/R_x \end{array} \right.$$

где —  $U$  напряжения питания;  $I$  — ток датчика;  $I_H$  — ток нагрузки;  $I_x$  — ток в сопротивлении  $R_x$ ;  $R$  — полное сопротивление потенциометра;  $R_x$  — сопротивление на участке ;  $R_H$  — сопротивление нагрузки;  $l$  — длина сопротивления потенциометра;  $X$  — измеряемое перемещение (рисунок 1.1).

Решим систему уравнений относительно  $I_H$ :

$$I_i = \frac{U}{R_i L} \times \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_i} - \frac{R_x^2}{RR_i}} X \quad (1.1)$$

Умножив на  $R_n$ , получаем напряжение на нагрузке:

$$U_n = \frac{U}{L} \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_n} - \frac{R_x^2}{RR_n}} X \quad (1.2)$$

Очевидно, что статические характеристики  $I_n(X)$  и  $U_n(X)$  датчика нелинейные, поскольку при изменении  $X$  изменяется величина  $R_x$ , входящая в нелинейную часть (\*) рассматриваемых зависимостей. Причем чем больше  $R_n$  по сравнению с  $R$ , тем ближе значение нелинейной части (\*) к 1 и, следовательно, статические характеристики к линейным.

Обычно на практике их считают линейными при  $R_n > (8 \dots 10)R$ .

При этом условии выражение (\*) принимают равным 1. Тогда:

$$I_n = \frac{U}{R_n L} X = K_i X ; \quad (1.3)$$

$$U_n = \frac{U}{LX} K_u X , \quad (1.4)$$

где  $K_i$  — чувствительность (коэффициент передачи) датчика по току;  $K_u$  — чувствительность (коэффициент передачи) датчика по напряжению.

Для круговых потенциометров зависимости (1.1, 1.2, 1.3 и 1.4) имеют тот же вид. Однако в них необходимо заменить  $X$  на  $\alpha$  и  $L$  на  $\alpha_L$ :

$$I_i = \frac{U}{R_i \alpha_L} \alpha = K_i \alpha ; \quad (1.5)$$

$$U_i = \frac{U}{\alpha_L} \alpha = K_u \alpha . \quad (1.6)$$

Очевидно, что выходные сигналы  $I_n$  и  $U_n$  также зависят от напряжения питания  $U$ . Поэтому напряжение питания следует стабилизировать.

Уменьшения нелинейности статической характеристики датчика можно также добиться включением потенциметрического преобразователя в мостовую схему. Кроме того, мостовые схемы применяют для измерения разности линейных ( $X_1 - X_2$ ) или угловых ( $\alpha_1 - \alpha_2$ ) перемещений (рисунок 1.2):

$$U_v = K_u (X_1 - X_2) \quad \text{или} \quad U_v = K_u (\alpha_1 - \alpha_2).$$

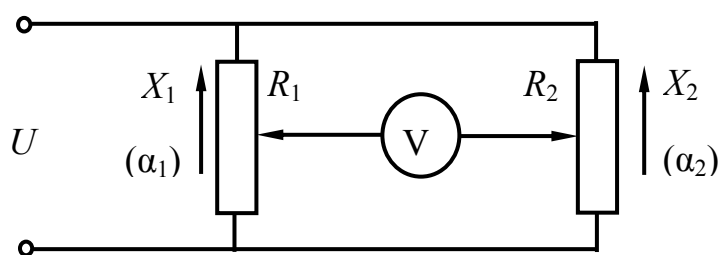


Рисунок 1.2 — Принципиальная схема потенциметрического датчика для измерения разности перемещений  $X_1 (\alpha_1)$  и  $X_2 (\alpha_2)$

### Стенд лабораторной работы

Стенд лабораторной работы состоит из стенда образцов омических преобразователей (на этом стенде показаны схемы потенциметрических датчиков и примерный вид их статических характеристик) и лабораторной установки для выполнения экспериментальной части работы.

В лабораторной установке смонтированы источник питания  $U$  с гнездами 1 и 2 для его подключения, устройство для исследования статических характеристик потенциметрических датчиков линейных и угловых перемещений (схема 1 на установке), для измерения разности угловых перемещений (схема 2 на установке) и поплавковый датчик уровня топлива в баке автомобиля с потенциметрическим преобразователем.

Устройство для исследования статических характеристик содержит вольтметр  $V$  с гнездами 3 и 4 для его подключения, линейных потенциметров с гнездами 9, 10, 11 и 12 для его подключения, линейный потенциметр с

гнездами 5, 6, 7 и 8 для его подключения, магазин из трех сопротивлений  $R_n^*$  с гнездами 13, 14, 15 и 16 для его подключения. Принципиальные схемы этих устройств даны непосредственно на передней панели установки.

Устройство для измерения разности угловых перемещений содержит вольтметр  $V$  и два круговых потенциометра. Его принципиальная схема соответствует схеме на рисунке 1.2.

Включение питания установки производится автоматическим выключателем  $QF$ . Тумблером  $SA$  осуществляется переключение питания со схем 1 и 2 на поплавковый датчик уровня топлива.

Значения омических сопротивлений всех элементов устройств приведены на схемы 1 и 2 стенда.

Для коммутации элементов устройств преподавателем выдается комплект шнуров.

### Порядок выполнения работы

**1. Снять экспериментальные зависимости напряжения  $U_n$  на нагрузке от перемещения  $X$  (или  $\alpha$ ).**

Включить питание лабораторной установки выключателем  $QF$ .

Подключить шнуром источник питания  $U_k$  к вольтметру (схема 1). Подать питание тумблером  $SA$  на схему 1. Замерить напряжение источника питания и результат занести в таблицу 1. Выключить питание схемы 1.

Подключить потенциометр (гнезда 5, 6 или 9, 11) к источнику питания  $U$ . Подключить выход потенциометра (гнезда 7, 8 или 11, 12) к вольтметру. При этом нагрузкой  $R_n$  является сопротивление  $R_n$  вольтметра. Подать питание на схему 1.

Перемещая движок потенциометра от 0 до максимума, через каждые 10 мм (или через каждые  $60^\circ$ ) измерить напряжение  $U_n$  на нагрузке. Результаты занести в строку 1 таблицы 1. Выключить питание схемы.

Выбрать на магазине сопротивление  $R_n^*$  нагрузки, наиболее близкое к сопротивлению  $R$  потенциометра. Подключить выход потенциометра к этому сопротивлению (гнезда 16 и 13 или 14 и 15) и параллельно подключить вольтметр.

Рассчитать сопротивление нагрузки

$$R_n = \frac{R_n R_n^*}{R_n + R_n^*}$$

Результат расчета записать в строку 2 таблица 1.

Подать питание на схему и провести измерения, как и в предыдущем случае. Результаты занести в строку 2 таблицы 1.1. Выключить питание схемы и разобрать собранную Вами схему.

Таблица 1.1

Результаты измерений и расчетов при исследовании  
потенциометрического датчика

$U, В$	№	$R_n, Ом$	$X, мм$ ( $\alpha, град$ )	0		
	1		$U_n, В$	0		
	2		$U_n, В$	0		
	3		$U_n, В$	0		

**2. Рассчитать зависимость напряжения  $U_n$  на нагрузке от перемещения  $X$  (или  $\alpha$ ) при сопротивлении нагрузки  $R_n = \infty$ .**

Записать уравнение статической характеристики датчика при  $R_n = \infty$ .

$$U_n = \frac{U}{L} X = K_u X,$$

или

$$U_n = \frac{U}{\alpha_L} \alpha = K_u \alpha,$$

где  $L$  или  $\alpha_L$  — максимальное перемещение движка потенциометра, известное из пункта 1.

Провести расчеты при каждом значении  $X$  (или  $\alpha$ ) и результаты занести в строку 3 таблицы 1.1.

### 3. Построить графики зависимости $U_n(X)$ (или $U_n(\alpha)$ ).

По данным в строках 1, 2 и 3 таблицы 1.1 построить в одних координатах  $U_n$ ,  $X$  или  $U_n$ ,  $\alpha$  три графика 1, 2 и 3.

### 4. Снять экспериментальную зависимость напряжения на нагрузке от разности углов поворота потенциометров.

Включить питание схемы 2. Установить движок одного из потенциометров в выбранное положение, например  $120^\circ$ . Перемещая движок второго потенциометра от 0 до максимума, через каждые  $30^\circ$  провести измерения и результаты занести в таблицу 1.2. Построить график зависимости напряжения от разности углов поворота:  $U_n(\alpha_1 - \alpha_2)$ . В данном случае нагрузкой является вольтметр.

Таблица 1.2

Зависимость напряжения  $U_n$  на нагрузке от разности углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  поворота потенциометров в датчике для измерения разности углов поворота

$\alpha_1$ , град			
$\alpha_2$ , град			
$\alpha_3$ , град			

**5. Включить питание поплавкового датчика уровня. Перемещая поплавок, наблюдать его работу. Выключить питание датчика и установки в целом.**

### 6. Выводы.

В выводах указать, как влияет соотношение между сопротивлением  $R$  потенциометра и сопротивлением  $R_n$  нагрузки на линейность потенциомет-

рических датчиков. Улучшается ли линейность при использовании мостовой схемы (на примере датчика разности поворота)?

### **Вопросы для самоконтроля**

1. К какому типу датчиков относятся потенциметрические датчики?
2. Для чего предназначены эти датчики? Что является входной и выходными величинами этих датчиков?
3. При каких сопротивлениях нагрузки потенциметрические датчики можно считать почти линейными?
4. Что такое чувствительность (коэффициент передачи) этих датчиков? Какова его размерность?
5. Привести примеры конструктивного исполнения потенциметрических датчиков.
6. Улучшает ли линейность потенциметрического датчика включение потенциметра в мостовую схему?

### **Литература**

1. Средства автоматизации и телемеханики / Н.И. Бохан [и др.]. — М.: Агропромиздат, 1992. — 351 с.
2. Бородин, И.Ф. Технические средства автоматизации / И.Ф. Бородин. — М.: Колос, 1982. — 303 с.

## Лабораторная работа № 2 ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ

**Цель работы:** изучить принцип действия датчиков температуры, используемых в системах автоматики

**Задание.** Изучить классификацию датчиков температуры по принципу действия первичного преобразователя по литературе [1, 2], лабораторным стендам, плакатам и данным методическим указаниям.

Теоретически и экспериментально исследовать термометр сопротивления металлический и термопару. Сравнить результаты теоретических и экспериментальных исследований.

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ДАТЧИКАХ ТЕМПЕРАТУРЫ

Классификация датчиков (измерительных преобразователей) температуры по принципу действия первичного измерительного преобразователя (чувствительного элемента) приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Классификация датчиков по принципу действия первичных измерительных преобразователей

1.	Жидкостные
2.	Манометрические: – мембранные; – сильфонные; – манометрической; – пружинной трубой
3.	Биметаллические
4.	Дилатометрические
5.	Термометры сопротивления: – металлические; – полупроводниковые (термисторы, позисторы)
6.	Термоэлектрические (термопары)
7.	Диоды и транзисторы как преобразователи температуры
8.	Пирометры



Рассмотрим более подробно термометры сопротивления металлические и термопары, лабораторные исследования которых проводятся в данной работе.

Принцип действия термометров сопротивления основан на изменении омического сопротивления материала чувствительного элемента при изменении температуры.

Чувствительный элемент термометров сопротивления металлических выполняется из проволоки *1* (рисунок 2.1). Проволока намотана на изоляционный каркас *2* и закрыта защитным кожухом *3*. Выводы *4* закреплены в изоляционной колодке *5*.

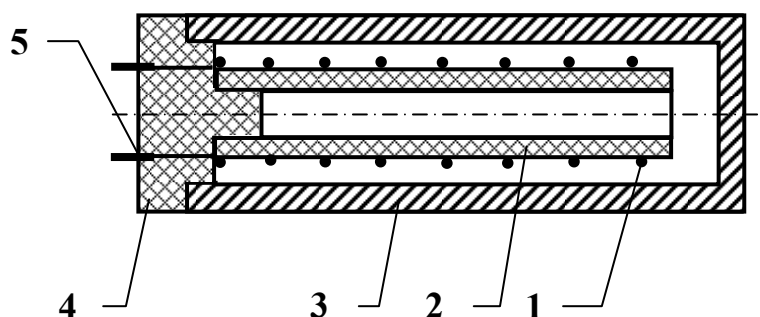


Рисунок 2.1 — Термометр сопротивления металлический

На практике проволоку *1* изготавливают из чистой электролитической меди (обозначают такие термометры сопротивления ТСМ) и платины (обозначают такие термометры сопротивления ТСП). Термометры сопротивления медные (ТСМ) используют для измерения температуры от  $-50$  до  $+180$  °С, термометры сопротивления платиновые (ТСП) используют для измерения температуры от  $-200$  ° до  $+650$  °С.

При увеличении температуры сопротивление металлов возрастает. В широком диапазоне температуры эта зависимость нелинейная. Однако в рабочем диапазоне температуры зависимость сопротивления ТСМ от температуры почти линейна. Зависимость сопротивления ТСП от температуры несколько нелинейная из-за большого диапазона рабочей температуры. В узком диапазоне температуры ее также можно считать линейной.

Для расчета сопротивления  $R_\Theta$  ТСМ в рабочем диапазоне температуры можно использовать зависимость 2.1:

$$R_\Theta = R_0 [1 + \alpha_T (\Theta - \Theta_0)] = R_0 + R_0 \alpha_T \Delta\Theta, \quad (2.1)$$

где  $R_0$  — сопротивление при температуре  $\Theta_0$ ;  $\alpha_T$  — температурный коэффициент сопротивления;  $\Theta_0$  — температура, для которой рассчитывается сопротивление.

Для расчета сопротивления  $R_\Theta$  ТСП в рабочем диапазоне температур можно использовать зависимость [1]:

$$R_\Theta = R_0 [1 + \alpha_T (\Theta - \Theta_0) + \beta_T (\Theta - \Theta_0)^2] = R_0 + R_0 \alpha_T \Delta\Theta + R_0 \beta_T \Delta\Theta^2, \quad (2.2)$$

где  $\beta_T$  — коэффициент.

Таким образом, чувствительность (коэффициент передачи) таких датчиков в окрестностях точки  $R_0$ .

$$\hat{E}_\Theta = R_0 \alpha_\Theta = \frac{dR}{d\Theta} \approx \frac{\Delta R}{\Delta\Theta}. \quad (2.3)$$

На практике пользоваться вышеприведенными зависимостями 2.1 и 2.2 неудобно, поскольку значения  $\alpha_T$  и  $\beta_T$  зависит от материала датчика и значения  $R_0$ . Рациональнее воспользоваться таблицами, имеющимися в справочниках, следующим образом.

В справочнике по средствам автоматики приведены номинальные значения сопротивлений при различных температурах. Например, для исследуемого в работе термометра ТСМ-50М в [3] приведена следующая таблица.

Таблица 2.2

Номинальная характеристика медного термопреобразователя ТСМ-50М в диапазоне температур от  $-50$  до  $+200$  °С

Температура, °С	Сопротивление, Ом	Температура, °С	Сопротивление, Ом
-50	30,240	+100	71,400
0	50,000	+200	92,791

Для расчета сопротивлений в некотором диапазоне температуры  $\Theta_0 \dots \Theta_1$  (как для ТСМ, так и для ТСП) удобно пользоваться линейной зависимостью:

$$R_{\Theta} = R_0 + K_{\Theta}(\Theta - \Theta_0) ; \quad (2.4)$$

$$K_{\Theta} = \frac{R_1 - R_0}{\Theta_1 - \Theta_0} , \quad (2.5)$$

где  $R_0, R_1$  и  $\Theta_0, \Theta_1$  — соседние значения сопротивлений и термометр, взятые из таблиц номинальных характеристик;  $K_{\Theta}$  — чувствительность датчика в диапазоне температуры  $\Theta_0 \dots \Theta_1$ .

Погрешность металлических термометров сопротивления составляет 0,6...1 %.

Металлические термометры сопротивления широко используются в системах автоматики благодаря простоте, надежности и точности.

Термопары (термоэлектрические преобразователи) относятся к генераторным датчикам. Принцип действия термопар основан на следующем.

При соединении двух разнородных металлов  $A$  и  $B$  (рисунок 2.2), в месте соединения электроны из одного металла проникают в другой, причем металл с большей активностью свободных электронов приобретает положительный потенциал, а металл с меньшей активностью свободных электронов — отрицательный потенциал. Интенсивность перехода электронов из одного металла в другой зависит от температуры. Следовательно, если температура соединений будет различной, то в замкнутом контуре  $AB$  возникает термоЭДС, величина которой зависит от разности температур соединений. Таким образом, если температура  $\Theta_x$  холодного соединения известна, то по термоЭДС можно определить  $\Theta_r$  температуру горячего соединения.

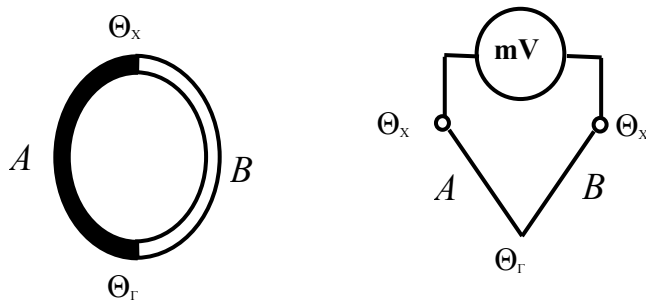


Рисунок 2.2 — Термопара (термоэлектрический преобразователь)

Измеряют термоЭДС с помощью приборов, включаемых в цепь холодного соединения (рисунок 2.2).

Проводники  $A$  и  $B$  называют термоэлектродами. Места соединений термоэлектродов называют спаями. Спай, соприкасающийся со средой, температура которой измеряется, называют горячим спаем. Другой спай называют холодным спаем.

Термоэлектроды изготавливают из специально подобранных металлов и сплавов: вольфрам-рений (ТВР) с диапазоном измеряемых температур  $0...2500$  °С; платина-родий (ТПР) —  $+300...1600$  °С; платинородий-платина (ТПП) —  $0...1300$  °С; хромель-алюмель (ТХА) —  $-50...+1000$  °С; хромель-копель (ТХК) —  $-50...+600$  °С.

Чувствительность металлических термопар невелика — от  $0,01$  до  $0,07$  мВ на  $1$ °С. Существуют также полупроводниковые термопары с чувствительностью до  $1$  мВ/град.

Термопары широко применяют в системах автоматики благодаря простоте, надежности, точности и малым габаритам.

Согласно вышеизложенному, термоЭДС термопары

$$E_T = E_T - E_X, \quad (2.6)$$

где  $E_T$  и  $E_X$  - ЭДС, возникающие в горячем и холодном спае.

В широком диапазоне  $\Delta\Theta$  температуры эти ЭДС нелинейно зависят от температуры.

В узком диапазоне  $\Delta\Theta$  температуры (примерно  $100$  °С) зависимость термоЭДС от разности температур  $\Theta_T - \Theta_X$  почти линейна.

Этот факт позволяет достаточно просто и точно рассчитывать термоЭДС с использованием градуировочных характеристик, имеющих в справочниках (градуировка обычно проводится при  $\Theta_X = 0$  °С).

Например, градуировка характеристика [3] термопары типа ТХК (термопары типа ТХК исследуется в работе) приведена в таблице 2.3.

Градуировочная характеристика преобразователей типа ТХК

Температура, °С	ТермоЭДС, мВ	Температура, °С	ТермоЭДС, мВ
0	0,000	500	40,270
100	6,808	600	49,090
200	14,570	700	60,420
300	22,880	800	57,820
400	31,480		

Заметим, что поскольку градуировка проведена при  $\Theta_x = 0$  °С, то таблица дает приращение термоЭДС спаев (как холодного, так и горячего) относительно термоЭДС спая при  $\Theta = 0$  °С.

Пусть температура  $\Theta_x$  холодного спая находится в градуировочной таблице между температурами  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$  и им соответствуют термоЭДС  $E_1$  и  $E_2$ . Пусть температура  $\Theta_\Gamma$  горячего спая находится между температурами  $\Theta_3$  и  $\Theta_4$  и им соответствуют термоЭДС  $E_3$  и  $E_4$ . Тогда приращение термоЭДС холодного спая и приращение термоЭДС горячего спая:

$$E_x = E_1 + K_{T.1}(\Theta_x - \Theta_1) \quad (2.7)$$

$$K_{T.1} = \frac{E_2 - E_1}{\Theta_2 - \Theta_1} \quad (2.8)$$

$$E_\Gamma = E_3 + K_{T.2}(\Theta_\Gamma - \Theta_3) \quad (2.9)$$

$$\hat{E}_{T.2} = \frac{E_4 - E_3}{\Theta_4 - \Theta_3} \quad (2.10)$$

где  $K_{T.1}$  и  $K_{T.2}$  — чувствительность термопары в диапазонах температур  $\Theta_1 \dots \Theta_2$  и  $\Theta_3 \dots \Theta_4$ .

Тогда термоЭДС термопары

$$E_T = [E_3 + K_{T.2}(\Theta_\Gamma - \Theta_3)] - [E_1 + K_{T.1}(\Theta_x - \Theta_1)] \quad (2.11)$$

Если температуры  $\Theta_\Gamma$  и  $\Theta_x$  лежат в одном диапазоне, например между  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$ , то:

$$E_T = K_T(\Theta_\Gamma - \Theta_x) \quad (2.12)$$

$$K_T = \frac{E_2 - E_1}{\Theta_2 - \Theta_1}. \quad (2.13)$$

Полученные зависимости позволяют рассчитать термоЭДС  $E_T$  термопары при известных температурах  $\Theta_x$  и  $\Theta_T$  холодного и горячего спаев или рассчитать измеряемую температуру  $\Theta_T$  при известной температуре  $\Theta_x$  холодного спаев и термоЭДС  $E_T$  термопары.

Зависимость 2.12 можно использовать и в более широком диапазоне температур, если изменение термоЭДС в этом диапазоне приблизительно линейно зависит от температуры.

### **Стенд лабораторной работы**

Стенд лабораторной работы состоит из стенда образцов датчиков температуры и лабораторной установки для выполнения экспериментальной части работы.

Лабораторная установка состоит из двух сушильных шкафов 1 и 2, в каждом из которых установлены два термометра сопротивления ТСМ-50М и термопара ТХК-008. Один из термометров сопротивления шкафа используется как датчик температуры в шкафу, другой термометр сопротивления и термопара установлены для проведения их исследований.

Для измерения температуры в шкафах применен милливольтметр типа Ш4541/1, к которому и подключены датчики температуры в шкафах.

Для измерения термоЭДС термопары и сопротивления термометра в процессе исследований установлены цифровые мультиметры ЦР-04.

Включение питания лабораторной установки производится автоматическим выключателем  $QF$ , включение питания милливольтметра — тумблером  $SA1$ , включение питания мультиметра для измерения ЭДС термопары — тумблером  $SA2$ , включение питания мультиметра для измерения сопротивления термометра сопротивления — тумблером  $SA3$ , трехпозиционными тумб-

лерами SA4, SA5 и SA6 производится подключение установленных в шкафу 1 или в шкафу 2 датчиков к вышеуказанным измерительным приборам.

### Порядок выполнения работы

#### 1. Снятие экспериментальных зависимостей.

Выбрать полностью остывший сушильный шкаф, в котором температура равна температуре в помещении. Закрыть его дверцу.

Трехпозиционными тумблерами SA4, SA5 и SA6 подключить датчики выбранного шкафа к измерительным приборам.

Включить питание установки выключателем QF затем питание измерительных приборов тумблерами SA1, SA2, и SA3.

Занести в таблицы 2.4 и 2.5 начальные экспериментальные значения температуры  $\Theta$  в шкафу, сопротивления  $R_{\Theta}^{\circ}$  термометра сопротивления, разность  $\Delta\Theta$  температуры в шкафу и температуры в помещении (это разность температур горячего и холодного спаев:  $\Delta\Theta = \Theta_{\Gamma} - \Theta_{\times}$ ), поэтому ее начальное значение равно 0), ЭДС  $R_T^{\circ}$  термопары (начальное значение равно 0).

Таблица 2.4

Зависимость сопротивления термометра сопротивления от температуры

$\Theta, ^\circ\text{C}$						60
$R^{\circ}, \text{Ом}$						
$R_{\Theta}, \text{Ом}$						

Таблица 2.5

Зависимость термоЭДС от температуры

$\Theta, ^\circ\text{C}$						
$\Delta\Theta, ^\circ\text{C}$						
$E_T^{\circ}, \text{мВ}$						
$E_{\Gamma}, \text{мВ}$						

Включить тумблером питание выбранного шкафа.

По мере нагревания шкафа дополнить таблицу данными температуры  $\Theta$  в шкафу через каждые  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (начиная с ближайшего значения, кратного 10), сопротивления  $R_{\Theta}$ , разности  $\Delta\Theta$  и термоЭДС  $R_T$ .

С целью экономии лабораторного времени опыт закончить при  $\Theta = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Выключить питание шкафа, открыть его дверцу, выключить питание измерительных приборов, выключить питание установки.

## 2. Получение теоретических зависимостей сопротивления $R_{\Theta}$ и термоЭДС $E_T$ от температуры $\Theta$ в шкафу.

В наших опытах температура изменяется в одном диапазоне температуры таблиц 2.2 и 2.3. Поэтому получение зависимостей можно провести следующим образом.

1) Рассчитать чувствительность термометра сопротивления по данным таблицы 2.2:

$$K_{\Theta} = \frac{R_1 - R_0}{\Theta_1 - \Theta_0} = \dots,$$

где  $\Theta_0 = \dots^{\circ}\text{C}$ ,  $\Theta_1 = \dots^{\circ}\text{C}$  — границы диапазона температур в таблице 2.2, в пределах которого изменялась температура в опыте;  $R_0 \dots\text{Ом}$  и  $R_1 \dots\text{Ом}$  — соответствующие этим границам сопротивления.

Записать теоретическую зависимость сопротивления термометра сопротивления от температуры в рассматриваемом диапазоне температур:

$$R_{\Theta} = R_0 + K_{\Theta}(\Theta - \Theta_0) = \dots$$

Рассчитать и занести в таблицу 2.4 значения  $R_{\Theta}$  для двух крайних значений температур в опыте.

2) Рассчитать чувствительность термопары по данным таблицы 2.3:

$$K_T = \frac{E_0 - E_1}{\Theta_0 - \Theta_1} = \dots$$

где  $\Theta_0 = \dots^{\circ}\text{C}$ ,  $\Theta_1 = \dots^{\circ}\text{C}$  — границы диапазона температур в таблице 2.3, в пределах которого изменялась температура в опыте;  $E_0 = \dots\text{мВ}$  и  $E_1 = \dots\text{мВ}$  — соответствующие этим границам термоЭДС.



Записать теоретическую зависимость термоЭДС от разности температур горячего и холодного спаев в рассматриваемом диапазоне температур:

$$\dot{A}_{\dot{O}} = \dot{E}_{\dot{O}}(\Theta_{\dot{A}} - \Theta_{\dot{O}}) = \dots$$

Рассчитать и занести в таблицу 2.5 значения  $E_T$  для двух крайних значений температур в опыте.

**Примечание.** После знаков = необходимо записать численные значения величин или зависимость с численными значениями параметров.

### 3. Построение графиков полученных зависимостей.

Построить теоретическую  $R_{\Theta}(\Theta)$  (по двум крайним точкам) и экспериментальную  $R_{\Theta}^{\text{э}}(\Theta)$  зависимости сопротивления термометра сопротивления от температуры в одних координатах (для увеличения масштаба графиков начало отсчета  $R_{\Theta}$  можно принять равным 50 Ом).

Построить теоретическую (по двум крайним точкам) и экспериментальные зависимости  $E_T(\Delta\Theta)$ ,  $E_T^{\text{э}}(\Theta)$ ,  $E_T^{\text{э}}(\Delta\Theta)$ , термоЭДС от температуры и разности  $\Delta\Theta = \Theta_{\Gamma} - \Theta_{\text{х}}$  в одних координатах (ось  $\Delta\Theta$  поместить под осью  $\Theta$ ).

### 4. Выводы.

В выводах указать, соответствуют ли теоретические зависимости характеру изменения экспериментальных зависимостей и чем можно объяснить их некоторые несовпадения (перечислить возможные причины).

## Вопросы для самоконтроля

1. Классификация датчиков температуры и их принципы действия.
2. Из каких материалов в основном изготавливают чувствительный элемент термометров сопротивления металлических и как их маркируют в зависимости от материала?
3. Как рассчитывается сопротивление термометров сопротивления в зависимости от температуры с использованием градуированных характеристик?
4. Из каких материалов изготавливают термопары и как их маркируют в зависимости от материалов?

5. Как рассчитывается термоЭДС с использованием градуировочных характеристик?

### Литература

1. Средства автоматики телемеханики / Н.И. Бохан [и др.]. — М.: Агропромиздат, 1992. — 351с.
2. Бородин, И.Ф. Технические средства автоматики / И.Ф. Бородин. — М.: Колос, 1982. — 303 с.
3. Контрольно-измерительные приборы в сельском хозяйстве / Н.И. Бохан, В.А. Дайнеко, С.Н. Фурсенко. — Мн.: Ураджай, 1982. — 160 с.

Редактор *Н.Ф. Крицкая*