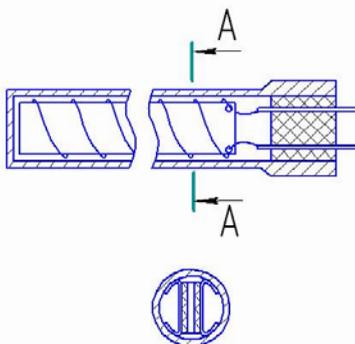


ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный  
технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
ТЕРМОРЕЗИСТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторной работе №2  
по дисциплине "Физические основы получения информации"  
для подготовки бакалавров техники и технологии  
по направлению 200100 «Приборостроение»  
всех форм обучения



Воронеж 2012

Составители: канд. техн. наук А.В. Турецкий,  
канд. техн. наук Н.В. Ципина,  
канд. техн. наук В.А. Шуваев

УДК 621.3.049.7.002 (075)

Исследование характеристик терморезистивных преобразователей: методические указания к лабораторной работе № 2 по дисциплине «Физические основы получения информации» для подготовки бакалавров техники и технологии по направлению 200100 «Приборостроение» всех форм обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. В.А. Шуваев, А.В. Турецкий, Н.В. Ципина. Воронеж, 2011. 21 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторной работы по курсу «Физические основы получения информации». Основной целью указаний являются выработка навыков работы с потенциометрическими преобразователями, уяснение их принципа действия, характеристик и параметров. Методические указания предназначены для бакалавров техники и технологии по направлению 200100 «Приборостроение» всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2003 и содержатся в файле Lab FOPI 2.rar.

Табл. 2. Ил. 8. Библиогр.: 2 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. А.В. Башкиров

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. А.В. Муратов

Издается по решению редакционно–издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012

## **1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ**

### 1.1. Цель работы

Изучить основы теории, принцип действия и причины возникновения погрешностей терморезистивных преобразователей. Экспериментально исследовать характеристики терморезистивных преобразователей.

### 1.2. Содержание работы

Принцип действия терморезистивных преобразователей (терморезисторов) основан на свойстве ряда веществ изменять свое электрическое сопротивление при воздействии температуры

Терморезисторы используются при создании измерительных устройств: термометров и датчиков температуры.

1) изучить принцип действия, конструкцию, характеристики терморезистивных преобразователей различного типа;

2) уяснить методики построения статических характеристик терморезистивных преобразователей;

3) согласно индивидуальным заданиям снять данные для построения статических характеристик терморезистивных преобразователей;

4) по полученным данным построить характеристики;

5) составить отчет о выполненной лабораторной работе.

При выполнении лабораторной работы техника безопасности должна соблюдаться при работе со стендом лабораторной установки.

## **2. ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ**

### 2.1. Задание № 1

Изучить назначение, принцип действия, характеристики и погрешности терморезистивных преобразователей.

Для выполнения домашнего задания следует проработать содержание настоящего раздела.

В приборостроении терморезисторы применяются как источники первичной измерительной информации в различных электронных термометрах. Терморезисторы по сравнению с полупроводниковыми интегральными датчиками обладают гораздо более широким диапазоном рабочих температур до 1300 К, что позволяет их применять в различной технологической аппаратуре (контроль температуры в печи, горячих сред).

Для изготовления терморезисторов применяются металлические, неметаллические и полупроводниковые материалы.

Рассмотрим устройство металлических терморезисторов. Электрический ток в металлах представляет собой движение свободных электронов. Идеальная кристаллическая решетка проводниковых материалов не создает сопротивления для их движения: ее электрическое сопротивление равно нулю. Причиной сопротивления является неидеальная периодичность кристаллической решетки материалов, которая обуславливается, с одной стороны, тепловыми колебаниями атомов и, с другой стороны, дефектами кристаллической решетки.

Большинство химически чистых металлов обладают положительным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). В зависимости от диапазона температур и других предъявляемых требований терморезисторы изготавливаются из платины, никеля и, реже из меди и вольфрама.

На рис. 1 представлен график зависимости сопротивления терморезисторов этих металлов от температуры, а в табл. 1 даны численные значения их характеристик.

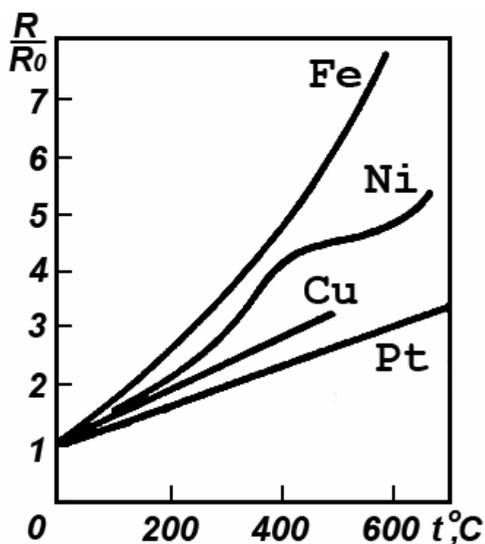


Рис. 1. График зависимости относительного сопротивления чистых металлов: платины, меди, никеля, железа от температуры

Табл. 1

Наименование материала	Удельное сопротивление (Ом мм <sup>2</sup> /м)	Средний ТКС (1/°C) для интервала 0-100 °C	Пределы применения в °C	
			нижний	верхний
Платина	0,0981	$3,92 \cdot 10^{-3}$	-250	1250
Медь	0,018	$4,26 \cdot 10^{-3}$	-50	180
Никель	0,12	$6,4 \cdot 10^{-3}$	-50	200

Принцип действия терморезисторов основан на том, что сопротивление проволоки, по которому протекает электрический ток зависит от температуры окружающей среды, геометрических параметров конструкции, свойств материалов.

На рис. 2 изображена схема конструкции датчика температуры с металлическим терморезистором.

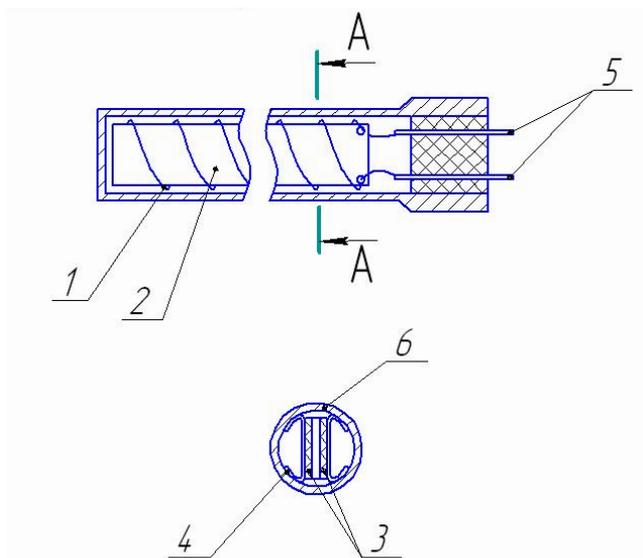


Рис. 2. Схема конструкции датчика температуры с металлическим терморезистором: 1- металлическая проволока, 2- каркас из изоляционного материала, 3- изоляционные прокладки, 4- упругие скобы, 5- токопроводы, 6- защитный корпус

Рассмотрим устройство неметаллических терморезисторов с положительным ТКС. Такие терморезисторы называются позисторами. Многие позисторы изготавливаются из сегнетоэлектрических керамик на основе титанатов, цирконатов и других солей свинца, бария, мышьяка. Их ТКС может превышать 10 ( $\%/^{\circ}\text{C}$ ). Область применения позисторов ограничивается весьма узкими интервалами температур, где нужна высокая чувствительность измерения. Помимо позисторов на основе сегнетоэлектрической керамики существуют кремниевые терморезисторы.

У позисторов температурный коэффициент сопротивления положительный и имеет величину порядка  $0,7$  ( $\%/^{\circ}\text{C}$ ) при температуре  $25^{\circ}\text{C}$ . Рабочий диапазон температур от  $-50$  до  $120^{\circ}\text{C}$ . На рис. 3 изображена схема конструкции позистора

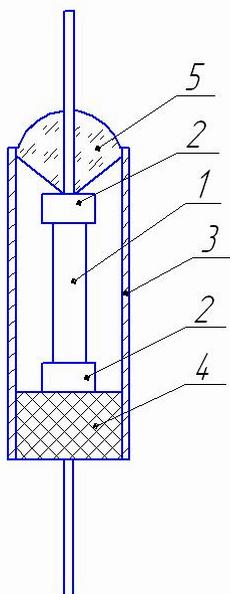


Рис. 3. Схема конструкции позистора

Тело 1 из неметаллического термочувствительного материала с двумя токовыми контактами 2 размещено в металлическом защитном корпусе 3. С одной стороны токовый контакт 2 соединен с корпусом при помощи клеммы 4, а с другой стороны подсоединен к гермовыводу 5.

Рассмотрим полупроводниковые терморезисторы

Полупроводниковые терморезисторы (ПТР) в большинстве случаев являются нелинейными элементами электрических цепей. Нелинейность вольт-амперных характеристик обусловлена большим влиянием нагрева рабочего тела при про-

хождении электрического тока (положительной тепловой обратной связи) и нелинейностью температурной характеристики. В зависимости от назначения ПТР выполняются различной конструкции. Для целей регулирования и измерения температуры ПТР выполняются малых размеров в форме бусинок диаметром 1 мм и менее или имеют форму обычных маломощных резисторов и другие формы. В качестве материала ПТР в основном применяются смеси окислов меди и марганца (тип ММТ), кобальта и марганца (КМТ). Рассмотрим основные характеристики и параметры определяющие его свойства и требования для их экспериментального определения.

Температурная характеристика.

Температурной характеристикой ПТР называется зависимость сопротивления от температуры и в рабочем диапазоне температур достаточно точно описывается выражением:

$$R=R_0 e^{b/T} \quad (2.1)$$

где  $R$  - сопротивление рабочего тела ПТР при определенной температуре, Ом.;

$T$  - температура, К;

$e$  -основание натурального логарифма ;

$R_0, b$  - коэффициенты постоянные для данного экземпляра терморезистора;

Для вычисления  $R_0, b$  достаточно подставить два известных значения сопротивления и соответствующие им температуры в выражение (2.1). Решение полученной системы уравнений даст формулу вычислений  $R_0, b$ .

$$b = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2}; \quad (2.2)$$

$$R = R_0 e^{-b/T_1}; \quad (2.3)$$

Следовательно, температурную характеристику можно считать заданной, если известны сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ . Обычно в качестве  $R_1$  берется сопротивление ПТР при температуре  $T=273\text{K}$ , которое называют номинальным сопротивлением. Сопротивление  $R_2$  удобно измерять при температуре кипения воды  $T=373\text{K}$ .

При изменении сопротивления ПТР необходимо обеспечить постоянство температур окружающей среды, помещая ПТР в термостаты. Измерение можно производить с помощью универсальных мостов или по методу амперметра и вольтметра. Однако в любом случае предварительно следует выяснить величину измерительного тока, который не вызовет заметного разогрева рабочего тела ПТР. Для этого можно воспользоваться вольт – амперной характеристикой (ВАХ) ПТР при комнатной температуре.

Статическая вольтамперная характеристика

Статическая ВАХ ПТР - это зависимость между протекающим через него током и падением напряжения при установившемся режиме нагрева  $U=f(J)$ .

В связи с тем, что при прохождении через ПТР тока в нем выделяется тепло, температура рабочего тела оказывается выше температуры окружающей среды. Сопротивление ПТР принимает значение, соответствующее этой суммарной температуре (температура среды + перегрев). Поскольку сопротивление связано с температурой нелинейной зависимостью, ВАХ также нелинейна. ВАХ снимается экспериментально при постоянной температуре окружающей среды. Состав среды и скорость ее перемещения относительно поверхности ПТР должны поддерживаться постоянными в течении эксперимента. Изменение температуры, состава или скорости среды вызовут существенные изменения формы ВАХ.

Обычно в литературе приводятся ВАХ, снятые в спокойном воздухе или же указываются условия её определения. Пример характеристики приведен на рис.4.

В силу нелинейности ВАХ статическое сопротивление ПТР зависит от величины установившегося тока протекающе-

го через ПТР. Оно определяется как отношение падения напряжения на ПТР к протекающему через него току в установившемся режиме:

$$R=U/J \quad (2.4)$$

где  $U$  - падение напряжения на ПТР, В;  
 $J$  - установившийся через ПТР ток, А.

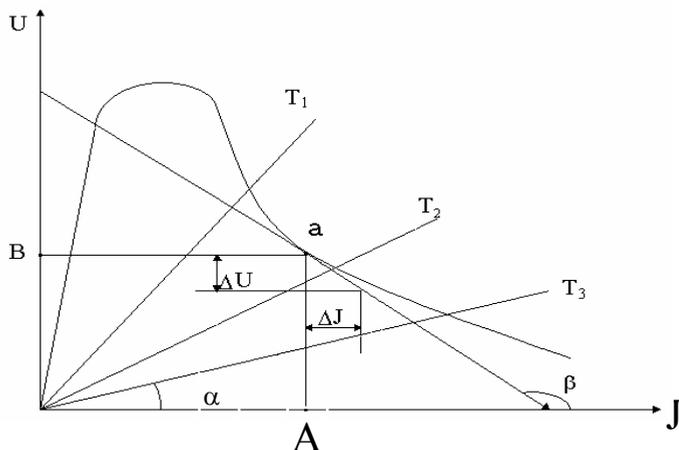


Рис.1 Вольтамперная характеристика ПТР

По величине статического сопротивления можно найти температуру рабочего тела ПТР соответствующую данной точке ВАХ. Для этого надо располагать температурной характеристикой данного ПТР. Дифференциальное сопротивление равно пределу отношения приращения напряжения на ПТР к приращению тока а нем, когда последнее приращение стремится к нулю. Если ВАХ имеет точку максимума, то в этой точке дифференциальное сопротивление  $r_g$  определится

$$r_g = \frac{dU}{dJ} = 0 \quad (2.5)$$

Правее точки максимума  $r_g < 0$ .

Статическое сопротивление пропорционально тангенсу угла  $\alpha$ , образованного секущей, проведенной из начала координат в рассматриваемую точку ВАХ, и осью токов. Дифференциальное сопротивление пропорционально тангенсу угла  $\beta$  образованного касательной в рассматриваемой точке характеристики с осью токов (рис.4).

#### Характеристики рассеяния

В установившемся режиме нагрева ПТР протекающим через него током вся мощность, выделяемая в рабочем теле ПТР, рассеивается в окружающую среду. Это условие можно записать в виде уравнения энергетического баланса для установившегося режима.

$$IU = b\Theta \quad (2.6)$$

где  $b$  - коэффициент рассеяния, учитывающий все виды распространения тепла от рабочего тела ПТР (тепловое излучение, конвекцию и теплопроводность);

$\Theta$  - температура перегрева, т.е. разность между температурой рабочего тела в данном установившемся режиме  $T_k$  и температурой окружающей среды  $T_0$ .

Величина коэффициента рассеяния  $b$  зависит от материала, размеров, состояния поверхности рабочего тела ПТР и токоподводящих частей, а также свойств окружающей среды (состава, скорости перемещения и т.д.). Входящий в уравнение (2.6) коэффициент рассеяния является функцией температуры перегрева.

Зависимость

$$b = f(\Theta) \quad (2.7)$$

называется характеристикой рассеяния.

Чтобы построить характеристику рассеяния, достаточно иметь ВАХ конкретного типа ПТР, снятую при какой-либо по-

стоянной температуре среды ( $T_0$ ) и его температурную характеристику.

На ВАХ выбирают ряд точек, в каждой из которых подсчитывают статическое сопротивление. Затем по температурной характеристике находят температуру ПТР, соответствующую каждой из выбранных точек ВАХ, и вычитая из нее температуру среды ( $T_0$ ), определяют температуру перегрева  $b$ . Величина  $b$  подсчитывается по выражению (2.6).

#### Подогревные терморезисторы

Кроме полупроводниковых терморезисторов непосредственного нагрева существуют ПТР, сопротивление рабочего тела которых управляется током подогрева, который пропускается через специальный подогреватель, расположенный вблизи рабочего тела. Такие ПТР называют подогревные или ПТР косвенного подогрева.

Конструктивное выполнение подогревных ПТР может быть различным. Часто подогреватель выполняется в виде обмотки, помещенной на трубку из изоляционного материала, внутри которой располагается рабочее тело ПТР. В других случаях само рабочее тело выполняется в виде трубки, внутри которой проходит нить подогрева. Общим для всех конструкций является наличие у них двух электрических изолированных друг от друга цепей - управляющей и управляемой.

Пропускание тока через цепь подогрева оказывает на рабочее тело ПТР такое же действие, как и увеличение температуры окружающей среды. Можно получить характеристику, которая позволит заменить при расчете цепей с таким ПТР действие тока в цепи подогрева эквивалентным ему приращением температуры среды. Для получения такой характеристики достаточно иметь зависимость сопротивления рабочего тела ПТР от токов в цепи подогрева эквивалентным ему приращением температуры среды. Для получения такой характеристики достаточно иметь зависимость сопротивления рабочего тела ПТР от токов в цепи подогрева  $R=f(I_n)$ , полученную при неизменной температуре среды  $T_0$ , и температурную характеристику данного ПТР (рис.5). Задаваясь значениями тока в цепи по

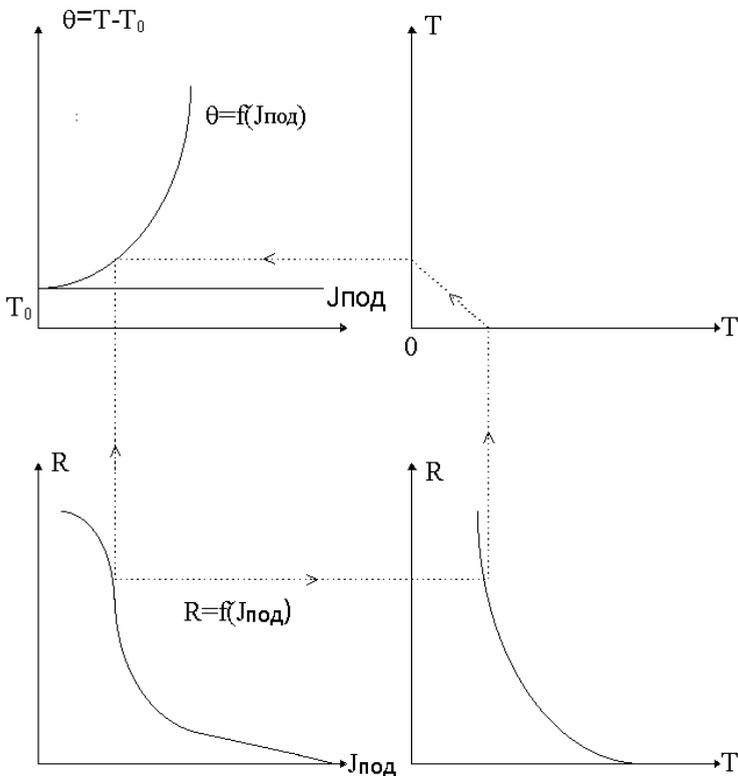


Рис. 5 Подогревная характеристика

догрева, можно определить по кривой  $R=f(J_{\text{под}})$  значение сопротивления рабочего тела ПТР, а по температурной характеристике - соответствующее им значение температуры, т.е. построить кривую  $T=f_1(J_{\text{под}})$ . Если теперь переместить ось абсцисс вверх на величину температуры среды, то в новых координатах данная кривая изображает искомую зависимость  $\Theta_{\text{под}}=f_2(J_{\text{под}})$ , где  $\Theta_{\text{под}}=T-T_0$ . Эта зависимость называется подогревной характеристикой.

Вид подогревной характеристики зависит от ряда параметров ПТР (сопротивление обмотки подогрева, теплоемкость рабочего тела, условия теплопередачи между рабочим телом и

подогревателем и т.д.), которые значительно отличаются у отдельных экземпляров ПТР одного типа.

В реальных конструкциях подогревных ПТР тепло, выделенное в нагревателе не может быть полностью воспринято рабочим телом ПТР - часть его неизбежно теряется, Для оценки конструкции подогревного ПТР пользуются коэффициентом тепловой связи между полупроводником и нагревателем. Коэффициент тепловой связи определяется как отношение мощности  $P_T$ , необходимой для разогрева рабочего тела ПТР до некоторой температуры при прямом нагреве, к мощности  $P_P$ , необходимой для разогрева до той же температуры при косвенном нагреве, т.е. пропусканием тока через нагреватель:

$$K = P_T / P_P \quad (2.8)$$

Для выпускаемых серийно подогревных ПТР коэффициент тепловой связи колеблется от 0,5 до 0,97.

Следовательно расчет ВАХ подогревного ПТР при любом сочетании температуры среды и тока в цепи подогрева сводится к расчету ВАХ ПТР непосредственного нагрева. При этом ток заменяется эквивалентным ему приращением температуры  $\Theta_{под}$  и расчёт ведётся на новую условную температуру среды:

$$T_{оу} = T_о + \Theta_{под} \quad (2.9)$$

Основные параметры терморезисторов

Полупроводниковые терморезисторы характеризуются следующими параметрами:

Допустимая температура  $T_{доп}$  определяется в основном материалом рабочего тела ПТР, свойства которого должны сохраняться при температурах, не превышающих допустимого значения. Иногда величина допустимой температуры устанавливается в зависимости от температуры плавления припоя, которым рабочее тело соединено с токоподводами.

Максимально допустимый ток - ток, при протекании которого через ПТР температура последнего равна максимально

допустимой. Величина допустимого тока зависит от температуры среды и характера последней.

Температурный коэффициент сопротивления-  $\alpha$  . Выражает в процентах изменение относительной величины сопротивления при изменении температуры на  $1^{\circ}$  .

Вследствие нелинейности температурной характеристики значение температурного коэффициента зависит от величины температуры, поэтому его записывают обычно с индексом, указывающим температуру, при которой имеет место, данное значение. Вычисляют температурный коэффициент по формуле, вытекающей из его определения и выражения температурной характеристики

$$\alpha_T = \frac{dR}{dT} \frac{1}{R} 100\% = -\frac{b}{T^2} 100\% \quad (2.10)$$

Температурный коэффициент  $\alpha_T$  для различных типов терморезисторов отрицательный и достигает 6 % на  $1^{\circ}$  .

Тепловая постоянная времени -  $\tau$  , время, в течении которого температура рабочего тела при его свободном охлаждении понижается на 63 % от первоначальной разности температур рабочего тела и окружающей сред (рис.6).

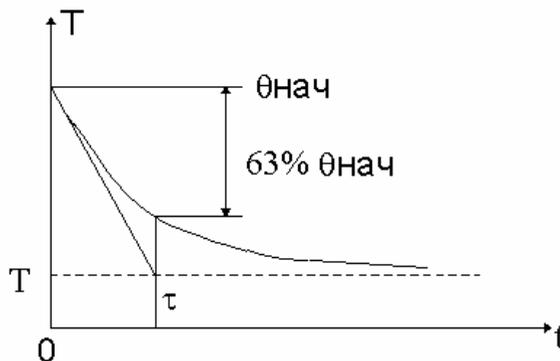


Рис.6 Тепловая постоянная времени

Теплоемкость -  $h$  количество тепла, которое надо сообщить ПТР чтобы повысить температуру рабочего тела на  $1^{\circ}$ . Величина теплоемкости является функцией температуры. Однако при температурах не превышающих допустимой для ПТР, можно принять ее постоянной и вычислять, пользуясь вытекающим из дифференциального уравнения свободного охлаждения тела выражением тепловой постоянной времени:

$$\tau = h/B \quad (2.11)$$

Значение коэффициента  $b$  при этом берется среднее.

Коэффициент энергетической чувствительности -  $m$  характеризует чувствительность относительного изменения сопротивления, обусловленного изменением рассеиваемой мощности на 1 Вт в %:

$$m = \frac{1}{R} \frac{dR}{dP_T} 100\% \quad (2.12)$$

Поскольку  $R$  и  $P_T$  зависят от температуры, можно записать

$$m = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \frac{dT}{dP_T} 100\% = \frac{\alpha_T}{b_g} \% \quad (2.13)$$

$$b_g = \frac{dP_T}{dT}$$

где  $b_g$  - динамический коэффициент рассеивания мощности.

При рассмотрении динамических свойств и колебательных процессов в цепях с терморезисторами часто используется

динамический множитель  $D$ , связанный с коэффициентом  $m$  соотношением:

$$D = mP_T \quad (2.14)$$

Электрическая постоянная времени -  $\tau_e$  характеризует скорость изменения тока к напряжения в процессе их установления. Электрическая постоянная времени  $\tau_e$  связана с тепловой постоянной времени  $\tau$  и динамическим множителем  $D$  соотношением:

$$\tau_e = \tau / (1 + D) \quad (2.15)$$

## 2.2. Контрольные вопросы к домашнему заданию

1. Каково назначение терморезистивных и термоэлектрических преобразователей?
2. Каково устройство терморезистивных преобразователей?
3. Что называют статической характеристикой терморезистивных преобразователей?
4. Что называют чувствительностью преобразователя?
5. Какие материалы применяют для изготовления терморезистивных преобразователей?
6. Каковы причины появления методических и инструментальных погрешностей в терморезистивных преобразователях?
7. Приведите примеры использования терморезистивных преобразователей в технике?

## **3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ**

### 3.1. Задание

- 1) Изучить теоретическую часть работы.
- 2) Ознакомиться с лабораторной установкой.
- 3) Снять статические температурные характеристики и построить графики  $R = f(t)$  для соответствующих терморезисторов.
- 4) Снять семейство динамических ВАХ терморезисторов;
- 5) Сделать заключение по выполненной лабораторной работе.

### 3.2. Описание лабораторной установки

Вид лицевой панели лабораторной установки приведен на рис. 7.

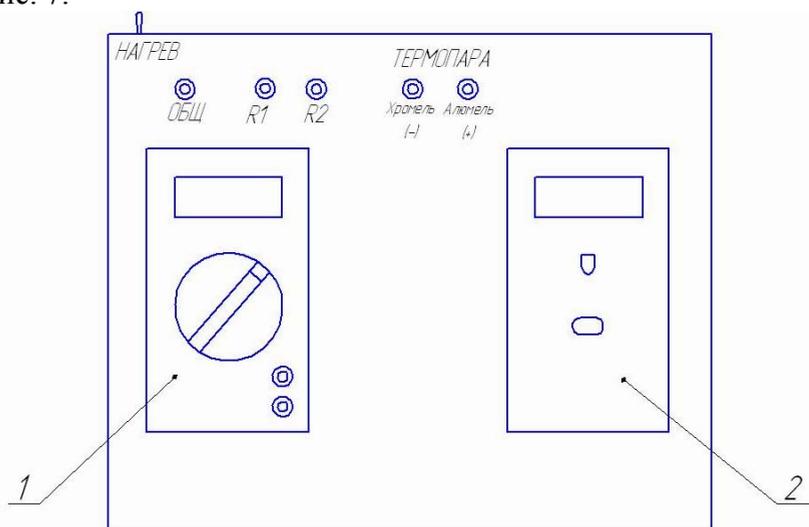


Рис. 7. Схема лицевой приборной панели лабораторной установки

На приборной панели лабораторной установки смонтированы: мультиметр (1) и измеритель температуры (2). Также в

верхней части расположены клеммы для подключения мультиметра к терморезисторам «R1» и «R2» и к термопаре. В левой части на передней вертикальной стенке приборной панели расположен переключатель режимов работы (нагрев/охлаждение).

Схема лабораторной установки представлена на рис. 8.

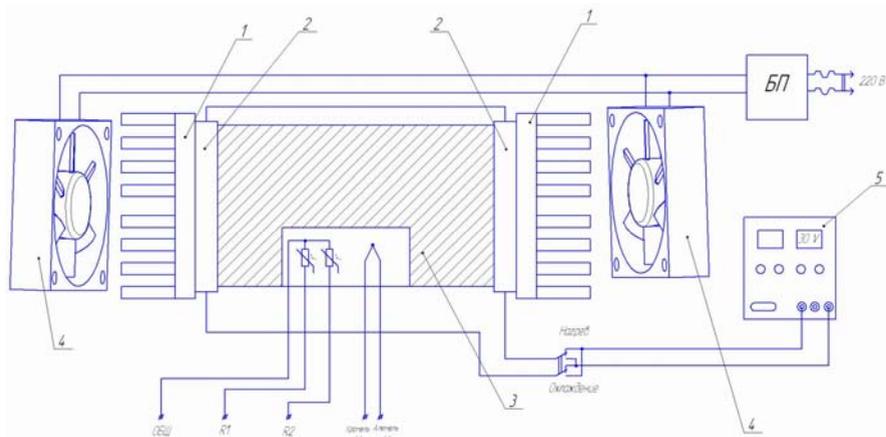


Рис. 8. Схема лабораторной установки

Исследуемые терморезисторы помещены в окно медного стержня 3. Для лучшего теплового контакта окно заполнено теплопроводящей пастой. Также в этом окне располагаются термопара и датчик измерителя температуры. С обеих торцов к стержню прижимаются элементы Пельтье 2 с радиаторами 1. Радиаторы принудительно обдуваются вентиляторами 4. Элементы Пельтье подключаются последовательно к лабораторному блоку питания, максимальным напряжением 30 В -5. Встроенный в приборную панель блок питания (БП) подключается непосредственно к сети 220 В.

### 3.3. Методика проведения эксперимента

Определение температурной статической характеристики

1. Включить установку в сеть при этом должны начать вращаться вентиляторы
2. Подключить мультиметр к клеммам «ОБЩ» и «R1».
3. Подключить дополнительный мультиметр к клеммам термопары и включить его в режим измерения напряжений.
4. Включить мультиметр в режим измерения сопротивления. Также включить измеритель температуры в режим измерения в градусах Цельсия.
5. Включить лабораторный блок питания, выставив на нем 30 В и максимальные возможные токи (ручки регулировки токов по часовой стрелке).
6. Установить переключатель на охлаждение (вниз).
7. Когда температура достигнет минус 10 °С начать записывать результаты измерения сопротивления R1, и переключив клеммы R2, а также напряжение термопары.
8. Установить переключатель на нагрев (вверх) и через каждые 5 °С записать значение сопротивления R1 и R2 вплоть до 120 °С. Данные необходимо занести в табл 2.

Табл.2

Результаты эксперимента

№ пп	Температура, °С	R1, Ом	R2, Ом	U, В

9. Построить зависимость  $R = f(t)$  - статическую температурную характеристику терморезисторов и  $U = f(t)$  термопары.

Составить отчет по работе, в содержании которого привести:

1. теоретическую часть;

2. конструкцию терморезистивных преобразователей;
3. таблицы результатов эксперимента;
4. построенные статические характеристики.

### 3.4 Контрольные вопросы.

1. Каковы достоинства и недостатки терморезистивных преобразователей?
2. Каковы области применения терморезистивных преобразователей?
3. Дайте оценку погрешностей, вносимых при использовании терморезистивных преобразователей.
4. Почему при измерении величины сопротивления терморезистора необходимо выбирать линейный участок ВАХ?
5. Какой рабочий участок ВАХ вы выберете для построения схемы измерения с помощью терморезистора температуры окружающей среды, скорости ветра?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. -198 с.
2. Шишмарев В.Ю. Физические основы получения информации: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / В.Ю. Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 448 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие указания.....	1
2. Домашние задания и методические указания по их выполнению.....	1
3. Лабораторные задания и методические указания к его выполнению.....	15
Библиографический список.....	19

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
ТЕРМОРЕЗИСТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторной работе №2  
по дисциплине «Физические основы получения информации»  
для подготовки бакалавров техники и технологии  
по направлению 200100 «Приборостроение»  
всех форм обучения

Составители:  
Турецкий Андрей Владимирович  
Ципина Наталья Викторовна  
Шуваев Владимир Андреевич

В авторской редакции

Компьютерный набор А.В. Турецкого

Подписано к изданию  
Уч.-изд. л.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный  
технический университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14