

Министерство образования Российской Федерации

Томский политехнический университет

---

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан ЭФФ

\_\_\_\_\_ Евтушенко Г.С.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2003г.

421-Vi

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕПЛОВЫХ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Методические указания по подготовке и выполнению  
лабораторной работы № 421-Vi (Virtual)  
по курсу «Методы и средства измерений»  
для студентов специальности  
19.09.-Информационно-измерительная техника и технологии

Томск – 2003 г.

УДК 621.317.39 (075.8)

Исследование свойств тепловых измерительных преобразователей.  
Методические указания к выполнению лабораторной работы № 421-Vi  
для студентов специальности 19.09 - "Информационно-измерительная  
техника и технологии" всех форм обучения. - Томск: изд. ТПУ. 2003.-18 с.

Составитель: Б.Б.Винокуров

Рецензент: доцент, к.т.н. В.Ф. Вотяков

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию  
методическим семинаром кафедры информационно-измерительной техники 6  
февраля 2003 г.

Зав. кафедрой ИИТ, профессор

\_\_\_\_\_ Жуков В.К.

© Томский политехнический университет  
© Винокуров Б.Б.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕПЛОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Методические указания по подготовке и выполнению лабораторной работы № 421-V (Virtual) по курсу «Методы и средства измерений»

### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЯХ

ИП – измерительный преобразователь;

ТП – термопреобразователь;

$S1, S2$  – переключатели;

$U_{пит}$  – источник постоянного тока;

$R$  – сопротивление, Ом;

$R_n$  – нормированное значение сопротивления, Ом;

$t^0$  – температура, °С.

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Е. С. Левшина, П. В. Новицкий, Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи. – М.: Энергоатомиздат, 1983, с. 320.
2. Е. С. Полищук. Измерительные преобразователи. – Киев: Высш. Школа, 1981, с. 293.

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

- Изучить принцип действия основных видов тепловых измерительных преобразователей, их разновидности, свойства.
- Изучить характеристики различных ИП и способы их линеаризации.
- Изучить измерительные схемы включения тепловых ИП их особенности, достоинства, недостатки.
- Ознакомиться с целью и программой работы, с назначением средств измерения, лабораторным макетом.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕПЛОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

## 1. Цель работы:

1.1. Исследовать тепловые измерительные преобразователи для измерения температуры.

1.2. Исследовать способы линеаризации характеристик тепловых ИП и измерительные схемы включения.

1.3. Получить практические навыки измерения температуры различных ИП, научиться проводить анализ и обработку результатов измерения.

## 2. ПРОГРАММА РАБОТЫ

2.1. Изучить лабораторную установку и входящие в ее состав объекты измерения температуры; объекты исследования (тепловые ИП).

2.2. Исследовать температурные зависимости различных тепловых ИП, провести анализ полученных характеристик.

2.3. Изучить способы линеаризации температурных характеристик ИП. Исследовать схемы коррекции нелинейности температурных характеристик.

2.4. Исследовать измерительные схемы включения ИП.

2.4.1. Схемы параллельного включения ИП (делитель напряжения).

2.4.2. Последовательная схема включения ИП.

2.4.3. Мостовые схемы включения ИП.

2.5. Обработка результатов измерения. Выводы по проделанной работе.

## 3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка включает в себя в себя рабочий экран виртуального прибора с набором виртуальных измерительных преобразователей и схем включения (рис. 1).

В корпусе вмонтирована камера термостата, который служит для задания определенной температуры в процессе исследования ТП. В термостат вмонтированы вставки с набором ИП и схем включения.

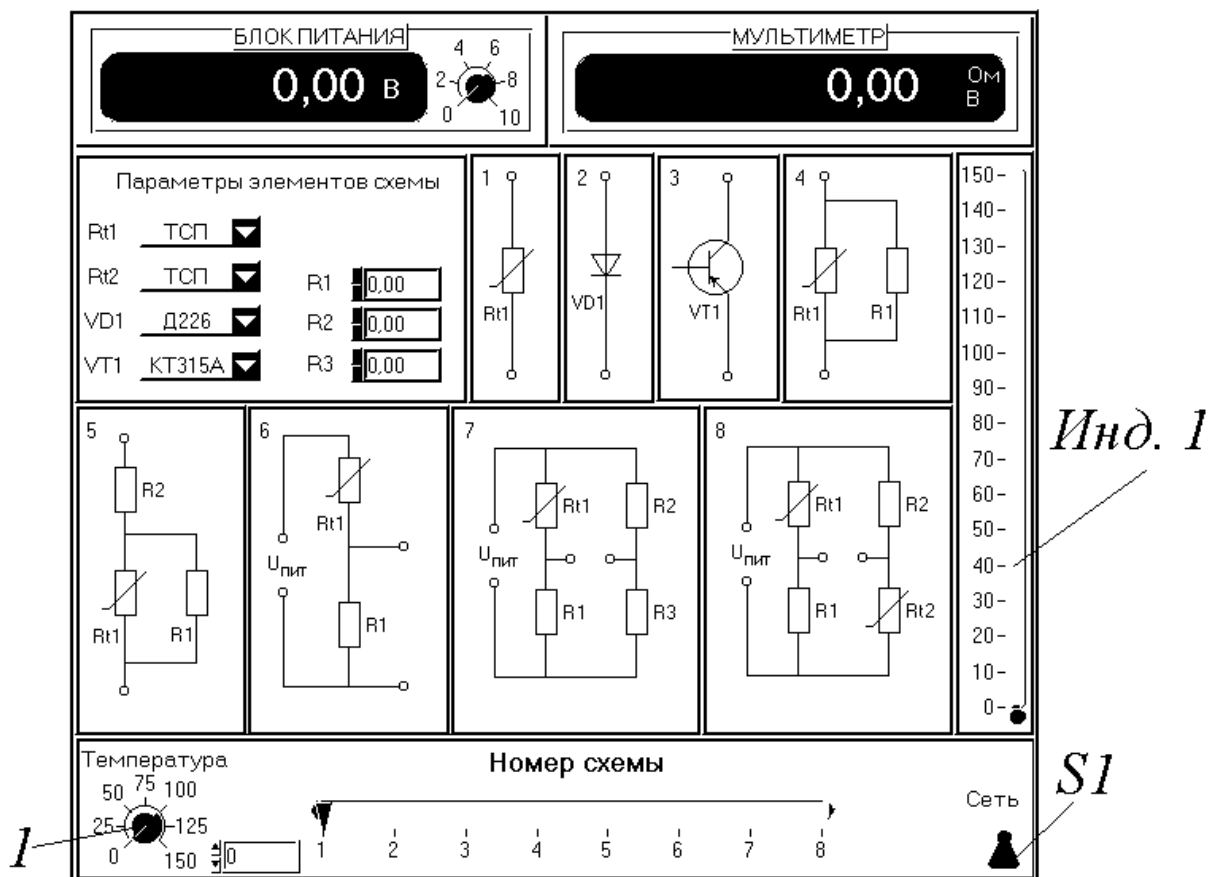


Рис. 1.

НА ПЕРЕДНЕЙ ПАНЕЛИ МАКЕТА ИМЕЮТСЯ:

- тумблер S1 для включения напряжения сети;
- ручка 1 для задания температуры в термостате;
- индикатор 1 (Инд. 1), фиксирует температуру в термостате в  $^{\circ}\text{C}$ ;

Исследованию подлежат следующие типы тепловых измерительных преобразователей:

1. ТСП (терморезистор платиновый);
  2. ММТ-9
  3. М1КОВ
  4. ММТ – 4
- } терморезисторы полупроводниковые (термисторы).
5. КС107 – стабилитрон полупроводниковый
  6. КТ603 – транзистор

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ

Для измерения температуры применяются разнообразные ИП. Одной из наиболее обширных и распространённых групп являются терморезисторы.

Терморезисторы – это ИП температуры в изменении активного сопротивления. Применяются металлические и полупроводниковые ИП. Металлические терморезисторы обладают положительным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), колеблющимся от 0,35 до 0,7% на один градус изменения температуры. Для изготовления терморезисторов применяются металлы, обладающие высокой стабильностью ТКС, инертностью к воздействию окружающей среды. Это платина, медь, никель. Платиновые терморезисторы используются в диапазоне температур от  $-200$  до  $+600^{\circ}\text{C}$ . Сопротивление платиновых терморезисторов выражается соотношениями:

- в диапазоне от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $+650^{\circ}\text{C}$ :  $R_t = R_0(1 + At^0 + B(t^0)^2)$ ; (1)

- в диапазоне от  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$ :  $R_t = R_0(1 + At^0 + B(t^0)^2 + C(t - 100)^3)$ ; (2)

где  $R_0$  – сопротивление при  $0^{\circ}\text{C}$ ;  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – коэффициенты, определяемые свойствами металла.

Медные терморезисторы применяются в диапазоне от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $180^{\circ}\text{C}$ . При расчёте сопротивления медных ТП можно пользоваться соотношением:  $R_t = R_0(1 + \alpha t^0)$ , где  $\alpha$  – ТКС меди.

Свойства платиновых ТП отличаются высокой стабильностью, они обладают химической инертностью к изменяемой среде. Медные ТП имеют линейную зависимость  $R_t = f(t)$ , при  $t$  свыше  $200^{\circ}\text{C}$  медь окисляется.

Промышленные терморезисторы (термометры сопротивления) выпускаются в России двух типов: ТСП – термосопротивления платиновые и ТСН – термосопротивления медные. Никелевые ТП серийно не выпускаются, т.к. характеристика их  $R = f(t^0)$  свыше  $100^{\circ}$  нелинейная и неоднозначная.

Металлические термометры сопротивлений являются одним из наиболее точных преобразователей температуры. Так, например, платиновые терморезисторы позволяют измерять температуру с погрешностью порядка  $0,001^{\circ}\text{C}$ .

Конструктивно промышленные термометры сопротивления выпускаются в виде чувствительных элементов, помещённых в защитный корпус. Чувствительный элемент изготавливается в виде спирали из платиновой или медной проволоки, закреплённой на слюдяном или платиновом каркасе.

Полупроводниковые терморезисторы (ПТР) отличаются от металлических меньшими габаритами большими значениями ТКС.

ТКС у ПТР отрицателен, температурная зависимость описывается формулами:

$$R_t = A e^{\beta/T} \quad (4)$$

где  $T$  – абсолютная температура;  $A, \beta$  - коэффициенты, или

$$R_t = R_1 e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)} \quad (5)$$

где  $R_1$  – сопротивление термистора при температуре  $T_1$ .

Точность измерения температуры с помощью ПТР может быть достаточно высокой (погрешность порядка 0,01К). С помощью разного типа ПТР можно измерять температуру в диапазоне от  $-200^{\circ}$  до  $1000^{\circ}$ С.

Недостатки ПТР – нелинейность зависимости  $R_T = f(T)$  и значительный разброс параметров от образца к образцу (плохая взаимозаменяемость).

Нелинейность характеристики и технологический разброс параметров терморезисторов затрудняет получение линейных шкал термометров. Чтобы улучшить линейность и обеспечить взаимозаменяемость терморезисторов, необходимых при массовом производстве термометров, приходится применять специальные схемы линеаризации и унификации.

На рис. 2 представлены пассивные четырёхполюсники, применяемые для коррекции нелинейности характеристик термисторов. Число термнезависимых резисторов ( $R_1, R_2, R_3...$ ) в четырёхполюснике может быть разным и определяется в зависимости от того, в скольких точках характеристики нужно совместить характеристику с линейной.

На рис.2,а и б, в представлены соответственно последовательная, параллельная и последовательно – параллельная схемы коррекции. На рис.2,г и д – комбинированные схемы и на рис.2,е – мостовая схема, получившая наибольшее применение при включении терморезистивных ИП.

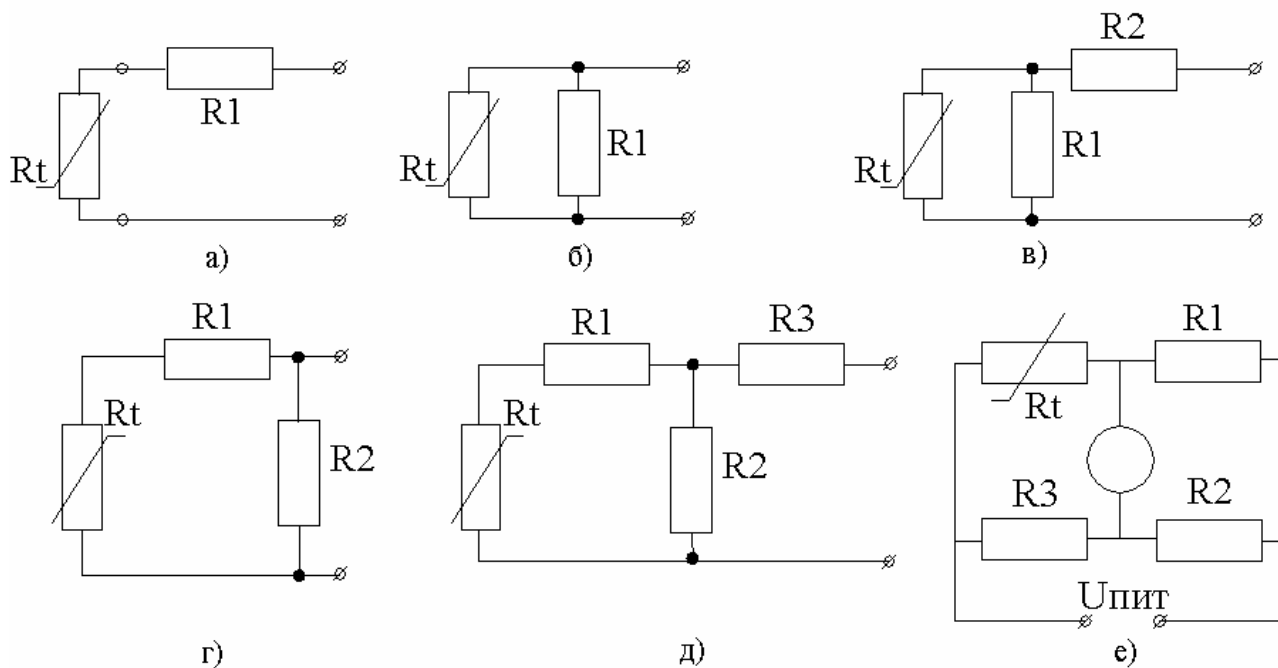


Рис. 2.

Для измерения температуры применяется также другие виды полупроводниковых преобразователей. В частности, термодиоды, термотранзисторы, стабилитроны, работающие в диапазоне от  $-80^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$  на основе открытых и закрытых  $p-n$  переходов. Например, при заданном токе, напряжение на открытом переходе или стабилитроне линейно изменяется с температурой, причём ТКС для открытого  $p-n$  перехода отрицателен и составляет  $243\text{ мВ/К}$ , а для стабилитрона – положителен и достигает  $8\text{ мВ/К}$ . Достоинством термодиодов и терморезисторов являются малые габариты, возможность взаимозаменяемости и, главное, дешевизна, позволяющая широко применять их в датчиках.

#### ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (ТЕРМОПАРЫ).

Термопара представляет собой два проводника или полупроводника, два конца которых соединены между собой (рабочий спай), а два других (свободные концы) могут быть включены в цепь измерительного прибора (рис. 3).

Рабочий спай нагревается до измеряемой температуры  $t^{\circ}$ , а свободные концы имеют постоянную температуру  $t_0$ . В цепи термопары возникает



термоэлектродвижущая сила  $E_t$ , которая является функцией разности температур  $E_t = f(t^0 - t_0^0)$ . Зависимость  $E_t=f(t)$  в широком диапазоне температур обычно нелинейная.

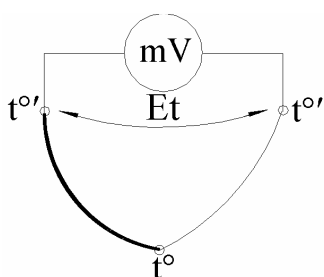


Рис. 3.

В России выпускаются разные виды промышленных термопар, некоторые из них приведены в табл. 1.

Таблица 1

Материал термоэлектродов	Обозначение типа термопары	Предел измерений при длительном применении °С	Максимальная температура кратковременного режима, °С
Медь – копель	ТМК	-200...+100	-
Хромель – копель	ТХК	-50...+600	800
Хромель – алюмель	ТХА	-200...+1000	1300
Платинородий – платина	ТПП	0...+1300	1600
Вольфрамовый- (5%)	ТВР	0...+2200	2500

Градуировка термопар осуществляется при температуре свободных концов  $t^0$ , равной нулю. Если при практическом использовании термоэлектрического преобразователя  $t^0$  отлична от нуля, то термо-ЭДС будет меньше и необходимо ввести соответствующую поправку в показания. Точность преобразования термопар ниже, чем у терморезисторов. На показания влияет нестабильность температуры свободных концов, изменение сопротивления термоэлектродов и соединительных проводов. Однако, они широко используются на практике, т.к. имеют широкий диапазон измеряемых величин, надёжны в работе, не требуют специальных измерительных схем включения.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТЕ (ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ).

Какие ИП применяются для измерения температуры? Их принцип действия.

Особенности металлических и полупроводниковых терморезисторов.

Характер измерения  $R = f(t)$  у полупроводниковых терморезисторов, схемы линеаризации.

Принцип работы термоэлектрического преобразования.

Дать описание лабораторного макета и объяснить как установить выбранную температуру в камере термостата.

Измерительные схемы включения терморезисторов, дать характеристику схем, пользуясь рис. 5 и 6.

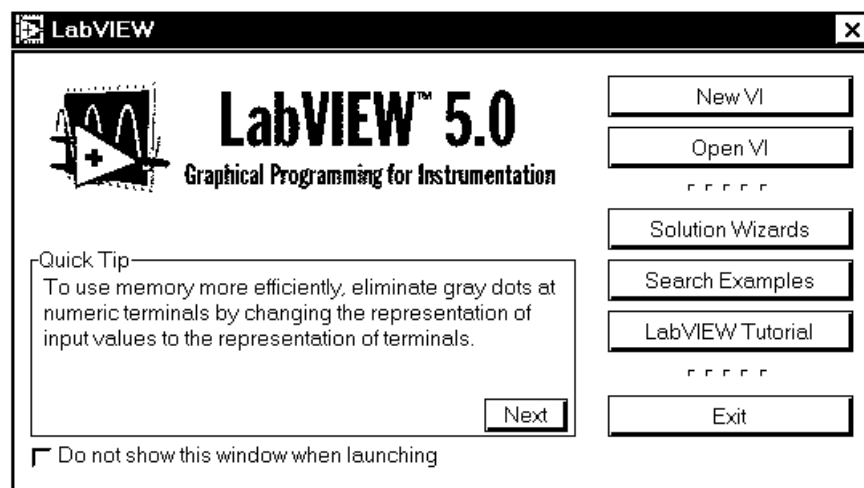
## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОГРАММЫ РАБОТЫ.

6.1.1. Исследование температурных зависимостей измерительных преобразователей на база термисторов, термодиодов и термотранзистора.

Для того, чтобы подготовить лабораторную работу к выполнению, следует:

- Включить компьютер;
- Загрузить программу LabVIEW , для чего:
  - Загрузить программу нажатием левой клавиши мыши на ярлыке LabVIEW, который находится на рабочем столе Windows,
  - Программа выведет запрос на регистрацию, **ничего не вводя в предложенные окна нажать клавишу ОК, затем ещё один раз нажать клавишу ОК.**

- При появлении окна, указанного на рисунке, нажать на клавишу Open VI,



- Загрузить файл 421-V.VI,

Не включая макет, измерить поочерёдно сопротивления тепловых ИП при комнатной температуре ( $t=20...25^{\circ}\text{C}$ ).

Включить макет в сеть клавишей.



Задавать различные значения температуры в термостате до  $90^{\circ}\text{C}$  (см. табл.1).

Данные эксперимента занести в табл. 2.

Таблица 2

$t^{\circ}\text{C}$ тип ИП		20 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup>	60 <sup>0</sup>	70 <sup>0</sup>	80 <sup>0</sup>	90 <sup>0</sup>	100 <sup>0</sup>	S $\frac{\text{Ом}}{\text{град}}$
ММТ-9	R, Ом										
	R <sub>н</sub>										
ММТ-4	R, Ом										
	R <sub>н</sub>										
М1КОВ	R, Ом										
	R <sub>н</sub>										
Диод п/п	R <sub>прям.</sub>										
	R <sub>обр.</sub>										
Тран- зис- тор	R <sub>прям.</sub>										
	R <sub>обр.</sub>										

Чувствительность ИП к изменению температуры определяется из соотношения:

$$S = \Delta R / \Delta t \left[ \frac{\text{Ом}}{\text{град}} \right] \quad (6)$$

Рекомендуется определять S в диапазоне температур 40 – 60°C.

Построить графики  $R_n=f(t)$  для всех видов используемых ИП, сделать выводы по чувствительности и линейности.

$R_n$  – нормированное значение сопротивления

(7)

6.1.2 Исследование тепловых преобразователей типа ТСМ, ТСП, термопара (термоэлектрический ИП):

Провести исследование перечисленных ИП, пользуясь методикой, приведённой в п.6.1.1. Данные занести в табл. 3.

Таблица 3

t°С		20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
тип ИП									
ТСП	R, Ом								
ТСМ	R, Ом								
Термоэл. ИП	E мВ								

Построить характеристики по данным табл. 3, сделать выводы.

6.2 Исследование схем линеаризации характеристик тепловых ИП с нелинейными зависимостями  $R=f(t)$ .

Схемы линеаризации, представлены на макете под номерами 4, 5.

При комнатной температуре, не включая в сеть лабораторный макет, измерить сопротивление терморезистора ММТ – 9 (схема 1) и сопротивления на выходе схем линеаризации характеристики ММТ – 9 (схемы 4 и 5).

Включить в сеть лабораторный макет и, задавая различные значения температуры в термостате, измерить при каждом значении сопротивления на выходе исследуемых схем. При получении данных пользоваться методикой, изложенной в п.6.1.1.

Полученные данные занести в табл. 4.

Таблица 4

$t, ^\circ\text{C}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ММТ 9									
R кОм									
Схема 4									
Схема 5									

Построить графики полученных зависимостей, провести их сравнительный анализ (чувствительность, нелинейность) и сделать выводы.

### 6.3 Исследование измерительных схем включения тепловых ИП.

6.3.1 Использование параллельной схемы включения делителя напряжения (схема 6).

В окне блока «параметры элементов схемы» задать ряд значений сопротивления  $R_1$  и, включив в схему источник питания, задать напряжение питания 10 В. При комнатной температуре (20 $^\circ\text{C}$ ) измерить выходные напряжения при разных значениях  $R1$ .

Включить в сеть лабораторный макет и, задавая разную температуру в термостате, производить измерения выходных напряжений. При каждом значении температуры изменять значения  $R1$  переключателем. Полученные данные занести в табл.6.

Таблица 6

$t, ^\circ\text{C}$	Напряжение на выходе схемы $U_0$ , В				
	$R4=1$ кОм	$R4=2$ кОм	-----	$R4=14$ кОм	$R4=15$ кОм
комн. темп.					
30 $^\circ$					
40 $^\circ$					

50 <sup>0</sup>					
60 <sup>0</sup>					
70 <sup>0</sup>					
80 <sup>0</sup>					
90 <sup>0</sup>					

### 6.3.2 Исследование последовательной (токовой) схемы включения (схема 6).

Таким образом мы будем изменять ток в последовательной схеме включения  $R_t$  косвенным путём, как падение напряжения на малом сопротивлении  $R_1=10$  Ом ( $R_0 \vee R_t$ ).

$$I = \frac{U_{2-4}}{R_0} \quad (8)$$

Ток в последовательной схеме включения будет зависеть от величины  $R_t$ , т.е. от температуры.

Не включая макет, провести измерение при комнатной температуре. Затем включить макет и задавая разные значения температуры, провести измерение тока, пользуясь выражением 8.

Полученные данные  $I=f(t)$  занести в табл. 7. Сделать анализ полученных зависимостей по результатам п.п. 6.3.1 и 6.3.2

Таблица 7

t, °C	Комн. t	30 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup>	60 <sup>0</sup>	70 <sup>0</sup>	80 <sup>0</sup>	90 <sup>0</sup>
U <sub>2-4</sub>								
I								

### 6.3.3 Исследование мостовых измерительных схем с одним и двумя терморезисторами.

Реализуется мостовая схема с одним терморезистором (схема 7), и – мостовая схема с двумя терморезисторами (схема 8).

Не включая в сеть лабораторный макет, при комнатной температуре произвести уравнивание мостовых схем. Для этого включить источник постоянного тока для питания мостовых схем. Установить напряжение

питания 10В. Переключатель  $S1$  включить в положение 1 и с помощью переменного резистора  $R1$  уравновесить мостовую схему 1. Затем переключатель  $S1$  перевести в положение 2 и с помощью переменного резистора  $R1$  уравновесить мостовую схему 2.

Включить в сеть лабораторный макет и, задавая различные значения температуры до  $100^{\circ}\text{C}$ , при каждом заданном значении (контролировать термометром, помещенным в отверстие в центре вставки) измерить напряжение разбаланса мостовых схем. Для этого поставить  $S1$  в положение 1, задать нужную температуру, пользуясь методикой пункта 6.1. Измерить напряжение на выходе моста с одним  $R_f \rightarrow U_1$ . Затем переключить  $S1$  в положение 2 и при той же температуре измерить напряжение на выходе моста с двумя  $R_f \rightarrow U_2$ . Данные занести в табл. 8.

Построить графики  $U_1=f(t^0)$  и  $U_2=f(t^0)$ , сделать выводы, сравнивая результаты измерения.

Таблица 8

$t^{\circ}\text{C}$		Комн.	30 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup>	60 <sup>0</sup>	70 <sup>0</sup>	80 <sup>0</sup>	90 <sup>0</sup>	100 <sup>0</sup>
Вид Схемы										
Мост 1	$U_1, \text{ мВ}$									
Мост 2	$U_2, \text{ мВ}$									

## 7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА:

Титульный лист с указанием названия института, названия кафедры, номер и наименование работы, исполнители, дата выполнения работы; Цель работы; Программа работы; Схемы экспериментальных установок; Таблицы, основные соотношения; Примеры расчётов; Графики зависимостей; Выводы по отдельным пунктам работы и отдельные выводы;

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕПЛОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Методические указания по подготовке и выполнению лабораторной работы № 421-Vi (Virtual) по курсу «Методы и средства измерений» для студентов специальности 19.09. - Информационно-измерительная техника и технологии

Составитель: Б.Б.Винокуров

Рецензент: В.Ф.Вотяков

Подписано к печати \_\_\_\_\_ Формат 60x84/16. Бумага офсетная №1.  
Печать HISO . Усл. печ. л. \_\_\_\_ Уч. –изд. л. \_\_\_\_ Тираж \_\_\_\_ экз. Заказ № \_\_\_\_  
ИПФ ТПУ. Лицензия №1 от 18.08.94. Типография ТПУ  
634050, Томск, пр. Ленина, 30