



**СБОРНИК ЗАДАЧ И КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ»**

**Методические указания**

**Иваново**

**2010**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Ивановский государственный химико-технологический университет

**СБОРНИК ЗАДАЧ И КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ»**

**Методические указания**

Составители: Д. А. Тимошенко  
П. Н. Грименицкий

Иваново 2010

Составители: Д. А. Тимошенко, П. Н. Грименицкий  
УДК 536.5(075.8)

Сборник задач и контрольных заданий по дисциплине «Технические измерения и приборы»: метод. указания / Сост.: Д. А. Тимошенко, П. Н. Грименицкий; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2010. – 40 с.

В сборник включены задачи, закрепляющие теоретический материал по разделам теплотехнических измерений и измерений состава сред, приведены необходимые теоретические сведения из соответствующих разделов. При подборе задач ставилась цель придания им практического смысла в изучении дисциплины.

Методические указания предназначены для студентов специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» при изучении дисциплины «Технические измерения и приборы» как очного, так и заочного обучения.

Табл. 2. Ил. 9. Библиогр.: 7 назв.

Рецензент кандидат технических наук В. Н. Исаев (Ивановский государственный химико-технологический университет)

## Введение

Цель методических указаний – закрепить теоретический материал по дисциплине «Технические измерения и приборы» при помощи рассмотрения и решения задач, имеющих практический смысл при освоении теплотехнических измерений и приборов (1–4-й разделы) и при анализе состава сред (5-й раздел).

В пояснительных разделах сборника приведены краткие теоретические сведения из соответствующих разделов дисциплины, обращается внимание студентов на методический подход при решении задач.

При выполнении контрольной работы необходимо руководствоваться следующим:

а) по 1 разделу выполняются 2 задачи 1. х и 1. 1. х, где х – последняя цифра зачетной книжки студента;

б) по 2 и 3 разделам выполняются 2 задачи 2. х и 3. х, где х – последняя цифра зачетной книжки студента;

в) по 4 разделу выполняются 2 задачи 4. х и 4. 1. х, где х – последняя цифра зачетной книжки студента;

г) по 5 разделу выполняются 2 задачи 5. х и 5. 1. х, где х – последняя цифра зачетной книжки студента.

## 1. Измерение температуры

Измерение температуры может осуществляться различными методами. Каждый метод имеет свои особенности, определяемые как принципом, так и применяемыми средствами и схемами их подключений. Кроме того, при измерении температуры следует учитывать взаимодействие между термопреобразователями и измеряемой средой.

Контактные термопреобразователи находятся в непосредственном контакте со средой, температуру которой они измеряют. Часто собственная температура контактного термопреобразователя (или его части) даже в статическом режиме отличается от температуры измеряемой среды. Это отличие определяется особенностями теплообмена между термопреобразователем и измеряемой средой, конструктивными и теплофизическими характеристиками самого термопреобразователя и отдельных частей его арматуры, а также условиями теплообмена термопреобразователя с окружающей средой.

Показания жидкостных и манометрических термометров определяются температурой не только рабочего вещества, находящегося в непосредственном контакте с измеряемой средой, но и выступающей, неконтактирующей части рабочего вещества, которая находится в теплообмене с окружающей средой. Если конструкцией или условиями эксплуатации предусмотрено наличие не контактирующей с измеряемой средой (выступающей) части, то градуировка такого термометра должна производиться при определенной температуре выступающей части. Изменение температуры выступающей части относительно градуировочного значения вызовет изменение показаний термометра.

Изменение показаний манометрических термометров возможно также за счет изменения давления независимо от значения температуры. Например, одним из таких факторов может быть разность уровней между термобаллоном и манометром для жидкостных манометрических термометров. Изменение показаний возникает при изменении барометрического давления, так как манометр, используемый в манометрических термометрах, измеряет избыточное давление.

Наиболее распространенными средствами измерения температуры являются термопары, принцип действия которых основан на использовании зависимости термо-ЭДС от температуры. Термоэлектрические преобразователи (ТЭП) позволяют измерять температуру от  $-200$  до  $+2500^{\circ}\text{C}$  и изготавливаются следующих типов:

ТВР(А)–ТЭП вольфрамрениевый; ТПР(В)–ТЭП платинородиевый; ТПП(С)–ТЭП платинородий–платиновый; ТХА(К)–ТЭП хромель–алюмелевый; ТХК(Л)–ТЭП хромель–копелевый; ТМК(М)–ТЭП медь–константановый.

Номинальные статические характеристики ТЭП в зависимости от температуры рабочего спая в соответствии с ГОСТ 3044–84 приведены в [7].

При измерении термо-ЭДС могут иметь место ошибки в оценке действительного значения термо-ЭДС термоэлектрического термометра, которые вызываются неучетом некоторых свойств термоэлектрических цепей, а также не-правильной оценкой температуры свободных концов или неучетом свойств удлиняющих термоэлектродных проводов. Напомним некоторые из этих свойств. Термо-ЭДС цепи не изменится при включении в нее проводника из любого материала, если температура мест подключения одинакова. Удлиняющие термоэлектродные провода служат для удлинения термометра без искажения развиваемой им термо-ЭДС.

Свободными называются те концы термоэлектрического термометра, которые включаются в измерительную цепь. Если термоэлектрический термометр удлинен термоэлектродными проводами, то свободными концами термометра будут концы термоэлектродных проводов.

Удлиняющие термоэлектродные провода вносят свою долю в общую погрешность измерения. Например, предел основной допускаемой погрешности удлиняющих проводов для термоэлектрических термометров типа К равен  $\pm 0,16$  мВ.

Допускаемые отклонения для удлиняющих проводов различных типов приведены в таблице 1. 1.

Таблица 1. 1

Значения термо-ЭДС, развиваемые парой жил термоэлектродных проводов при температуре свободного конца  $0^{\circ}\text{C}$

Марка провода	Обозначение пары жил проводов	Тип термопары	Термо-ЭДС, мВ		Температура рабочего конца, $^{\circ}\text{C}$ .
			Номинальное значение	Предельное отклонение	
ПТВ, ПТВБ,	ХК (хромель-копель)	ТХК(L)	6,88	$\pm 0,20$	100
ПТВО,	МК (медь-копель)	ТМК(M)	4,79	$\pm 0,10$	
ПТВБВ,	М (медь-константан)	ТХА(K)	4,10	$\pm 0,15$	
ПТВП,	П сплав ТП)	ТПП(S)	0,64	$\pm 0,03$	
ПТП, ПТВЭ	М-МН (медь-медно-никелевый МН-2,4)	ТВР(A)	1,40	$\pm 0,03$	

В задачах по расчету характеристик милливольтметров следует обратить внимание на связь угла поворота рамки с параметрами магнитного поля и размерами рамки. Следует иметь в виду, что вращающий момент рамки при заданных ее размерах зависит не только от значения индукции магнитного поля в зазоре, но и от направления вектора индукции относительно плоскости рамки.

В принципе милливольтметр измеряет напряжение на собственных зажимах и его класс характеризует предел основной погрешности измерения именно этого напряжения (поэтому погрешность выражается в милливольтках даже при градусной шкале). Шкала его может быть отградуирована в градусах при определенной зависимости между напряжением на зажимах милливольтметра и термо-ЭДС термоэлектрического термометра, которые различаются на значение падения напряжения во внешней цепи прибора. Поэтому сопротивление внешней цепи должно иметь определенное значение. Изменение его вызовет изменение показаний прибора.

Изменение тока, протекающего через рамку, может быть вызвано также изменением внутреннего сопротивления милливольтметра, образованного сопротивлением рамки и включенного последовательно с ней манганинового резистора. При изменении температуры изменяется сопротивление медного про-

вода, из которого изготовлена рамка, что и вызывает изменение тока, а следовательно, и показаний прибора.

В задачах по потенциометрическим схемам в первую очередь следует четко понять физический смысл компенсационного метода измерений: термо-ЭДС термоэлектрического термометра равна по значению и противоположна по знаку разности потенциалов на компенсирующем участке измерительной схемы потенциометра. Математическое выражение равновесия потенциометрической схемы измерения легко получить, используя второй закон Кирхгофа для замкнутого участка измерительной схемы, включающего термометр и усилитель.

При решении задач на расчет компенсации температурной погрешности следует иметь в виду, что значение вводимой поправки должно быть численно равно изменению термо-ЭДС термоэлектрического термометра при изменении температуры свободных концов. При расчете изменения показаний с изменением температуры свободных концов необходимо пользоваться выражением равновесия потенциометрической схемы в общем виде, когда движок реохорда занимает произвольное положение.

Перед решением задач по разделу потенциометров рекомендуется ознакомиться с [1] и [2], в которых производится детальное рассмотрение принципа действия схем и расчета их элементов.

В задачах по электрическим термометрам сопротивления следует обратить внимание на все особенности, связанные с работой термометров сопротивления и измерительных схем. Так как значение температуры определяется по значению сопротивления чувствительного элемента термометра, то могут иметь место ошибки в определении этого сопротивления. Эти ошибки вызываются изменением сопротивления либо линий связи, либо чувствительного элемента за счет самонагрева, либо другими причинами, которые изменяют сопротивление термометра независимо от значения температуры измеряемой среды.

Чувствительные элементы термопреобразователей сопротивления изготавливаются из платины (ТСП) и меди (ТСМ) и позволяют измерять темпера-



туру в пределах от  $-260$  до  $+1100^{\circ}\text{C}$ . Выпускаются с классами допуска А, В, и С (таблица 1. 2).

Таблица 1. 2

Пределы допускаемых значений основной погрешности  
термопреобразователей сопротивлений

Тип термопреобразователей	Класс допуска	Диапазон измеряемых температур, $^{\circ}\text{C}$	Допускаемые отклонения $\Delta t$ от температуры $t$ , $\pm^{\circ}\text{C}$
Платиновый (ТСП)	А	от $-260$ до $-250$	3,0
		от $-250$ до $-200$	1,0
		от $-200$ до $+750$	$0,15 + 0,002t$
	В	от $-200$ до $+1100$	$0,30 + 0,005t$
	С	от $-100$ до $+1100$	$0,60 + 0,008t$
Медный (ТСМ)	В	от $-200$ до $+200$ от $-$	$0,25 + 0,0035t$
	С	$200$ до $+200$	$0,50 + 0,0065t$

Номинальные статические характеристики термопреобразователя сопротивлений приведены в [7].

Для ТСМ зависимость сопротивления от температуры в интервале  $-50 \div +200^{\circ}\text{C}$  имеет вид:

$$R_t = R_0 \left( 1 + \alpha \cdot t \right),$$

где  $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Для ТСП эта зависимость достаточно сложная и на различных интервалах аппроксимируется разными выражениями.

Зависимость сопротивления полупроводниковых термометров от температуры имеет вид

$$R_t = R_0 \exp \left[ \frac{B \left( 293 - T \right)}{293T} \right],$$

где  $T$  – текущее значение температуры, К;

$R_0$  – значение сопротивления при температуре  $T=293$  К;

$B$  – коэффициент, зависящий от свойств полупроводникового материала.

Сопротивление термометров в промышленных условиях измеряется мостами либо логометрами. Неуравновешенные мосты используются редко из-за двух основных недостатков: нелинейности градуировочной характеристики и зависимости их показаний от значения напряжения питания. Наибольшее распространение получили уравновешенные мосты. При решении задач по мостовым схемам основным уравнением является математическое выражение условия равновесия мостовой схемы (произведения значений сопротивлений противолежащих плеч должны быть равны).

При рассмотрении схем логометров следует иметь в виду, что логометры не имеют противодействующих пружин и движение рамок прекращается при равенстве момента, развиваемого рабочей рамкой, в цепь которой включен термометр сопротивления  $R_t$ , и противоположно направленного момента компенсирующей рамки. Следует отметить, что даже при противоположном направлении этих моментов направление каждого из них должно быть строго определенным. Момент рабочей рамки может быть направлен по или против часовой стрелки, компенсирующий момент — соответственно против или по часовой стрелке, но логометр будет работоспособным только при одном из этих двух возможных направлений. Чтобы определить это направление, нужно помнить, что подвижная система логометра должна поворачиваться таким образом, чтобы больший момент, действующий на одну из рамок, уменьшался, второй, наоборот, увеличивался.

В задачах, связанных с тепловой инерцией термопреобразователей, коэффициент теплоотдачи за время переходного процесса считается неизменным, а сам процесс описывается уравнением первого порядка

$$T_D \frac{dt_T}{d\tau} + t_T = t_c,$$

где  $t$  – текущее значение температуры термопреобразователя, соответствующее времени  $\tau$  после скачкообразного изменения температуры среды до значения  $t_c$ ;  $T_D$  – постоянная времени, с.