

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Ю.К. Атрошенко, Е.В. Кравченко

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

СБОРНИК ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Часть 2

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2014

УДК 006(076.6)

ББК 30.10я73

А92

Атрошенко Ю.К.

А92 Метрология, стандартизация и сертификация: сборник лабораторных и практических работ: учебное пособие. Часть 2 / Ю.К. Атрошенко, Е.В. Кравченко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 92 с.

В пособии приведены сведения о теплотехнических приборах, показан ход выполнения лабораторных работ. Во втором разделе даны задания для выполнения практических работ по метрологии, стандартизации и сертификации. Каждая лабораторная и практическая работа содержит индивидуальные варианты заданий.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 140100 (13.03.01) «Теплоэнергетика и теплотехника», 141100 (13.03.03) «Энергетическое машиностроение», 141403 (14.05.02) «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг».

УДК 006(076.6)

ББК 30.10я73

Рецензенты

Доктор физико-математических наук, профессор ТГАСУ

Г.Я. Мамонтов

Кандидат технических наук,

доцент Томского филиала

Академии метрологии, стандартизации и сертификации

А.В. Волошенко

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2014

© Атрошенко Ю.К., Кравченко Е.В., 2014

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.....	6
Лабораторная работа № 1. Исследование метрологических характеристик и поверка термоэлектрических преобразователей	6
Лабораторная работа № 2. Исследование метрологических характеристик и поверка тягонапоромеров.....	14
Лабораторная работа № 3. Измерение температуры косвенным методом	21
Лабораторная работа № 4. Многократные измерения температуры	29
Лабораторная работа № 5. Исследование метрологических характеристик и поверка автоматического потенциометра	33
Лабораторная работа № 6. Исследование метрологических характеристик и поверка технических манометров	39
Лабораторная работа № 7. Исследование метрологических характеристик и поверка автоматических приборов с мостовой измерительной схемой	45
Лабораторная работа № 8. Исключение грубой погрешности из результата измерения давления	51
Лабораторная работа № 9. Исследование статических характеристик термопреобразователей	57
Лабораторная работа № 10. Исследование влияния внешнего сопротивления на показания пиromanетрического милливольтметра	64
ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ	71
Практическая работа № 1. Определение метрологических характеристик средств измерений.....	71
Практическая работа № 2. Обработка результатов многократных измерений	77

Практическая работа № 3. Поиск и анализ нормативно-технических документов по стандартизации с помощью автоматизированной информационно-поисковой базы нормативной документации «КОДЕКС»	80
Практическая работа № 4. Сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов	84
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	86
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	88
ФОРМА ПРОТОКОЛА ПОВЕРКИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ	88
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ФОРМА ПРОТОКОЛА ПОВЕРКИ ТЯГОНАПОРОМЕРОВ	89
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ФОРМА ПРОТОКОЛА ПОВЕРКИ ПОКАЗЫВАЮЩИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ	90
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ФОРМА ПРОТОКОЛА ПОВЕРКИ ТЕХНИЧЕСКИХ МАНОМЕТРОВ	91

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие предназначено для студентов Энергетического института, обучающихся по направлениям «Теплоэнергетика и теплотехника», «Энергетическое машиностроение» и «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», для подготовки в рамках унифицированной дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация».

Пособие включает разделы, посвященные выполнению лабораторных и практических работ, предусмотренных в курсе «Метрология, стандартизация и сертификация». Выполнение предложенных работ позволяет закрепить теоретический материал в области теплотехнических измерений, стандартизации и сертификации.

Раздел «Лабораторные работы» содержит методические указания к выполнению лабораторных работ, посвященных выполнению измерений температуры, экспериментальному определению метрологических характеристик средств измерения температуры и давления, выполнению работ по калибровке и поверке средств измерений.

Раздел «Практические работы» включает задания и методические указания для выполнения практических работ, направленных на закрепление навыков определения метрологических характеристик, статистической обработки результатов измерения, а также поиска и анализа нормативно-технических документов на средства измерения, применяемые на объектах теплоэнергетики.

Все работы содержат варианты индивидуальных заданий для выполнения лабораторных и практических работ. Лабораторные работы содержат вопросы и задания для самоконтроля.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Раздел «Лабораторные работы» направлен на развитие у студентов следующих компетенций:

- способность владеть основными приемами получения, обработки и представления данных измерений, испытаний и контроля;
- способность организовывать метрологическое обеспечение производства в теплоэнергетике;
- способность осуществлять подготовку к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.

В результате получения общих (унифицированных) компетенций студент будет:

- знать теоретические основы метрологии, принципы действия средств измерений, методы измерений различных физических величин;
- уметь применять средства измерений различных физических величин, осуществлять выбор средств измерений по заданным метрологическим характеристикам;
- владеть методами измерений, контроля и испытаний, методами поверки и калибровки.

Лабораторная работа № 1 Исследование метрологических характеристик и поверка термоэлектрических преобразователей

Цель работы заключается в изучении принципа работы термоэлектрического преобразователя (ТЭП) температуры, а также в получении знаний о технических и эталонных ТЭП и их метрологических характеристиках.

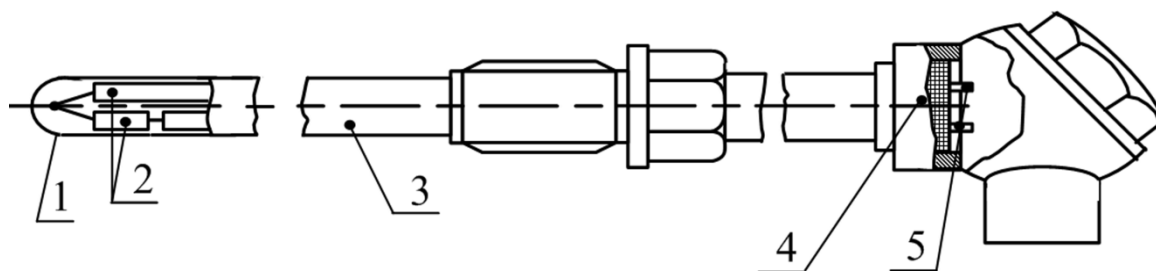
Задачами лабораторной работы являются:

- изучение поверочной установки;
- выполнение поверки ТЭП;
- составление протокола поверки.

Поверка термоэлектрических преобразователей

Термоэлектрический преобразователь – измерительный преобразователь температуры, основанный на термоэлектрическом эффекте. Термоэлектрический эффект заключается в генерировании термоэлектродвижущей силы (ТЭДС), возникающей из-за разности температур между двумя соединениями различных металлов или сплавов, обра-

зующих часть одной и той же сети. Пара проводников из разнородных материалов, соединенных на одном конце и образующих часть устройства, использующего термоэлектрический эффект для измерения температуры, называется термопарой [1]. На рис. 1.1 показана конструкция типичного термоэлектрического преобразователя. ТЭП включает в себя спай термопары 1, электроизоляционную конструкцию (керамические бусы/трубки) 2, защитный чехол 3, головку 4 и клеммы 5 для подключения компенсационных проводов.



*Рис. 1.1. Конструкция термоэлектрического преобразователя:
1 – спай термопары; 2 – электроизоляционная конструкция; 3 – защитный чехол;
4 – головка ТЭП; 5 – клеммы*

Если ТЭП в качестве чувствительного элемента содержит кабельную термопару, такой ТЭП называется кабельным. Кабельная термопара состоит из гибкой металлической трубки и размещенных внутри нее одной или двух пар термоэлектродов. Термоэлектроды располагаются параллельно друг другу, а пространство между ними заполняется уплотненной минеральной изоляцией. Термоэлектроды с одной стороны спаяны и образуют рабочий спай ТЭП, свободные концы термоэлектродов подключаются к клеммам головки.

ТЭП применяются для измерения температуры в комплекте с нормирующими преобразователями, а также измерительными и регистрирующими приборами, предназначенными для работы с ТЭП.

Проверкой термоэлектрического преобразователя называется совокупность операций, выполняемых для подтверждения соответствия поверяемого ТЭП метрологическим требованиям. Проверка включает в себя внешний осмотр преобразователя, проверку электрической прочности изоляции, электрического сопротивления изоляции и другие виды работ. Однако наиболее важной операцией при проверке ТЭП является определение ТЭДС при заданных значениях температуры, при этом полученные градуировочные характеристики должны соответствовать номинальным статическим характеристикам ТЭП в пределах допускаемых отклонений ТЭДС. При проверке ТЭДС должна быть определена не менее чем при четырех значениях температуры. Для проверки ТЭП используются

эталонные средства измерений (ртутные стеклянные термометры; эталонные платинородий-платиновые и платинородий-платинородиевые ТЭП), а также различные вспомогательные средства [2].

Допускаемые отклонения ТЭДС от номинальных значений приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Допускаемые значения отклонения ТЭДС от НСХ

Тип НСХ	Класс	Диапазон измерения, °С	Значение отклонения, °С
ТПП 13 (R) ТПП 10 (S)	1	0...1100	±1
		1100...1600	± [1+0,003 (t-1100)]
	2	0...600	±1,5
		600...1600	±0,0025 t
ТХА (K)	1	-40...375	±1,5
		375...1000	±0,004 t
	2	-40...333	±2,5
		333...1200	±0,0075 t
ТХК (L)	2	-40...300	±2,5
		300...800	±0,0075 t
	3	-200...-100	±0,0015 t
		-100...100	±2,5

Здесь t – значение измеряемой температуры, °С [1].

Описание лабораторной установки

Лицевая панель лабораторной установки показана на рис. 1.2. Поверочная установка включает печь, в которую помещены термоэлектрические преобразователи с НСХ K (ХА), L (ХА), S (ПП). На лицевой панели установки размещены клеммы указанных ТЭП: 1 – клеммы поверяемого ТЭП; 2 – клеммы эталонного ТЭП. Измерительная система, включающая в себя ТЭП с национальной статической характеристикой (НСХ) типа K (ХА) и пирометрический милливольтметр 5, предназначена для регулирования температуры в печи. Положение нижней (красной) стрелки милливольтметра соответствует заданному значению температуры, положение верхней стрелки (черной) – текущему значению температуры в печи. Амперметр 6 предназначен для определения тока в цепи питания печи.

Включение питания сети и печи осуществляется с помощью тумблеров 7 и 8 соответственно.

В качестве эталонного калибратора 3 используется калибратор типа Метран-510-ПКМ. Виды на верхнюю и лицевую панели калибратора показаны на рис. 1.3 и 1.4 соответственно.

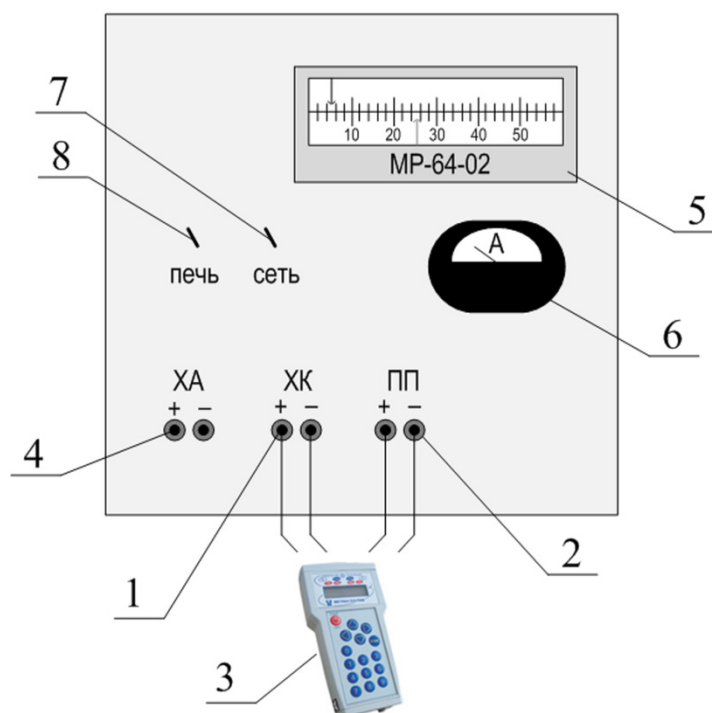


Рис. 1.2. Схема лабораторной установки:

- 1 – клеммы поверяемого ТЭП (НСХ L); 2 – клеммы эталонного ТЭП (НСХ S);
 3 – эталонный калибратор; 4 – клеммы вспомогательного ТЭП;
 5 – пирометрический милливольтметр; 6 – амперметр; 7 – тумблер включения питания установки; 8 – тумблер включения печи

Предел допускаемой основной приведенной погрешности при измерении и генерации напряжения постоянного тока в диапазоне от 0 до 100 мВ составляет $(0,015 \% + 5 \text{ мкВ})$; при измерении и генерации постоянного тока – $(0,015 \% + 0,25 \text{ мкА})$ [3].

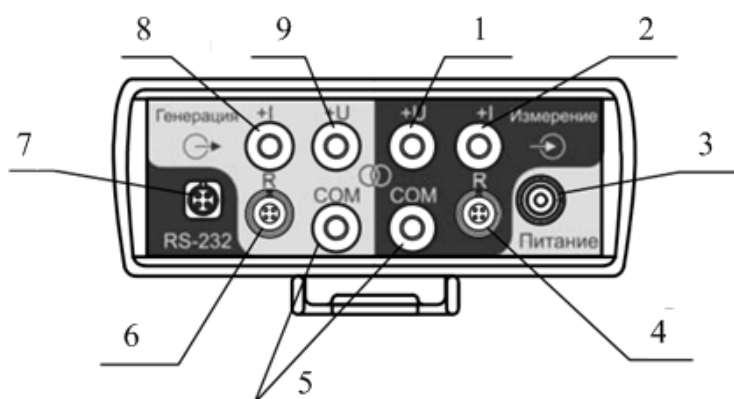


Рис. 1.3. Вид на верхнюю панель калибратора:

- 1 – вход кабеля U; 2 – вход кабеля I; 3 – разъем для подключения кабеля блока питания; 4 – вход кабеля R или термозонда; 5 – общий разъем (-) для U/I;
 6 – выход кабеля R или термозонда; 7 – разъем подключения кабеля RS 232;
 8 – выход кабеля I; 9 – выход кабеля U

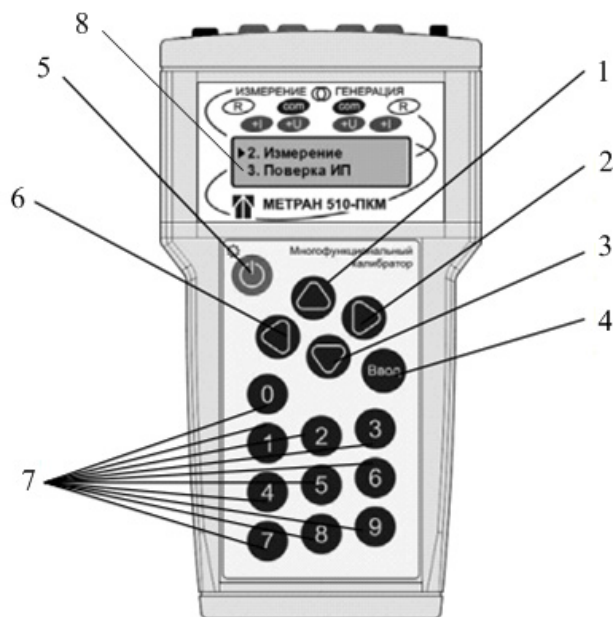


Рис. 1.4. Вид на лицевую панель калибратора:

- 1 – кнопка «Вверх»; 2 – кнопка «Вправо»; 3 – кнопка «Влево»; 4 – кнопка «Ввод»;
 5 – кнопка включения/выключения питания; 6 – кнопка «Влево»;
 7 – цифровые кнопки; 8 – дисплей

Порядок выполнения работы

1. С помощью пирометрического милливольтметра установить температуру в печи t_1 , соответствующую индивидуальному варианту (табл. 1.2).

2. После того как печь нагреется до нужной температуры, питание печи отключится, показания амперметра b составят 0 А.

3. Подключить с помощью проводников гнездо СОМ (режим «Измерение») эталонного калибратора к клемме «—» ТЭП 1.

4. Подключить с помощью проводников гнездо U+ (режим «Измерение») эталонного калибратора к клемме «+» ТЭП 1.

5. Включить калибратор, войти в Главное меню (переключение между уровнями меню осуществляется с помощью кнопок 2, 4, 6 (рис. 1.3)).

6. С помощью кнопки 4/6 выполнить команду

Измерение → Измерение напряжения.

7. Полученное значение занести в протокол поверки (см. приложение 1) в графу, соответствующую поверяемому ТЭП.

8. Отключить проводники от клемм 1, подключить к клеммам 2, измеренное значение ТЭДС занести в протокол поверки в графу, соответствующую эталонному ТЭП.

9. Повторить пп. 3–8 для текущего значения температуры 4 раза, все показания эталонного калибратора занести в протокол поверки.

10. Повторяя пп. 1–9, выполнить измерения для всех заданных в соответствии с индивидуальным вариантом значений температур (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Варианты индивидуальных заданий

№ варианта	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_4, ^\circ\text{C}$
1	100	200	300	400
2	40	80	120	160
3	60	100	140	180
4	80	120	160	200
5	100	150	200	250
6	120	160	200	240
7	140	180	240	260
8	160	200	240	280
9	200	220	240	260
10	250	300	350	400

Порядок обработки экспериментальных данных

1. Для каждого значения температуры определить среднее значение ТЭДС (отдельно для поверяемого и эталонного ТЭП) по формуле

$$E_{\text{cp}} = \frac{E_1(t_1) + E_2(t_2) + E_3(t_3) + E_4(t_4)}{4}, \quad (1.1)$$

где E_i – ТЭДС, соответствующая температуре t_i .

2. Определить величину поправки на температуру свободных концов $E_{\text{попр}}$ поверяемого и эталонного ТЭП. Значение величины поправки численно равно значению ТЭДС, соответствующей температуре наружных концов, и определяется по таблицам НСХ для каждого ТЭП.

3. Вычислить приведенное значение ТЭДС (отдельно для каждого ТЭП) по формуле

$$E_{\text{пр}} = E_{\text{cp}} + E_{\text{попр}}. \quad (1.2)$$

4. По приведенному значению ТЭДС эталонного ТЭП, используя таблицы НСХ для термопары типа S , определить действительную температуру в печи.

5. Для значений действительной температуры в печи по таблицам НСХ для термопары типа L определить номинальные значения ТЭДС E_1^{H} для поверяемого ТЭП.

6. Определить абсолютную погрешность по формуле

$$\Delta E = |E_{\text{пр}} - E_1^{\text{НСХ}}|. \quad (1.3)$$

7. Для поверяемого ТЭП определить значение допускаемого отклонения ТЭДС по формуле

$$\Delta E_{\text{д}} = \Delta t_{\text{д}} \cdot S, \quad (1.4)$$

где $\Delta t_{\text{д}}$ – допускаемое отклонение от НСХ, определяемое по табл. 1.1; S – чувствительность преобразователя при измерении температуры t_i , определяемая соотношением

$$S = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{E(t_i + dt) - E(t_i - dt)}{(t_i + dt) - (t_i - dt)} = \frac{E(t_i + dt) - E(t_i - dt)}{dt},$$

где величина dt принимается, как правило, равной 10°C . Графически чувствительность показана на рис. 1.5.

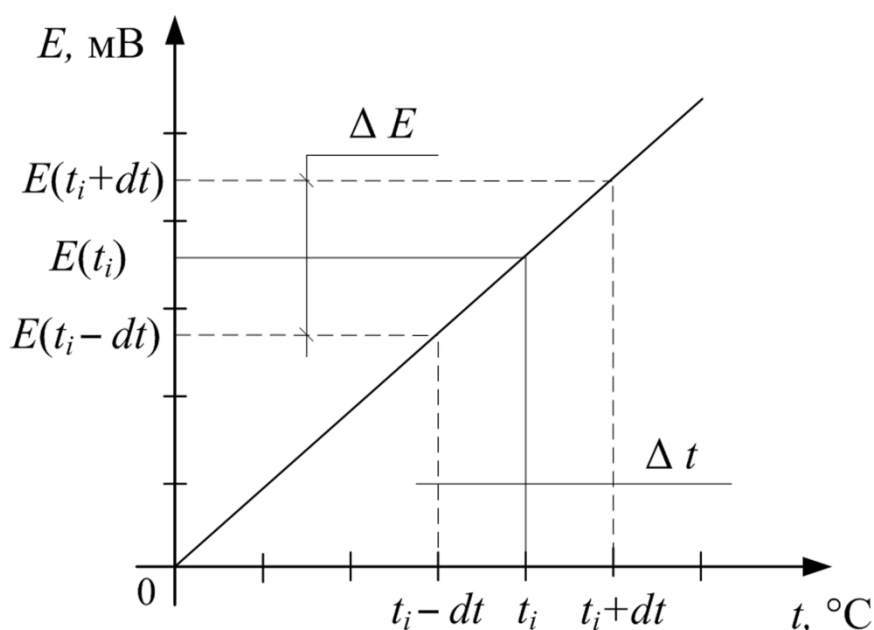


Рис. 1.5. Определение чувствительности ТЭП

8. Сравнить полученные значения отклонения ТЭДС от НСХ с допускаемым значением отклонения и сделать вывод. Если хотя бы одно значение погрешности превышает допускаемое, термоэлектрический преобразователь не годен для измерений.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующие разделы:

- 1) описание принципа работы ТЭП и процедуры его поверки;
- 2) описание лабораторной установки;
- 3) порядок проведения поверки;

- 4) порядок обработки полученных экспериментальных данных;
- 5) протокол поверки (на отдельном листе);
- 6) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы и задания

1. Какой выходной сигнал имеют термоэлектрические преобразователи?
2. Какие эталонные средства могут использоваться при поверке термоэлектрических преобразователей и почему?
3. Дайте определение чувствительности измерительного преобразователя.
4. Для чего рассчитывается поправка на температуру свободных концов термопары?
5. Что называется номинальной статической характеристикой ТЭП?

Лабораторная работа № 2

Исследование метрологических характеристик и поверка тягонапомеров

Цель работы заключается в изучении принципа действия тягонапомеров, их метрологических характеристик и методики поверки, получении практических навыков выполнения процедуры поверки.

Задачами лабораторной работы являются:

- ознакомление с конструкцией и принципом действия тягонапомеров;
- экспериментальное определение метрологических характеристик тягонапомера;
- проведение поверки тягонапора.

Поверка тягонапомеров

В зависимости от назначения приборы для измерения напора/тяги делятся на следующие основные группы:

Напомеры – предназначены для измерения небольшого избыточного давления (напора), как правило, не превышающего + 40 кПа.

Тягомеры – предназначены для измерения небольшого вакуумметрического давления (тяги), как правило, не превышающим – 40 кПа.

Тягонапомеры – предназначены для измерения вакуумметрического и избыточного давлений в пределах от – 40 кПа до + 40 кПа.

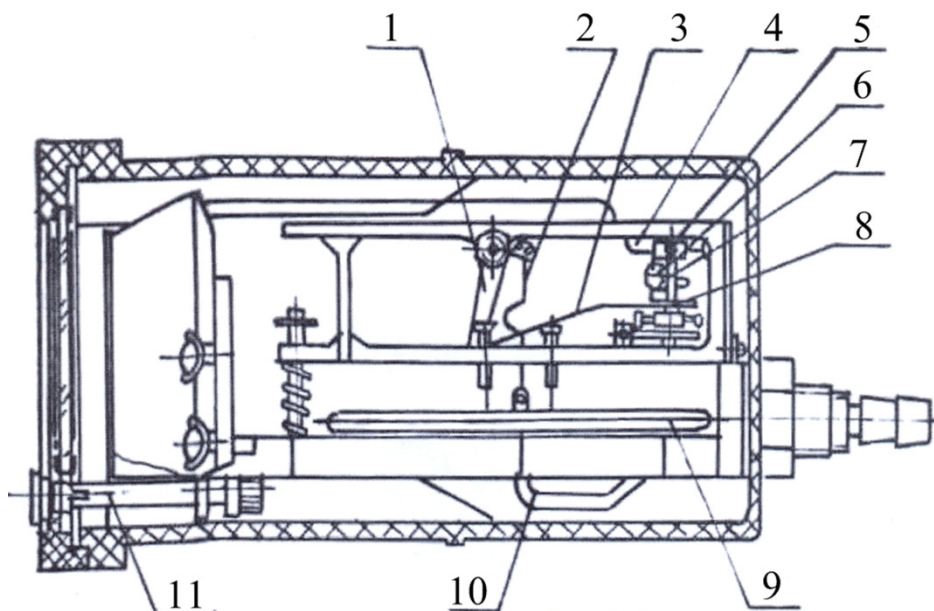


Рис. 1.6. Устройство мембранного тягомера:
1 – рычаг; 2, 3 – тяга; 4 – стрелка; 5, 6, 11 – винты; 7 – ось; 8 – шибер;
9 – мембранная коробка; 10 – трубка

Тягомеры служат для измерения разрежения или давления газа в топках, газоходах и воздухопроводах котельных установок и разделяются на простые жидкостные стеклянные, дифференциальные и мембранные. Простые тягомеры применяют для измерения разрежений в топке или за котлом, а дифференциальные – для измерения сопротивлений газоходов котла.

Принцип работы тягонапоромеров основан на уравнивании измеряемого давления силами упругой деформации чувствительного элемента. Конструкция мембранного тягонапоромера представлена на рис. 1.6. Измеряемое давление (разрежение) подводится к штуцеру, соединенному с внутренней полостью мембранной коробки 9 трубкой 10. Изменение давления вызывает перемещение жесткого центра верхней мембраны, которое тягой 2 передается на рычаг 1 и далее через тягу 3 на ось 7 стрелки 4 [4].

При выполнении поверки выполняется общий осмотр, проверка положения стрелки у нулевой отметки шкалы, определение основной погрешности и вариации приборов. Для поверки применяются образцовые грузопоршневые манометры, датчики давления и др. Основная абсолютная погрешность прибора определяется как разность между показаниями прибора и действительным значением давления, определяемым по образцовому прибору. Поверку приборов производят одним из способов:

- заданное значение устанавливают по образцовому прибору, а показания отсчитывают по поверяемому;
- стрелку поверяемого прибора устанавливают на проверяемую отметку шкалы, а действительное давление отсчитывают по образцовому прибору.

Число проверяемых отметок шкалы для приборов класса точности 0,6 должно быть не менее 8, класса точности 1; 1,5 и 2,5 – не менее 5. При этом проверяемые точки должны быть равномерно распределены в пределах всей шкалы. Для тягонапоромеров в число проверяемых точек должна входить отметка, соответствующая нулевому значению.

Описание лабораторной установки

Поверка тягонапоромеров осуществляется с помощью калибратора давления Элемер-ПКДС-210. Калибратор включает в себя датчик давления – ручную помпу типа PV-411P. Давление в помпе создается при помощи механизма ножничного типа. Для точного задания давления предусмотрен регулятор. Винт регулятора имеет малое сопротивление вращению и обеспечивает плавное изменение давления. При использовании воздуха в качестве рабочей среды диапазон создания давления

составляет $-0,095 \dots 6$ МПа, при использовании в качестве рабочей среды масла или воды диапазон создания давления составляет $0 \dots 70$ МПа.

К помпе одновременно подсоединяются поверяемый и эталонный датчики давления, и давление, создаваемое помпой, подается одновременно на оба прибора. Сравнение показаний приборов позволяет определить погрешность поверяемого датчика.

В качестве эталонного датчика при поверке используется эталонный преобразователь давления типа ПДЭ-010 с диапазоном измерений давлений $-100 \dots 600$ кПа. Эталонный преобразователь подключается к калибратору-измерителю эталонному типа ИКСУ-260L для индикации измеренных значений давления. Схема подключения приведена на рис. 1.7.

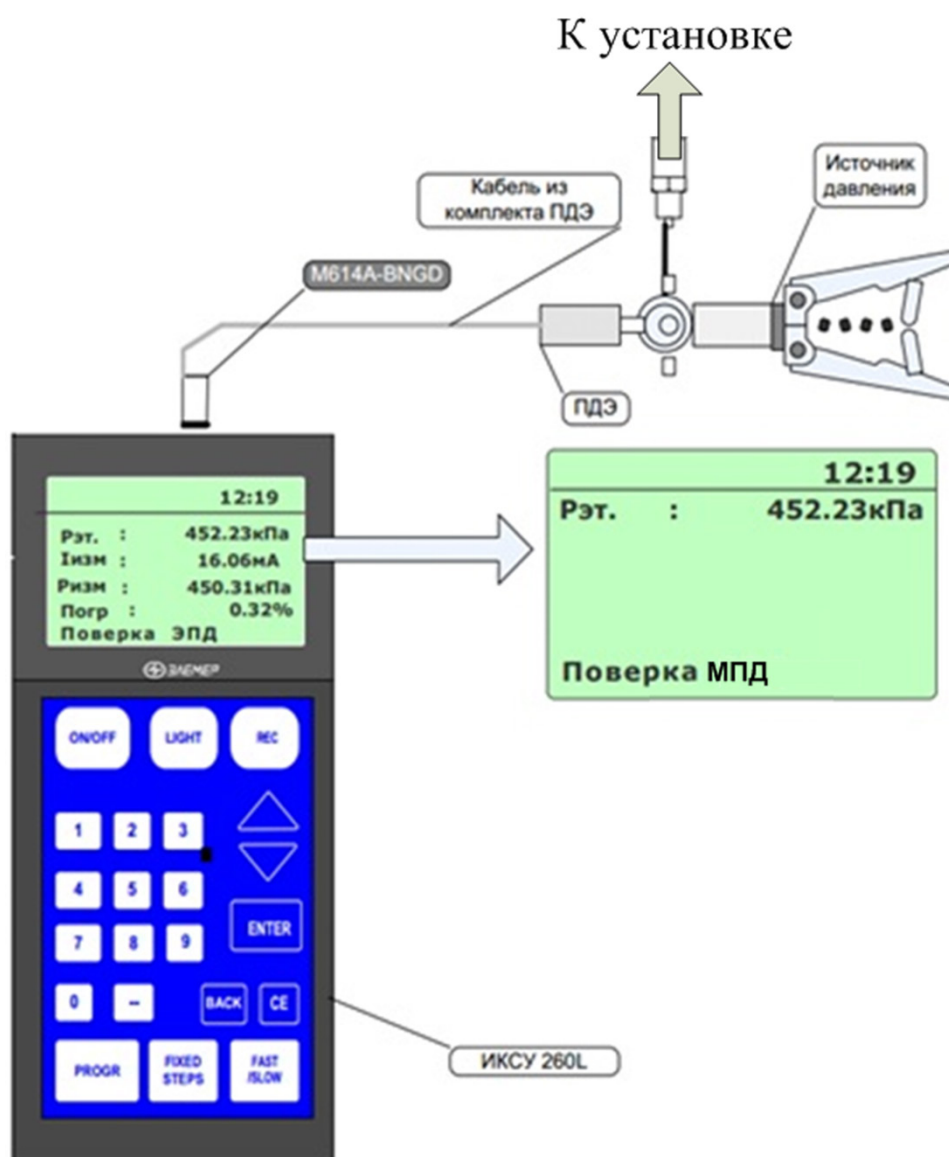


Рис. 1.7. Схема подключений эталонного и поверяемого преобразователей давления

Вид лицевой панели калибратора ИКСУ-260L показан на рис. 1.8.

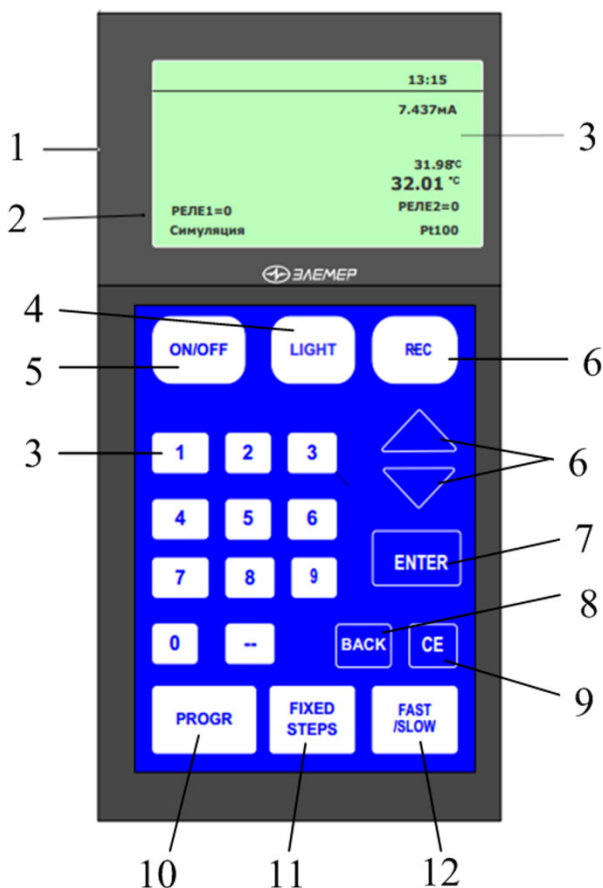


Рис. 1.8. Лицевая панель калибратора ИКСУ-260:

1 – корпус; 2 – лицевая панель; 3 – ЖК-дисплей; 4 – кнопка включения/выключения подсветки дисплея; 5 – кнопка включения/выключения прибора; 6 – начало/остановка записи в архив; 7 – кнопка подтверждения выбранного пункта меню/ ввод числа; 8 – возврат на предыдущий уровень меню; 9 – сдвиг числа вправо; 10 – программирование «горячей» кнопки; 11 – переход к следующему запрограммированному значению; 12 – кнопка включения/выключения «быстрого» режима автоповтора

Поверяемые приборы находятся на щите и имеют порядковые номера. Для выбора поверяемого датчика необходимо повернуть указатель, расположенный слева в нижней части щита, и установить его в положение, соответствующее порядковому номеру выбранного датчика [6, 7].

Порядок выполнения работы

1. Для экспериментального определения метрологических характеристик установить переключатель (расположен в левом нижнем углу установки) в положение, соответствующее поверяемому датчику давления.

2. Включить калибратор ИКСУ-260L, нажав кнопку 5 (рис. 1.8).
3. Нажать кнопку 8 для входа в Главное меню.
4. В Главном меню войти в режим «Поверка ПД», нажать кнопку 7.
5. В Меню «Поверка ПД» выбрать «Механический ПД», нажать кнопку 7.
6. В появившемся меню выбрать единицы измерения, соответствующие единицам измерения поверяемого датчика давления, нажать кнопку 7.
7. С помощью ручной помпы плавным движением подать в систему давление так, чтобы стрелка поверяемого прибора установилась на отметку шкалы p_1 (табл. 1.3).
8. В протокол поверки (приложение 2) занести значения давления (разрежения), полученные с помощью поверяемого (первый столбец) и эталонного (второй столбец) датчиков.
9. Повторить пп. 7–8, увеличивая подаваемое давление (прямой ход), заполнить второй столбец протокола поверки.
10. Повторить пп. 7–8, уменьшая давление (обратный ход), заполнить третий столбец протокола поверки.

Таблица 1.3

Варианты индивидуальных заданий

№ вар.	№ приб.	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6
1	1	-25	-20	-15	-10	-5	0
2	2	0	5	10	15	20	25
3	3	0	8	16	24	32	40
4	4	0	5	10	15	20	25
5	5	0	8	16	24	32	40
6	6	-20	-10	0	5	15	20
7	7	-20	-15	-5	0	10	20
8	3	0	10	15	25	35	40
9	4	0	5	8	18	23	25
10	5	0	5	12	22	32	40

Порядок обработки экспериментальных данных

1. Вычислить предел допускаемой основной абсолютной погрешности по формуле

$$\Delta_{\text{доп}} = \pm \gamma \cdot \frac{X_{\text{вп}} - X_{\text{нп}}}{100}. \quad (1.5)$$

2. Вычислить предел допускаемой вариации показаний прибора по формуле

$$V_{\text{доп}} = \pm \gamma \cdot \frac{X_{\text{вп}} - X_{\text{нп}}}{100}. \quad (1.6)$$

где $X_{\text{вп}}$, $X_{\text{нп}}$ – верхний и нижний предел измерений поверяемого прибора, кПа (кгс/см²); γ – предел допускаемой основной приведенной погрешности прибора, %.

3. Рассчитать абсолютные погрешности показаний прибора для каждого значения при прямом Δ_1 и обратном Δ_2 ходе и вариацию V прибора по формулам:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= X_0 - X_{\text{п.х}}; \\ \Delta_2 &= X_0 - X_{\text{о.х}}; \\ V &= |X_{\text{п.х}} - X_{\text{о.х}}|, \end{aligned} \quad (1.7)$$

где X_0 – значение давления (разрежения), соответствующее показаниям прибора (табл. 1.3); $X_{\text{п.х}}$ и $X_{\text{о.х}}$ – значения давления (разрежения), соответствующие показаниям эталонного прибора при прямом и обратном ходе, кПа (кгс/см²).

4. Сравнить максимальные значения основной абсолютной погрешности и вариации прибора с пределами допускаемых основной абсолютной погрешности и вариации. Если выполняются условия:

$$\begin{aligned} |\Delta_{\text{max}}| &\leq \Delta_{\text{доп}}; \\ V_{\text{max}} &\leq V_{\text{доп}}, \end{aligned} \quad (1.8)$$

то метрологические характеристики прибора соответствуют его паспортным данным, и в протоколе поверки делают запись «Прибор годен для измерений». Если одно из условий не соблюдается, то метрологические характеристики прибора не соответствуют его паспортным данным, и в протоколе поверки делают запись «Прибор не годен для измерений».

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) теоретические сведения о мембранных тягонапоромерах;
- 2) описание лабораторной установки;
- 3) порядок проведения лабораторной работы;
- 4) порядок обработки экспериментальных данных;
- 5) протокол поверки (на отдельном листе);
- 6) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы и задания

1. Для чего на практике используются тяго- и напоромеры?
2. В чем заключается отличие тягомеров и напоромеров?
3. Что является чувствительным элементом поверяемых приборов?
4. Что называется поверкой средства измерения?
5. Запишите формулы для определения абсолютной, относительной и приведенной погрешностей средства измерений.
6. Как называется погрешность, которой обладает измерительное устройство, если при его поверке полученные значения вариации не равны нулю?

Лабораторная работа № 3

Измерение температуры косвенным методом

Цель работы заключается в знакомстве с методами измерения температуры тел, а также в получении практических навыков измерения с помощью измерительных преобразователей.

Задачами работы являются:

- изучение средств и методов измерения температуры;
- измерение температуры с помощью термоэлектрического преобразователя;
- измерение температуры с помощью термопреобразователя сопротивления.

Измерение температуры

Температура является одним из трех основных параметров, характеризующим состояние вещества. В промышленности измерение температуры занимает до 80 % объема всех измерений.

Температура определяет степень нагретости тела, она характеризует тепловое состояние вещества и пропорциональна средней кинетической энергии его молекул.

На практике измерение температуры непосредственно невозможно. Поэтому для измерения температуры используют различные явления, происходящие под воздействием тепла, например, расширение веществ, изменение электрического сопротивления, излучение нагретых тел. Однако количественная оценка возможна лишь при сопоставлении с некоторой эталонной температурой.

Классификация методов измерения температуры показана на рис. 1.10.

Измерение температуры любым из методов, приведенных на рис. 1.9, выполняется косвенно, т. е. значение измеряемой температуры определяется по результатам прямых измерений другой физической величины – давления, термоэлектродвижущей силы, электрического сопротивления и др. Наиболее распространенными дистанционными средствами измерения температуры являются термоэлектрические преобразователи и термопреобразователи сопротивления [8, 9].

Принцип действия термоэлектрических преобразователей основан на явлении генерации термоэлектродвижущей силы, возникающей из-за разности температур между двумя соединениями различных металлов или сплавов, образующих часть одной и той же цепи. Таким образом, при измерении температуры термоэлектрический преобразователь преобразует измеряемую температуру в ТЭДС (рис. 1.10, а).

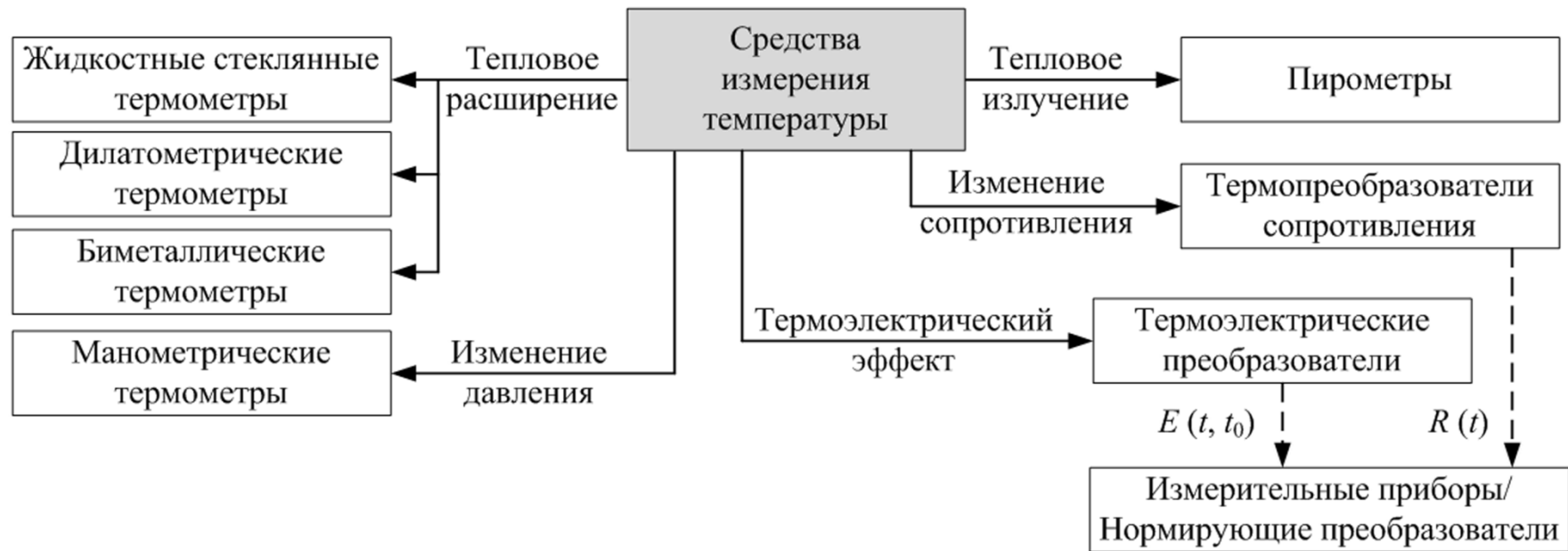


Рис. 1.9. Классификация средств измерения температуры

Принцип действия термопреобразователей сопротивления основан на зависимости сопротивления металлов от температуры (рис. 1.10, б). В этом случае температура может быть определена по величине сопротивления.

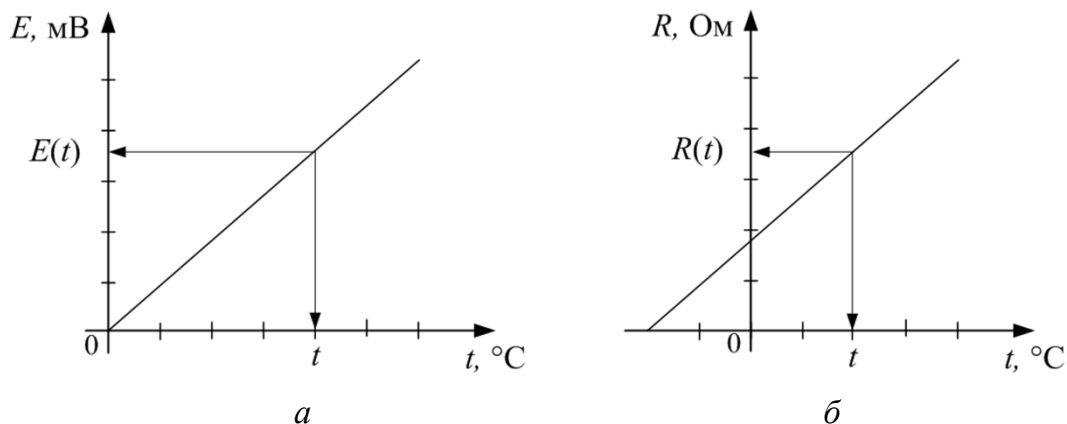


Рис. 1.10. Номинальные статические характеристики: а – термоэлектрического преобразователя; б – термопреобразователя сопротивления

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает сухоблочный калибратор температуры типа КТ-650, эталонный калибратор ИКСУ-260L, образцы термопреобразователей.

Вид калибратора показан на рис. 1.11. На лицевой панели КТ-650 расположены:

- двухрядный индикатор температуры;
- кнопки управления.

Индикатор температуры предназначен для отображения текущего значения температуры КТ-650 и задания температуры уставки. В верхнем ряду индицируется текущая температура основного термостатирующего блока. В нижнем ряду отображается температура уставки. После задания уставки высвечивается ее температура, при этом в левом углу нижней части изображен символ «=».

Для изменения уставки имеются пять кнопок: \blacktriangleleft вход в режим/выход из режима редактирования температуры уставки, кнопки \blacktriangleright , \blacktriangleleft передвижения по разрядам и кнопки \blacktriangle , \blacktriangledown изменения цифры соответствующего разряда. В целях безопасности предусмотрено выключение нагрева во время редактирования уставки. После выхода из режима редактирования в режим измерений индикатор гаснет на 1...3 с.

На вертикальной части передней панели расположены два переключателя: «СЕТЬ» и «БЛОКИРОВКА».



Рис. 1.11. Сухоблочный калибратор температуры КТ-650

Двухпозиционный переключатель «Блокировка» служит для включения системы блокировки цепей питания нагревателей. Блокировка предназначена для отключения питания в аварийной ситуации. Срабатывает при отклонении текущей температуры от заданной на ± 15 °С, например, при обрыве в цепи термопреобразователей. После возвращения температуры заблокированного канала КТ-650 в зону установленных пределов питание нагревателей восстанавливается.

Для измерения значения выходного сигнала термопреобразователя используется калибратор-измеритель эталонный типа +ИКСУ-260L.

Калибратор-измеритель ИКСУ-260L следует подключать к термопреобразователю с помощью соответствующего кабеля. Назначения кабелей калибратора-измерителя ИКСУ-260L приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Назначение кабелей

№ кабеля	Маркировка	Назначение
Кабель № 1	КИ260К	Подключение к ИКСУ термопреобразователей с НСХ ХА(К)
Кабель № 2	КИ260L	Подключение к ИКСУ термопреобразователей с НСХ ХК(L)
Кабель № 3	КИ260R1	Связь ИКСУ с термопреобразователями сопротивления по трехпроводной схеме подключения при работе в режиме измерения температуры и сопротивления постоянному току

Кабель № 5	КИ260U	Связь ИКСУ с первичными преобразователями или устройствами при режиме работы измерений напряжения постоянного тока, а также воспроизведения сигналов напряжения постоянного тока
------------	--------	--

Схема подключения калибратора к измерительному преобразователю приведена на рис. 1.12.

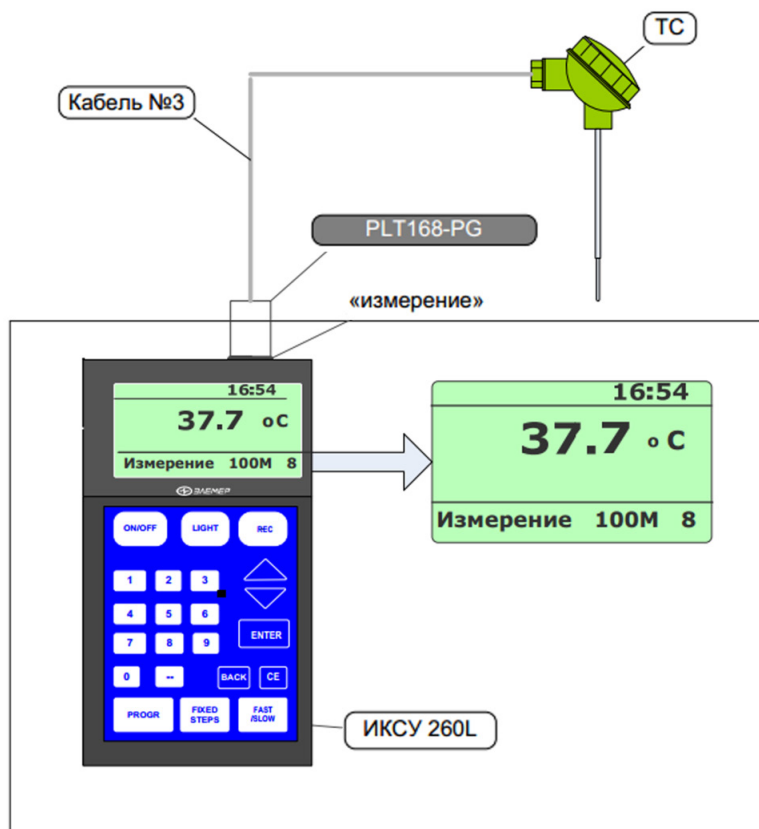


Рис. 1.12. Схема подключения калибратора-измерителя к термопреобразователю

Пределы допускаемой погрешности калибратора ИКСУ-260L при измерении температуры в комплекте с термопреобразователями приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения электрических величин в нормальных условиях

Величина	Диапазон измерения	Предел допускаемой погрешности
ТЭДС	- 10...100 мВ	$\pm (7 \cdot 10^{-5} \cdot E + 3)$ мкВ
Сопротивление	0...320 Ом	$\pm 0,02$ Ом

Вид верхней панели калибратора ИКСУ-260L показан на рис. 1.13.

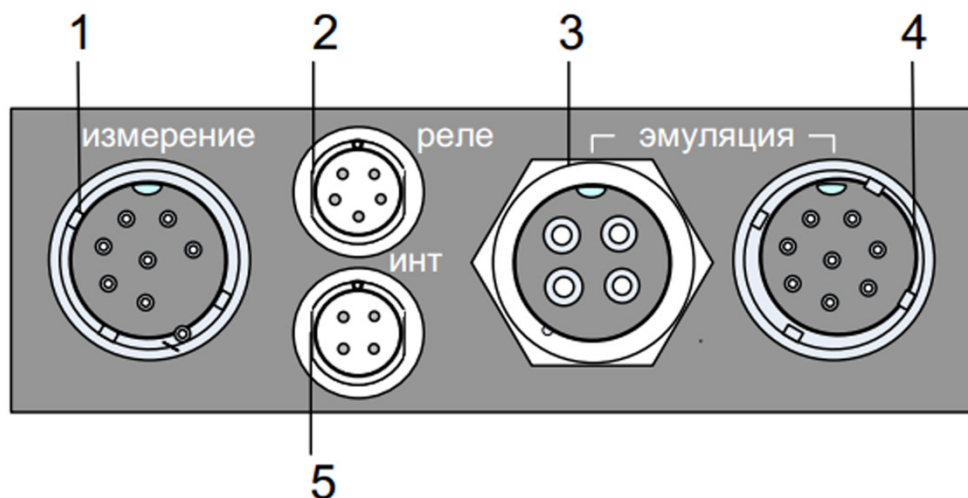


Рис. 1.13. Вид верхней панели калибратора ИКСУ-260L:

1 – разъем для измерительного входа; 2 – разъем для подключения реле; 3 – разъем выхода эмуляции в виде сигнала сопротивления; 4 – разъем выхода эмуляции в виде сигнала напряжения; 5 – разъем для обмена данными с ПК по интерфейсу RS-232

Дисплей предназначен:

- для индикации измеренного и/или воспроизводимого значения физической величины;
- отображения пунктов меню и названий конфигурационных параметров;
- отображения информации о текущем режиме [7, 10].

Порядок выполнения работы

1. Поместить термопреобразователь в отверстие термостатирующего блока.
2. Подключить термопреобразователь с помощью соответствующего кабеля к разьему «Измерение» измерителя-калибратора ИКСУ-260L.
3. Включить калибратор ИКСУ-260L, нажав кнопку 5 (рис. 1.7).
4. Нажать кнопку 8 для входа в Главное меню.
5. В Главном меню войти в режим «Измерения», выбрать «Сопротивление» для работы с термопреобразователями сопротивления или «Напряжение» для работы с термоэлектрическими преобразователями и нажать кнопку 7. Прибор перейдет в режим измерения сигнала от преобразователя.
6. Включить переключатель «Сеть» на передней панели калибратора.

7. С помощью кнопок для изменения установок на передней панели калибратора установить значение температуры t_1 (табл. 1.7).

8. После установления температуры измерить выходное значение сопротивления/напряжения, занести измеренное значение в табл. 1.6. Повторить пп. 7–8 для других значений температуры (табл. 1.7).

Таблица 1.6

Экспериментальные и расчетные данные

№ эксп.	Температура (по калибратору), °С	Сопротивление, Ом (термоЭДС, мВ)	Расчетное значение температуры, °С
1	t_1		
...			
7	t_7		

Таблица 1.7

Варианты индивидуальных заданий

№ вар.	НСХ	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7
1	ТХК	50	60	70	80	90	100	110
2	ТХА	50	55	60	65	70	75	80
3	50П	50	55	60	65	70	75	80
4	50М	50	55	60	65	70	75	80
5	100П	50	55	60	65	70	75	80
6	100М	50	55	60	65	70	75	80
7	ТХК	50	55	60	65	70	75	80
8	ТХК	64	74	84	94	104	114	124
9	ТХА	64	74	84	94	104	114	124
10	ТХА	58	68	78	88	98	108	118

Порядок обработки экспериментальных данных

1. Для термоэлектрических преобразователей ввести поправку на показания ТЭП (см. п. 1.1).

2. По таблицам НСХ по полученным значениям сопротивлений и/или ТЭДС определить значение температуры, полученные значения занести в табл. 1.6.

3. По данным табл. 1.6 построить график зависимости значений сопротивления/ТЭДС от расчетных значений температуры.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) теоретические сведения об измерении температуры;
- 2) описание лабораторной установки;
- 3) порядок выполнения работы;
- 4) экспериментальные и расчетные данные;
- 5) график искомой зависимости;
- 6) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите методы измерения температуры, выделите методы, используемые в измерительных преобразователях.
2. Опишите процесс измерения температуры косвенным методом с помощью измерительных преобразователей.
3. Как называется зависимость выходного сигнала термопреобразователя от измеряемой температуры?

Лабораторная работа № 4

Многократные измерения температуры

Цель работы заключается в знакомстве с методами выполнения и обработки многократных измерений.

Задачами лабораторной работы являются:

- выполнение многократных измерений температуры;
- обработка многократных измерений.

Многократные измерения

Многократные измерения выполняются как в системах контроля и сбора информации и метрологической деятельности, так и при выполнении научных экспериментов. Выполнение многократных равнозначных измерений, как правило, выполняется для повышения точности измерений. Измерения называются равнозначными, если выполняются одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях. Совокупность результатов многократных измерений в большинстве случаев подчиняется нормальному закону распределения. Основными параметрами, характеризующими совокупность результатов измерения, являются математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратическое отклонение.

Среднее значение среди n результатов измерений представляет собой значение, относительно которого происходит разброс случайных величин, оно является абсциссой оси симметрии кривой нормального распределения и называется математическим ожиданием

$$M(a_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i. \quad (1.9)$$

Степень разброса вокруг математического ожидания характеризуется дисперсией

$$D(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_i - M(a_i))^2. \quad (1.10)$$

Кроме величины математического ожидания нормальное распределение характеризуется параметром, называемым среднеквадратическим отклонением

$$\sigma_a = \sqrt{D(a_i)}. \quad (1.11)$$

Если число наблюдений достаточно велико ($n \rightarrow \infty$), то в силу нормальности распределения абсолютные погрешности одинаковой величины, но с разным знаком, встречаются одинаково часто (плотность распределения симметрична относительно математического ожидания),

а значит при бесконечно большом числе наблюдений истинное значение измеряемой величины равно математическому ожиданию результатов измерений.

Описание лабораторной установки

Вид лабораторной установки показан на рис. 1.14. Лабораторная установка включает малоинерционную трубчатую печь типа МТП-2М-50-500, блок управления типа БУ-7-4, термопреобразователь.

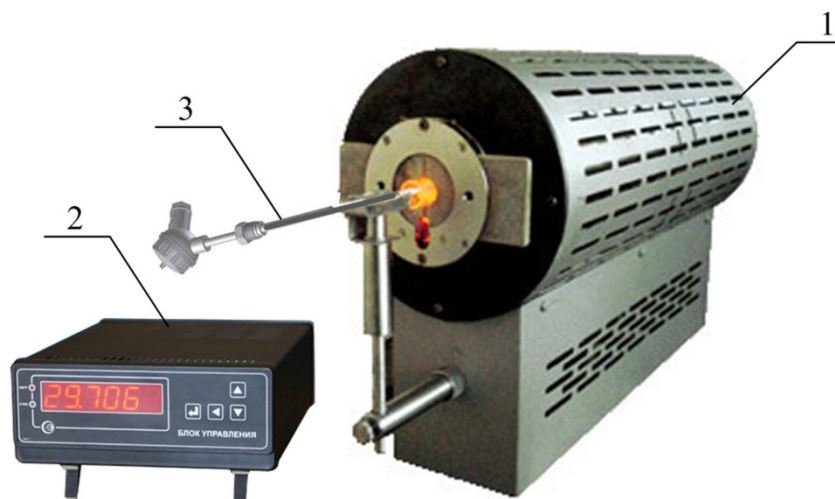


Рис. 1.14. Лабораторная установка для измерения температуры:
1 – печь трубчатая; 2 – блок управления; 3 – термопреобразователь

Печь 1 предназначена для нагрева средств измерений до температуры от 100 до 1200 °С в лабораторных условиях. Диаметр рабочего пространства печи составляет 50 мм, длина 500 мм. Блок управления 2 предназначен для измерения и поддержания температуры в рабочем пространстве за счет управления подводимой электрической мощностью. Предел допускаемой основной абсолютной погрешности блока составляет ± 3 °С. Дисплей блока предназначен для индикации текущего значения температуры и уставки. Кнопки, расположенные на лицевой панели блока, предназначены для задания температуры и режима отображения температуры (уставки или текущего значения).

Порядок выполнения работы

1. Подключить с помощью проводников термопреобразователь к калибратору ИКСУ-260L так, как показано на рис. 1.12.
2. Включить калибратор нажатием кнопки 5 (рис. 1.7).
3. Нажать кнопку 8 (рис. 1.7) для входа в Главное меню.

4. В Главном меню войти в режим Измерения, выбрать пункт ТС для работы с термопреобразователями сопротивления или ТП для работы с термоэлектрическими преобразователями и нажать кнопку 7 (рис. 1.7).

5. Выбрать из представленного списка НСХ преобразователя и нажать кнопку 7. При работе с термоэлектрическими преобразователями следует выбрать пункт «Автоматическая» и нажать кнопку 7.

6. Включить блок управления переводом двухпозиционного переключателя в режим «Включено».

7. С помощью кнопок ▼/▲ установить значение температуры t_1 в соответствии с индивидуальным заданием (табл. 1.9), в режиме нагревания на лицевой панели блока управления будет мигать красный индикатор.

8. После установления температуры (определяется по блоку управления) зафиксировать показания калибратора, занести показания в табл. 1.8.

9. Повторить измерения 12 раз с интервалом 10 с.

10. Повторить пп. 8–9 для значений температур t_2, t_3 .

Таблица 1.8

Экспериментальные и расчетные данные

№ эксп.	t_1	t_2	t_3
1			
2			
...			
12			
$M(a_i)$			
$D(a_i)$			
σ_a			

Варианты индивидуальных заданий приведены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Варианты индивидуальных заданий

№ вар.	t_1	t_2	t_3	№ вар.	t_1	t_2	t_3
1	100	110	120	6	250	260	270
2	130	140	150	7	280	290	300
3	160	170	180	8	310	320	330
4	190	200	210	9	340	350	360
5	220	230	240	10	370	380	390

Порядок обработки экспериментальных данных

1. Для каждой серии экспериментов (t_1, t_2, t_3) определить математическое ожидание по формуле (1.9).
2. Для каждой серии экспериментов (t_1, t_2, t_3) определить дисперсию по формуле (1.10).
3. Для каждой серии экспериментов (t_1, t_2, t_3) определить среднеквадратическое отклонение по формуле (1.11).
4. В одной системе координат отдельно для каждой серии экспериментов отметить точки, соответствующие результатам измерений, показать математическое ожидание.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) характеристики многократных измерений;
- 2) описание лабораторной установки;
- 3) порядок выполнения работы;
- 4) порядок обработки экспериментальных данных;
- 5) таблицу, содержащую результаты опытов и расчетов;
- 6) графическое представление результатов;
- 7) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие измерения называются многократными, с какой целью выполняются такие измерения?
2. Могут ли измерения, входящие в серию многократных, выполняться различными средствами измерений?
3. Охарактеризуйте математическое ожидание случайной величины.
4. Какому закону распределения в большинстве случаев подчиняется совокупность результатов измерений?

Лабораторная работа № 5

Исследование метрологических характеристик и поверка автоматического потенциометра

Цель работы заключается в ознакомлении со средствами измерений, работающими в комплекте с термоэлектрическими преобразователями, методикой их поверки, получении практических навыков выполнения поверки.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение принципа работы автоматического потенциометра;
- выполнение поверки автоматического потенциометра;
- составление протокола поверки.

Принцип работы и методика поверки автоматического потенциометра

Автоматические потенциометры используются для измерения температуры в комплекте с термоэлектрическими преобразователями стандартных номинальных статических характеристик. В автоматических потенциометрах реализована измерительная схема, измеряющая значения ТЭДС термоэлектрических преобразователей компенсационным методом измерения. Компенсационный метод измерения ТЭДС является примером нулевого метода сравнения с мерой. Простейшая измерительная схема потенциометра изображена на рис. 1.15.

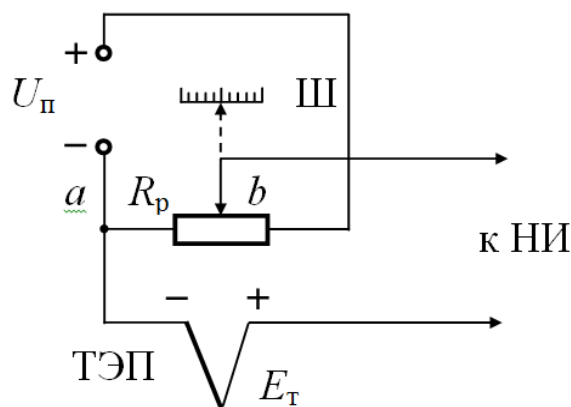


Рис. 1.15. Измерительная схема потенциометра

Термоэлектрический преобразователь ТЭП (рис. 1.15) подключен к делителю напряжения (реохорду) R_p таким образом, что падение напряжения U_{ab} между точками a и b на части делителя напряжения R_p подключено навстречу ТЭДС E_T термоэлектрического преобразователя ТЭП. Перемещая движок реохорда R_p , можно найти такое положение движка, при котором $U_{ab} = E_T$.

В этом случае ТЭДС E_T уравнивается падением напряжения U_{ab} , ток в цепи ТЭП отсутствует и стрелка нуль-индикатора (НИ) устанавливается на нулевую отметку. По положению стрелки-указателя потенциометра, перемещающейся вдоль шкалы $Ш$, можно определить значение ТЭДС или значение измеряемой температуры [11].

Таким образом, метод измерения ТЭДС, реализуемый в автоматических потенциометрах, является примером нулевого метода сравнения с мерой, т. е. методом, при котором измеряемая величина определяется путем уравнивания измеряемой величины мерой.

При поверке автоматических потенциометров выполняют следующие операции: проверку электрической прочности изоляции и определение сопротивления изоляции; проверку характера успокоения указателя прибора; проверку соответствия основной погрешности показаний допускаемым значениям; соответствие вариации показаний допускаемым значениям; соответствие основной погрешности записи допускаемым значениям и другие [12].

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает два автоматических потенциометра типа Диск-250 (рис. 1.16) с номинальными статическими характеристиками (НСХ) типов K (ХА) и L (ХК), эталонный калибратор типа Метран-510-ПКМ и магазин сопротивлений типа Р4831.

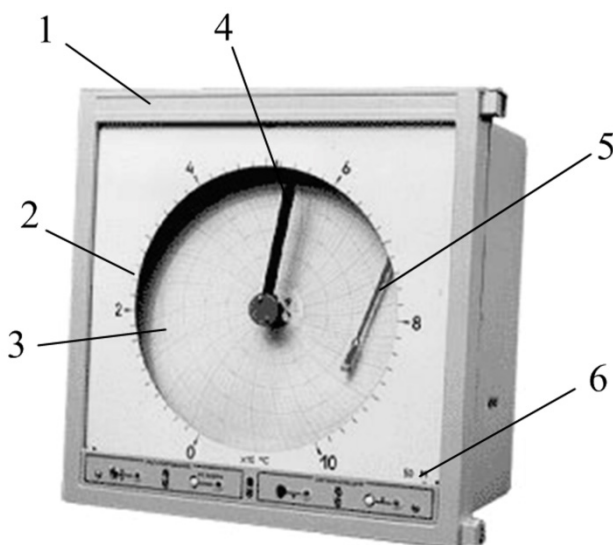


Рис. 1.16. Автоматический потенциометр типа Диск-250:
1 – металлический корпус; 2 – шкала; 3 – диаграммный диск; 4 – стрелка-указатель; 5 – перо; 6 – обозначение НСХ

Потенциометры установлены в щите, на клеммную панель B выведены входные контакты для подключения ТЭП или эталонного калиб-

ратора. Предел допускаемой основной приведенной погрешности потенциометра составляет $\pm 0,5 \%$, предел допускаемой основной приведенной погрешности калибратора при генерации напряжения постоянного тока в диапазоне от 0 до 100 мВ составляет $(0,015 \% + 5 \text{ мкВ})$. Класс точности магазина сопротивлений $(0,02/2 \cdot 10^{-6})$.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему, приведенную на рис. 1.17.

Внимание! Монтаж схемы производится при выключенном питании лабораторной установки.

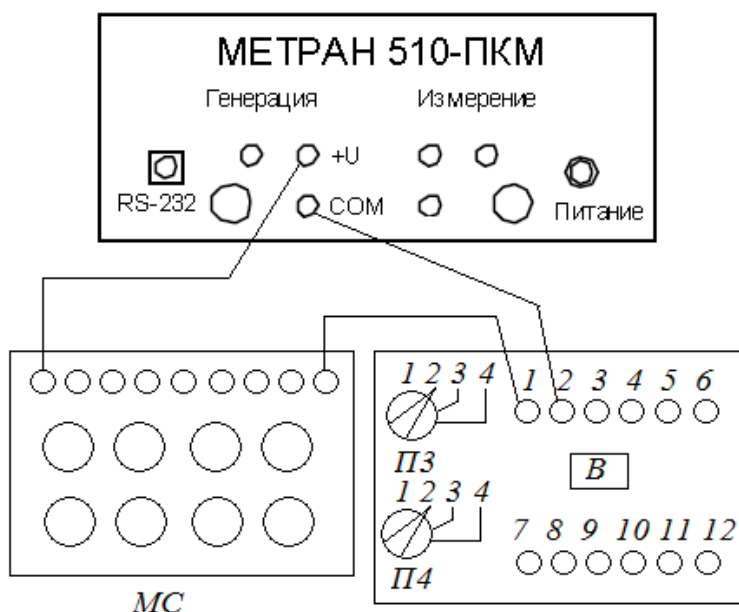


Рис. 1.17. Схема подключений для поверки автоматических потенциометров

2. Соединить контакт $+U$, расположенный на верхней панели калибратора Метран-510-ПКМ, с контактом 1 Магазина сопротивлений.

3. Соединить контакт 9 Магазина сопротивлений с контактом 1 клеммной панели В.

4. Соединить контакт 2 клеммной панели В с контактом COM калибратора.

5. Установить сопротивление Магазина сопротивлений равным 160...200 Ом.

6. Включить питание лабораторной установки (тумблер «Сеть»).

7. Включить питание поверяемого автоматического потенциометра (тумблер «Диск-250»).

8. В первый столбец таблицы протокола поверки (приложение 3) занести проверяемые отметки шкалы (табл. 1.10).

9. По таблицам НСХ определить расчетные значения ТЭДС, соответствующие проверяемым отметкам шкалы, и занести их в протокол поверки (второй столбец).

10. Включить калибратор нажатием кнопки 5 (рис. 1.3).

11. С помощью кнопок 1 и 3 (рис. 1.3) выбрать пункт меню Генерация, нажать кнопку 4.

12. В меню с помощью кнопок 1 и 3 (рис. 1.3) выбрать пункт Напряжение (мВ).

13. В меню Задать с помощью кнопок 7 (рис. 1.3) задать значение ТЭДС, соответствующее первой отметке прибора, нажать кнопку 4, выбрать пункт Постоянное, нажать кнопку 4.

14. Корректируя значение подаваемого напряжения, установить стрелку пирометрического милливольтметра на первую отметку шкалы. При этом значение подаваемого напряжения занести в третий столбец Протокола поверки (приложение 3).

15. Повторить пп. 11–14 для всех заданных значений температуры (табл. 1.10).

16. Подобрать такое значение генерируемого напряжения, при котором стрелка-указатель установится на последнюю проверяемую отметку шкалы. Подбранное значение занести в протокол поверки (четвертый столбец).

17. Последовательно повторить п. 14 для всех проверяемых отметок шкалы (обратный ход).

Таблица 1.10

Варианты индивидуальных заданий

№ вар.	Проверяемые отметки шкалы, °С						
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7
1	0	100	200	300	400	500	600
2	0	20	120	220	320	420	520
3	0	40	140	240	340	440	540
4	0	60	160	260	360	460	560
5	0	80	180	280	380	480	580
6	0	120	240	360	480	600	720
7	0	40	100	160	220	280	340
8	0	60	120	180	240	300	360
9	0	80	160	240	320	400	480
10	0	100	150	200	250	300	350

Порядок обработки экспериментальных данных

1. Определить предел допускаемой основной абсолютной погрешности по формуле

$$\Delta E_{\text{доп}} = \gamma \frac{E_{\text{в.п}} - E_{\text{н.п}}}{100}, \quad (1.12)$$

где $E_{\text{в.п}}$ – значение ТЭДС, соответствующее верхнему пределу измерения, мВ; $E_{\text{н.п}}$ – значение ТЭДС, соответствующее нижнему пределу измерения автоматического потенциометра, мВ; γ – предел допускаемой основной приведенной погрешности, %.

2. Определить предел допускаемой вариации по формуле

$$\Delta V_{\text{доп}} = 0,5 \cdot \gamma \frac{E_{\text{в.п}} - E_{\text{н.п}}}{100}. \quad (1.13)$$

3. Определить абсолютную погрешность показаний прибора при прямом ходе по формуле

$$\Delta E_1 = E_0 - E_{\text{п.х}}. \quad (1.14)$$

4. Определить абсолютную погрешность показаний прибора при обратном ходе по формуле

$$\Delta E_2 = E_0 - E_{\text{о.х}}. \quad (1.15)$$

5. Определить вариацию показаний прибора по формуле

$$V = |E_{\text{п.х}} - E_{\text{о.х}}|. \quad (1.16)$$

6. Сравнить наибольшие значения абсолютной погрешности и вариации с допускаемыми, сделать вывод о пригодности прибора к измерениям.

7. В одной системе координат построить графики:

- зависимость ТЭДС (по НСХ) от значений температуры, соответствующих проверяемым отметкам шкалы ($E_0 = f(t)$);

- зависимость значений ТЭДС, полученных с помощью калибратора при увеличении показаний, от значений температуры, соответствующих проверяемым отметкам шкалы ($E_{\text{п.х}} = f(t)$);

- зависимость значений ТЭДС, полученных с помощью калибратора при уменьшении показаний, от значений температуры, соответствующих проверяемым отметкам шкалы ($E_{\text{о.х}} = f(t)$).

8. На графике показать вариацию прибора.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) теоретические сведения об автоматических потенциометрах, методике их поверки;
- 2) описание лабораторной установки;
- 3) порядок выполнения работы;
- 4) порядок обработки экспериментальных данных;
- 5) графики искомых зависимостей;
- 6) протокол поверки;
- 7) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы и задания

1. Почему метод измерения ТЭДС, реализуемый в автоматических потенциометрах, называется нулевым методом сравнения с мерой?
2. Опишите операции, выполняемые при поверке автоматических потенциометров.
3. В составе каких измерительных систем могут использоваться автоматические потенциометры?
4. Назовите вид погрешности показаний прибора, приведите обоснование.
5. Назовите все построенные графики.

Лабораторная работа № 6

Исследование метрологических характеристик и поверка технических манометров

Цель работы заключается в ознакомлении со средствами измерения давления, изучении технических и эталонных манометров, методики поверки технических деформационных манометров.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение принципа действия технического деформационного манометра;
- изучение методики поверки технического манометра;
- экспериментальное определение метрологических характеристик деформационного манометра;
- проведение поверки.

Принцип действия и методика поверки деформационных манометров

Деформационные манометры – один из наиболее распространенных видов средств измерения давления. В деформационных манометрах используется зависимость деформации чувствительного элемента или развиваемой им силы от измеряемого давления. Пропорциональная давлению деформация преобразуется в показания или соответствующие им изменения выходного сигнала. Большинство деформационных манометров содержат упругие чувствительные элементы, осуществляющие преобразование давления в пропорциональное перемещение рабочей точки.

Одним из типов упругих чувствительных элементов являются одновитковые трубчатые пружины. Такие пружины могут иметь эллиптическое или плоскоовальное сечение. Один конец пружины, в который поступает измеряемое давление, закреплен неподвижно в держателе, второй (закрытый) – может перемещаться. При этом трубка загнута под углом 270° . Под действием разности измеряемого внутреннего и внешнего атмосферного давления трубчатая пружина деформируется: пружина раскручивается и ее свободный конец совершает перемещение. Направление перемещения свободного конца трубки обусловлено увеличением малой оси сечения трубки под влиянием избыточного давления и уменьшения при воздействии разрежения. Конструкция такого манометра показана на рис. 1.18.

Перемещение стрелки осуществляется с помощью передаточного механизма, соединенного со свободным концом чувствительного элемента [11, 8].

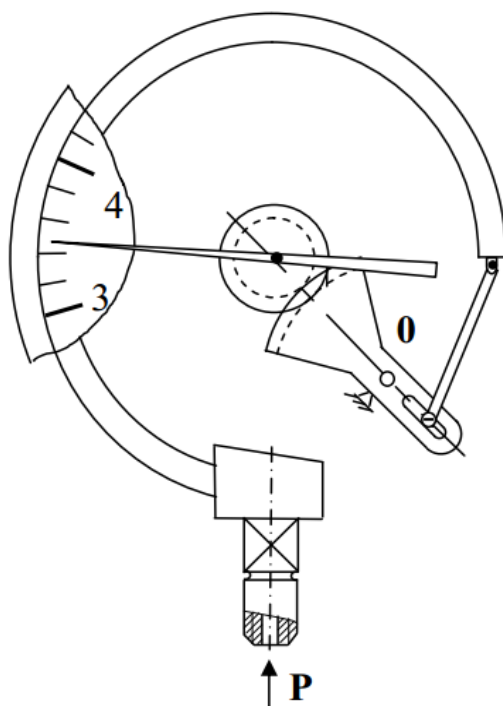


Рис. 1.18. Конструкция манометра с одновитковой трубчатой пружиной

Поверкой технических манометров называют совокупность операций, выполняемых с целью оценки их погрешностей и вариации. Перед поверкой производят внешний осмотр манометра, чтобы убедиться в отсутствии неисправностей, препятствующих применению поверяемого манометра. Стрелка манометра в рабочем положении и при отсутствии давления не должна отклоняться от нулевой отметки более чем на 0,5 деления шкалы.

Технические манометры поверяют путем сравнения их показаний с показаниями приборов более высокого класса точности. Верхний предел измерения эталонного манометра должен быть на $1/3$ больше верхнего предела измерения поверяемого манометра, а значение допускаемой погрешности эталонного манометра – в 4 раза меньше значения допускаемой погрешности поверяемого манометра. Количество проверяемых отметок должно составлять: для манометров классов точности 1,5 и 2,5 – не менее 5; для манометров класса точности ниже 2,5 – не менее 3 [5, 11].

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает поверяемый манометр типа МП-4У и эталонный грузопоршневой манометр (ГПМ) типа МП-60. Схема поверочной установки приведена на рис. 1.19.

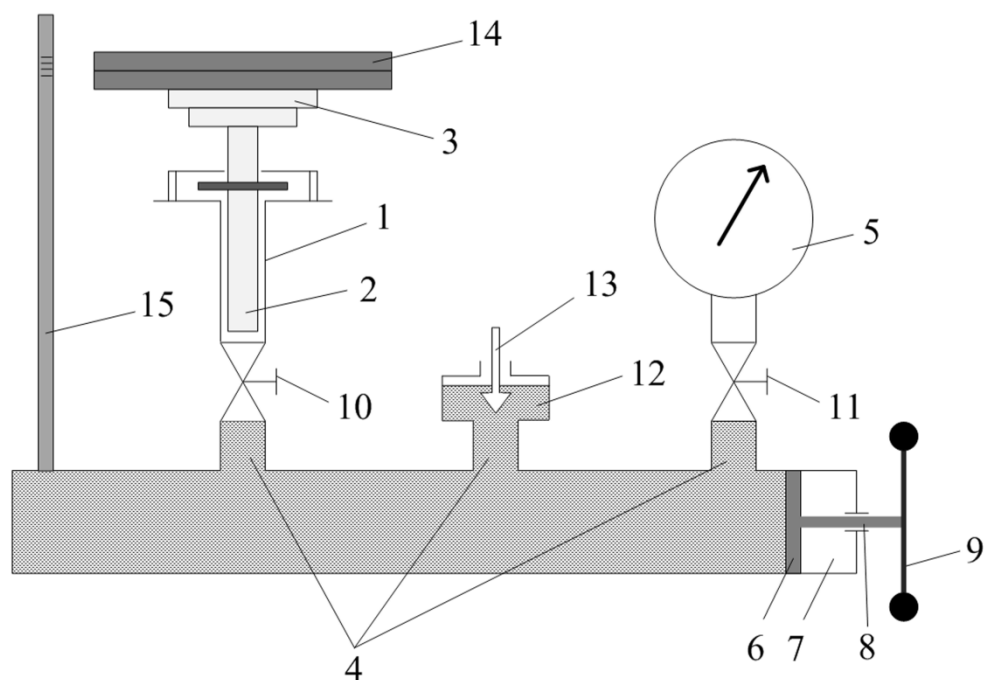


Рис. 1.19. Схема поверочной установки:

1 – полый цилиндр; 2 – поршень; 3 – грузоприемная тарелка; 4 – каналы;
 5 – поверяемый прибор; 6 – поршень; 7 – цилиндр; 8 – винт; 9 – рукоятка;
 10, 11 – вентили; 12 – емкость; 13 – игольчатый вентиль; 14 – грузы; 15 – стойка

ГПМ включает колонку и гидравлический винтовой пресс, конструктивно объединенные в одном корпусе. В состав ГПМ входит набор калиброванных грузов, который обеспечивает давление, равное верхнему пределу измерения.

Грузовая колонка содержит полый цилиндр 1, заполненный рабочей жидкостью. Внутри цилиндра находится поршень 2 с грузоприемной тарелкой 3. Внутренняя полость цилиндра соединена каналами 4 с поверяемым прибором 5 и гидравлическим прессом 6 в цилиндре 7 и винтом 8 с рукояткой 9, при вращении которой поршень перемещается в цилиндре. Каналы 4 могут перекрываться вентилями 10 и 11. Для заполнения гидравлической системы ГПМ рабочей жидкостью предусмотрена емкость 12 с игольчатым вентилем 13. К грузопоршневому манометру можно подключить поверяемый манометр 5. При измерении давления, создаваемого гидравлическим прессом при вращении рукоятки, на грузоприемную тарелку помещают грузы 14 в таком количестве, которое обеспечивает состояние равновесия поршня грузопоршневого манометра. О достижении положения равновесия судят по совпадению рисок на стойке 15 и на ребре грузоприемной тарелки 3. Верхний предел измерения ГПМ типа МП-60 составляет 60 кгс/см^2 (6 МПа), номинальное значение площади сечения поршня $0,5 \text{ см}^2$, предел допускаемой основной относительной погрешности составляет 0,02 %.

Порядок выполнения работы

1. Открыть вентиль грузопоршневой колонки 10, вентиль поверяемого манометра 11, вентиль емкости с рабочей жидкостью 13. При этом давление в гидросистеме станет равным атмосферному.
2. Для удаления воздуха из системы ввести поршень 6 в цилиндр 7 до упора вращением рукоятки 9 по часовой стрелке.
3. Заполнить гидросистему рабочей жидкостью вращением рукоятки 9 против часовой стрелки до упора.
4. Закрыть вентиль емкости с рабочей жидкостью 13.
5. На грузоприемную тарелку 3 положить грузы 14 в таком количестве, чтобы суммарное давление грузов было численно равно давлению, соответствующему проверяемой отметке p_1 (значения давления грузов нанесены на их поверхность).
6. Вращая рукоятку 9 гидравлического пресса по часовой стрелке, добиться подъема поршня 2 с грузами 14 до совпадения рисок, нанесенных на стойке 15 и на ребре грузоприемной тарелки 3.
7. Значение, соответствующее суммарному давлению грузов ГПМ, занести в первый столбец протокола поверки (приложение 4).
8. Показания поверяемого манометра занести во второй столбец протокола поверки.
9. Повторить пп. 5–9 для значений давления p_2 – p_6 (выполнить прямой ход).
10. Повторить пп. 5–9 для значений давления p_6 – p_1 (выполнить обратный ход).

Таблица 1.11

Варианты индивидуальных заданий

№ вар.	Проверяемые отметки шкалы					
	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6
1	0	5	10	15	20	25
2	1	4	7	10	13	16
3	2	4	6	8	10	12
4	2	6	10	14	18	22
5	4	6	8	10	12	14
6	6	8	10	12	14	16
7	5	8	11	14	17	20
8	4	7	15	18	20	24
9	2	6	10	14	18	22
10	3	5	7	9	11	13

11. После поверки, вращая рукоятку 9 гидравлического пресса против часовой стрелки, снизить давление до нуля.
12. Открыть вентиль 13 емкости с рабочей жидкостью 12.
13. Вытеснить рабочую жидкость в емкость 12, вращая рукоятку 9 до упора по часовой стрелке [11].

Порядок обработки результатов экспериментов

1. Определить основную абсолютную погрешность прямого хода поверяемого манометра для каждой проверяемой отметки по формуле

$$\Delta_{п.х} = P_{п.х} - P_0, \quad (1.17)$$

где $P_{п.х}$ – показания поверяемого манометра (прямой ход), кгс/см² (МПа); P_0 – показания грузопоршневого манометра, кгс/см² (МПа).

2. Определить основную абсолютную погрешность обратного хода поверяемого манометра для каждой проверяемой отметки по формуле

$$\Delta_{о.х} = P_{о.х} - P_0, \quad (1.18)$$

где $P_{о.х}$ – показания поверяемого манометра (обратный ход), кгс/см² (МПа).

3. Определить основную приведенную погрешность для каждой проверяемой отметки шкалы для прямого и обратного хода по формулам

$$\gamma_{п.х} = \frac{\Delta_{п.х}}{P_k - P_n} \cdot 100, \quad (1.19)$$

$$\gamma_{о.х} = \frac{\Delta_{о.х}}{P_k - P_n} \cdot 100, \quad (1.20)$$

где P_k, P_n – конечное и начальное значения шкалы поверяемого манометра соответственно, кгс/см² (МПа).

4. Определить вариацию показаний прибора по формуле

$$V = |P_{п.х} - P_{о.х}|. \quad (1.21)$$

5. Определить приведенную вариацию показаний прибора по формуле

$$W = \frac{V}{P_k - P_n} \cdot 100. \quad (1.22)$$

6. Определить допускаемые значения основной приведенной погрешности и приведенной вариации:

$$\gamma_{доп} = W_{доп} = K,$$

где K – класс точности поверяемого манометра, %.

7. Сравнить наибольшие значения основной приведенной погрешности и приведенной вариации с допускаемыми значениями, сделать

вывод о пригодности поверяемого прибора к измерениям. Прибор считается годным, если выполняются неравенства:

$$\gamma_{\max} \leq \gamma_{\text{доп}} \quad (1.23)$$

$$W_{\max} \leq W_{\text{доп}} \quad (1.24)$$

8. В одной системе координат построить следующие графики:

- зависимости значений давления, соответствующих проверяемым отметкам шкалы, от значений давления, соответствующих показаний ГПМ;
- зависимости значений давления, соответствующих показаниям поверяемого манометра при обратном ходе, от значений давлений, соответствующих показаний ГПМ;
- зависимости значений давления, соответствующих показаниям поверяемого манометра при обратном ходе, от значений давлений, соответствующих показаний ГПМ.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) теоретические сведения о принципе работы деформационных манометров и методике их поверки;
- 2) описание лабораторной установки;
- 3) порядок выполнения работы;
- 4) порядок обработки экспериментальных данных;
- 5) графики искомых зависимостей;
- 6) протокол поверки;
- 7) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы деформационных манометров с одновитковой трубчатой пружиной.
2. Каким образом выбирается эталонный манометр для поверки технического манометра?
3. Определите тип погрешности поверяемого манометра.
4. Какие метрологические характеристики определяются в ходе поверки прибора?
5. Назовите наименьшее число проверяемых отметок при поверке технического манометра класса точности 1,5.

Лабораторная работа № 7

Исследование метрологических характеристик и поверка автоматических приборов с мостовой измерительной схемой

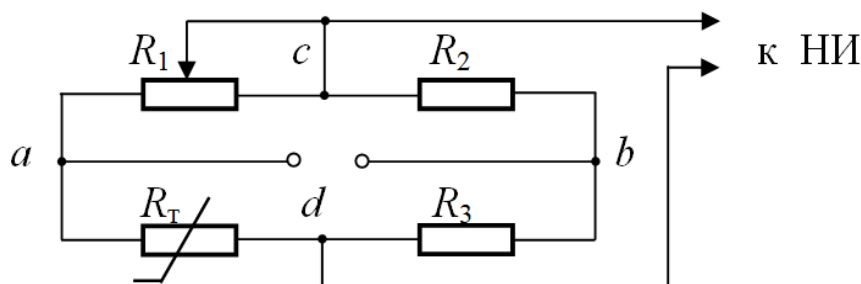
Цель работы заключается в изучении автоматических приборов для измерения температуры работающих в комплекте со стандартными термопреобразователями сопротивления; изучении эталонных средств, применяемых для поверки автоматических приборов с мостовой измерительной схемой; получении практических навыков выполнения поверки.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение принципа действия автоматических приборов с измерительной схемой;
- изучение методики поверки;
- определение метрологических характеристик автоматических приборов с измерительной схемой;
- проведение поверки автоматических приборов с измерительной схемой.

Принцип работы приборов с мостовой измерительной схемой

Автоматические приборы с мостовой измерительной схемой используются для измерения температуры в комплекте с термопреобразователями сопротивления (ТПС). В таких приборах используется нулевой метод измерения сопротивления, реализованный с помощью уравновешенного четырехплечевого моста (рис. 1.20).



*Рис. 1.20. Схема четырехплечевого уравновешенного моста:
 R_T – термопреобразователь сопротивления; R_2, R_3 – постоянные плечи моста; R_1 – реохорд; $a-d$ – вершины моста; НИ – нуль-индикатор*

Измерительная схема представляет собой цепь из последовательно включенных термопреобразователя сопротивления R_T , переменного резистора R_1 и постоянных резисторов R_2, R_3 . Точки a, b, c и d называют

вершинами моста, а электрические цепи между вершинами $a-d$, $d-b$, $b-c$ и $c-a$ – плечами моста. В электрическую цепь между вершинами a и b включен источник питания, эта цепь называется диагональю питания. В электрическую цепь между вершинами c и d включается нуль-индикатор (НИ), эта цепь называется измерительной диагональю.

Состояние равновесия моста характеризуется отсутствием тока в измерительной диагонали. Этому состоянию соответствует равенство произведений сопротивлений противоположных плеч моста:

$$R_1 \cdot R_3 = R_T \cdot R_2. \quad (1.25)$$

При изменении сопротивления R_T вследствие изменения температуры равновесие моста, характеризуемое равенством (1.25), будет нарушено, и НИ будет показывать наличие тока в измерительной цепи моста. Равновесие моста может быть восстановлено изменением сопротивления R_1 . При этом сопротивление R_T ТПС может быть определено из соотношения

$$R_T = R_1 \cdot \frac{R_3}{R_2}. \quad (1.26)$$

В автоматических приборах изменение сопротивления R_1 производится не вручную, а автоматически с помощью следящей системы [11].

При поверке прибора выполняются следующие операции: внешний осмотр, проверка электрической прочности изоляции и определение электрического сопротивления изоляции, определение соответствия времени прохождения указателем всей шкалы, определение соответствия основной погрешности и вариации показаний прибора допускаемым значениям, проверка качества записи, проверка отклонения скорости движения диаграммных лент и др. При поверке моста в качестве меры сопротивлений используются магазины сопротивлений. Соответствие основной погрешности и вариации допускаемым значениям определяют не менее чем на пяти отметках шкалы, интервал между которыми не должен превышать 30 % длины шкалы [12].

Описание лабораторной установки

В лабораторной работе выполняется поверка регистрирующего измерительного прибора типа А100-Н. Прибор имеет три канала измерения и регистрации: первый и второй каналы предназначены для измерения температуры в комплекте с ТПС с номинальной статической характеристикой 50 М, третий канал предназначен для измерения расхода. В качестве меры сопротивления используется магазин сопротивлений типа Р4831. Схема подключения меры сопротивления к измерительному прибору показана на рис. 1.21.

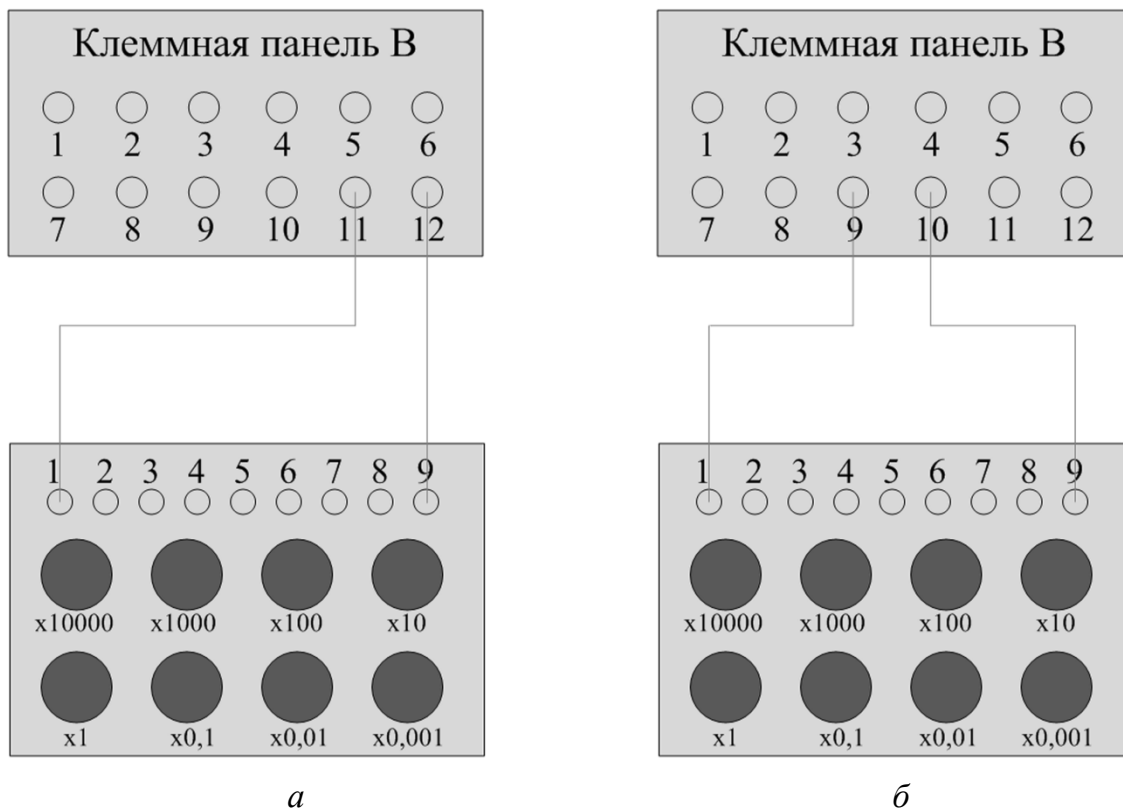


Рис. 1.21. Схема лабораторной установки:

а – схема подключения для поверки первого измерительного канала; *б* – схема подключения для поверки 1 измерительного канала

Предел допускаемой основной погрешности прибора типа А100-Н составляет $\pm 0,5\%$ от нормирующего значения, класс точности магазина сопротивления составляет $0,02/2 \cdot 10^{-6}$ [8].

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему поверочной установки, приведенной на рис. 1.21.
2. Включить тумблеры «Сеть» и «А100».
3. В протокол поверки (приложение 3) в первый столбец занести значения температуры, соответствующие проверяемым отметкам шкалы (см. табл. 1.12).
4. В протокол поверки (приложение 3) во второй столбец занести значения сопротивлений, соответствующие проверяемым отметкам шкалы.
5. С помощью галетных переключателей магазина сопротивлений увеличивать подаваемое сопротивление к поверяемому прибору так, чтобы стрелка прибора устанавливалась на отметке шкалы $t_i, ^\circ\text{C}$ (см. табл. 1.12).

6. Значения сопротивлений, соответствующие отметкам t_i , определенные в ходе эксперимента, заносятся в протокол поверки (при увеличении показаний выполняется прямой ход, при уменьшении – обратный ход).

7. С помощью магазина сопротивления установить стрелку-указатель поверяемого прибора на отметку $0\text{ }^\circ\text{C}$.

8. Подать сопротивление, соответствующее верхнему пределу измерения прибора, определить время прохождения стрелкой всей шкалы.

Таблица 1.12

Варианты индивидуальных заданий

№ варианта	Проверяемые отметки шкалы					
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
1	0	40	80	120	160	180
2	0	20	40	60	80	100
3	0	15	30	45	60	75
4	0	25	50	75	100	125
5	0	10	20	30	40	50
6	0	30	60	90	120	150
7	0	35	70	105	140	180
8	0	20	30	50	60	80
9	0	15	25	35	45	65
10	0	25	45	65	85	105

Порядок обработки экспериментальных данных

1. Определить абсолютную погрешность показаний прибора прямого хода

$$\Delta_{п.х} = R_{п.х} - R_0, \quad (1.27)$$

где $R_{п.х}$ – значения сопротивления, соответствующие проверяемым отметкам шкалы, определенные при прямом ходе, Ом; R_0 – значения сопротивления, соответствующие проверяемым отметкам шкалы, определенные по НСХ, Ом.

2. Определить абсолютную погрешность показаний прибора прямого хода

$$\Delta_{п.х} = R_{о.х} - R_0, \quad (1.28)$$

где $R_{о.х}$ – значения сопротивления, соответствующие проверяемым отметкам шкалы, определенные при обратном ходе, Ом.

3. Определить вариацию показаний прибора по формуле

$$V = |R_{п.х} - R_{о.х}|. \quad (1.29)$$

4. Определить значение допускаемой основной абсолютной погрешности по формуле

$$\Delta_{доп} = \pm \gamma_{доп} \cdot \frac{R_{в.п} - R_{н.п}}{100}, \quad (1.30)$$

где $R_{в.п}$, $R_{н.п}$ – значения сопротивления, соответствующие верхнему и нижнему пределу измерения поверяемого прибора соответственно, Ом; $\gamma_{доп}$ – предел допускаемой основной приведенной погрешности.

5. Определить значение допускаемой вариации

$$V_{доп} = \pm 0,5 \cdot \gamma_{доп} \cdot \frac{R_{в.п} - R_{н.п}}{100}. \quad (1.31)$$

6. Сравнить наибольшие значения абсолютной погрешности и вариации с допускаемыми, сделать вывод о пригодности прибора к измерениям.

7. В одной системе координат построить графики:

- зависимость сопротивления (по НСХ) от значений температуры, соответствующих проверяемым отметкам шкалы ($R_0 = f(t)$);

- зависимость значений сопротивления, полученных с помощью калибратора при увеличении показаний, от значений температуры, соответствующих проверяемым отметкам шкалы ($R_{п.х} = f(t)$);

- зависимость значений сопротивления, полученных с помощью калибратора при уменьшении показаний, от значений температуры, соответствующих проверяемым отметкам шкалы ($R_{о.х} = f(t)$).

8. На графике показать вариацию прибора.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) описание принципа работы автоматических приборов с мостовой схемой и методики их поверки;
- 2) описание лабораторной установки;
- 3) порядок выполнения работы;
- 4) порядок обработки экспериментальных данных;
- 5) графики искомых зависимостей;
- 6) протокол поверки;
- 7) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы и задания

1. Какой метод измерения реализуется в мостовой измерительной схеме?
2. Запишите условие равновесия четырехплечевого моста.
3. Какие операции выполняются при поверке автоматического прибора с мостовой измерительной схемой?
4. Изобразите структурную схему лабораторной установки.

Лабораторная работа № 8

Исключение грубой погрешности из результата измерения давления

Цель работы заключается в знакомстве с принципами и методами измерения давления; получении практических навыков дистанционного измерения давления, методах исключения статической погрешности.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение дистанционного метода измерения давления;
- проведение дистанционного измерения давления;
- исключение грубых ошибок измерения.

Исключение грубой погрешности

Прежде чем исключать тот или иной результат из ряда результатов измерений, необходимо убедиться в том, что этот результат действительно представляет грубую ошибку, а не отклонение вследствие статистического разброса результатов измерений. Известно несколько методов определения грубых ошибок статистического ряда результатов измерений. Наиболее простым способом исключения грубых ошибок из статистического ряда результатов измерений является правило трех сигм: разброс случайных величин от среднего значения не должен превышать 3σ :

$$a_m = \bar{a} \pm 3\sigma, \quad (1.32)$$

где a_m – максимальное или минимальное значение статистического ряда; \bar{a} – среднее арифметическое статистического ряда; σ – среднеквадратичное отклонение.

Более достоверными являются методы, которые базируются на использовании доверительных интервалов.

Если имеется статистический ряд результатов измерений малой выборки (количество результатов измерений не превышает 20), подчиняющийся закону нормального распределения, то при наличии грубых ошибок критерии β_1 , β_2 их появления вычисляют по формулам:

$$\beta_1 = \frac{\alpha_{\max} - M_a}{\sigma \sqrt{(n-1)/n}},$$
$$\beta_2 = \frac{M_a - \alpha_{\min}}{\sigma \sqrt{(n-1)/n}},$$
(1.33)

где α_{\max} , α_{\min} – наибольшее и наименьшее значения из n измерений; M_a – математическое ожидание, определяемое по формуле (1.9).

В табл. 1.13 приведены максимальные значения критериев появления грубых ошибок β_{\max} в зависимости от доверительной вероятности, возникающие вследствие статистического разброса результатов измерений.

Если $\beta_1 > \beta_{\max}$, то значение a_{\max} следует исключить из статистического ряда результатов измерений как грубую ошибку.

Если $\beta_2 > \beta_{\max}$, то значение a_{\min} следует исключить из статистического ряда результатов измерений как грубую ошибку. После исключения вновь определяют величины M_a , σ , β_1 , β_2 для $(n - 1)$ измерений.

Таблица 1.13

Максимальные значения критерия β_{\max}

n	β_{\max} при P_d			n	β_{\max} при P_d		
	0,90	0,95	0,99		0,90	0,95	0,99
3	1,41	1,41	1,41	15	2,33	2,49	2,80
4	1,64	1,69	1,72	16	2,35	2,52	2,84
5	1,79	1,87	1,96	17	2,38	2,55	2,87
6	1,89	2,00	2,13	18	2,40	2,58	2,90
7	1,97	2,09	2,26	19	2,43	2,60	2,93
8	2,04	2,17	2,37	20	2,45	2,62	2,96
9	2,10	2,24	2,46	25	2,54	2,72	3,07
10	2,15	2,29	2,54	30	2,61	2,79	3,16
11	2,19	2,34	2,61	35	2,67	2,85	3,22
12	2,23	2,39	2,66	40	2,72	2,90	3,28
13	2,26	2,43	2,71	45	2,76	2,95	3,33
14	2,30	2,46	2,76	50	2,80	2,99	3,37

Второй из наиболее часто используемых методов определения наличия грубых ошибок основан на применении критерия Романовского. Этот метод также применим для малой выборки результатов измерений. Процесс выявления наличия грубых ошибок по критерию Романовского сводится к следующему. Задаются доверительной вероятностью P_d и по табл. 1.14 в зависимости от числа членов статистического ряда n находят величину q . Вычисляют предельно допустимую абсолютную ошибку $\varepsilon_{\text{пр}}$ результата отдельного измерения

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sigma \cdot q. \quad (1.34)$$

Оценкой действительного значения случайной физической величины A является значение \bar{a} . Если $a_{\max} - \bar{a} > \varepsilon_{\text{пр}}$, то результат измерения a_{\max} исключают из ряда как грубую ошибку. Если $\bar{a} - a_{\min} > \varepsilon_{\text{пр}}$, то результат измерения a_{\min} исключают из ряда как грубую ошибку. После исключения одной или двух грубых ошибок вновь находят величину q .

Таблица 1.14

Критерий наличия грубых ошибок q в малой выборке

n	q при P_d		
	0,90	0,95	0,99
2	15,56	38,97	77,96
3	4,97	8,04	11,46
4	3,56	5,08	6,53
5	3,04	4,10	5,04
6	2,78	3,64	4,36
7	2,62	3,36	3,96
8	2,51	3,18	3,71
9	2,43	3,05	3,54
10	2,37	2,96	3,41
12	2,29	2,83	3,23
14	2,24	2,74	3,15
16	2,20	2,68	3,04
18	2,17	2,64	3,00
20	2,15	2,60	2,93
∞	1,96	2,33	2,58

После исключения вычисляют предельно допустимую абсолютную ошибку результата отдельного измерения $\varepsilon_{пр} = \sigma \cdot q$ для нового числа членов статистического ряда n и сравнивают максимальные абсолютные погрешности $\Delta_{max} = a_{max} - \bar{a}$ и $\Delta_{min} = \bar{a} - a_{min}$ с величиной предельно допустимой абсолютной ошибки результата отдельного измерения $\varepsilon_{пр}$. Исключение грубых ошибок продолжают до тех пор, пока абсолютные погрешности Δ_{min} и Δ_{max} не станут меньше предельно допустимой абсолютной ошибки результата отдельного измерения $\varepsilon_{пр}$ [13].

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает в себя промышленный компьютер типа iROBO-5000-5081T, HART-модем типа Метран-681, преобразователь давления типа Rosemount 3051. Структурная схема лабораторной установки приведена на рис. 1.22.

Промышленный компьютер выполнен в металлическом корпусе, имеет сенсорный экран диагональю 15".

HART-модем типа Метран-681 предназначен для связи персонального компьютера с интеллектуальными устройствами (преобразователями температуры, давления и т. д.), поддерживающими HART-протокол передачи данных. Модем обеспечивает возможность настройки подключенных

HART-устройств, при этом не является средством измерений и не вносит дополнительной погрешности в аналоговый измерительный сигнал. Конструктивно HART-модем Метран-681 выполнен в пластмассовом корпусе для установки на DIN-рейку. Подключение модема к компьютеру осуществляется с помощью соединительного кабеля DB9F-DB9M.

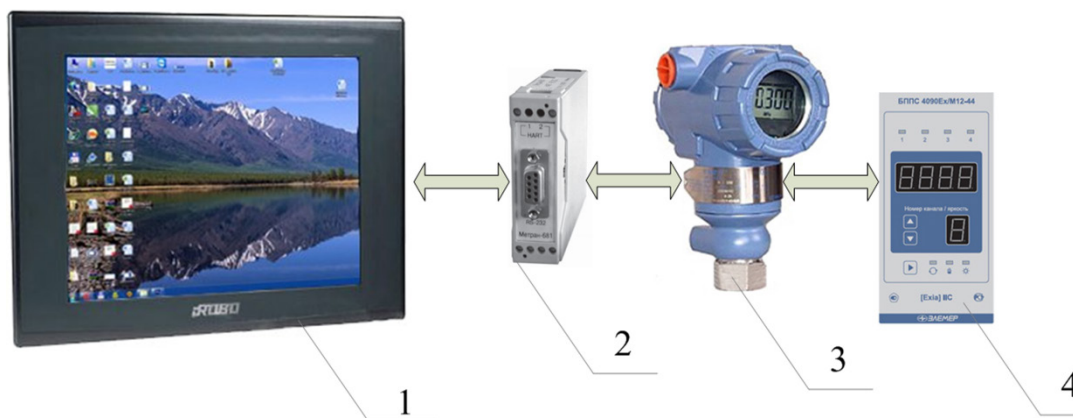


Рис. 1.22. Схема лабораторной установки:

*1 – промышленный компьютер; 2 – HART-модем; 3 – преобразователь давления;
4 – блок питания*

Преобразователь давления типа Rosemount 3051TG предназначен для измерения давления в диапазоне от 0 до 5520 кПа, имеет выходной токовый сигнал 4...20 мА на базе HART-протокола, питание датчика осуществляется от блока питания типа БППС 4090.

Порядок выполнения работы

1. Включить промышленный компьютер нажатием кнопки на верхней панели компьютера.
2. Включить блок питания БППС 4090/12М.
3. Запустить программу HART-Master (значок программы расположен на рабочем столе компьютера).
4. При появлении стартового окна программы HART-Master нажать кнопку «Опросить сеть», в левой части стартового окна появится список подключенных датчиков.
5. В списке выбрать преобразователь давления Rosemount 3051.
6. Перейти на вкладку «Информация о датчике», зафиксировать информацию в отчете по лабораторной работе.
7. Перейти на вкладку «Регистратор», а графе «Выбор устройств» отметить выбранный датчик.
8. Нажать кнопку «Периодический опрос», зафиксировать изменения давления и выходного сигнала датчика в течение 15 минут с интервалом опроса датчика 1 минута.

Порядок обработки экспериментальных данных

1. Для полученных совокупностей результатов измерений (давления и выходного сигнала датчика) определить математическое ожидание по формуле (1.9).

2. Для полученных совокупностей результатов измерений (давления и выходного сигнала датчика) определить дисперсию по формуле (1.10).

3. Для полученных совокупностей результатов измерений (давления и выходного сигнала датчика) определить среднеквадратическое отклонение по формуле (1.11).

4. Определить коэффициент асимметрии по формуле

$$A = \frac{1}{N-1} \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - M_x)^3}{\sigma_x^3}. \quad (1.35)$$

5. Определить коэффициент эксцесса по формуле

$$E = \frac{1}{N-1} \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - M_x)^4}{\sigma_x^4} - 3. \quad (1.36)$$

Сделать вывод о характере распределения. Для нормального распределения показатель эксцесса $E = 0$, а показатели асимметрии и эксцесса не превышают показатель среднеквадратического отклонения более чем в три раза.

6. Определить коэффициент вариации по формуле

$$V = \frac{\sigma_x}{M_x} \cdot 100 \%$$

7. Результаты расчетов занести в табл. 1.15.

8. Исключить грубые ошибки из результата измерения с помощью заданного метода (см. табл. 1.16).

Таблица 1.15

Результаты расчетов

Показатель	Давление	Токовый сигнал
Математическое ожидание		
Дисперсия		
Среднеквадратическое отклонение		
Коэффициент асимметрии		
Коэффициент эксцесса		
Коэффициент вариации		

Варианты индивидуальных заданий

№ варианта	Измеряемая величина	Метод исключения	Доверительный интервал
1	Давление	Критерии β	0,95
2	Давление	Ошибка $\varepsilon_{пр}$	0,99
3	Давление	Критерии β	0,99
4	Давление	Ошибка $\varepsilon_{пр}$	0,95
5	Давление	Критерии β	0,90
6	Токовый сигнал	Ошибка $\varepsilon_{пр}$	0,95
7	Токовый сигнал	Критерии β	0,99
8	Токовый сигнал	Ошибка $\varepsilon_{пр}$	0,99
9	Токовый сигнал	Критерии β	0,95
10	Токовый сигнал	Ошибка $\varepsilon_{пр}$	0,90

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) описание методов исключения грубых погрешностей;
- 2) описание лабораторной установки;
- 3) порядок выполнения работы;
- 4) порядок обработки экспериментальных данных;
- 5) таблицы, содержащие результаты экспериментов и расчетов;
- 6) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите значения показателей асимметрии и эксцесса, соответствующие нормальному распределению. Что характеризуют эти показатели?
2. Что называют доверительной вероятностью?
3. Для чего в лабораторной работе используется HART-модем?
4. Для чего результаты, содержащие грубую погрешность, исключают из результатов измерений?

Лабораторная работа № 9

Исследование статических характеристик термопреобразователей

Цель работы заключается в изучении статических характеристик термоэлектрических преобразователей и термопреобразователей сопротивления; изучении метода наименьших квадратов; получении практических навыков экспериментального определения статических характеристик.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение статических характеристик измерительных преобразователей;
- экспериментальное построение участка статической характеристики термопреобразователя;
- определение функциональной зависимости выходного сигнала термопреобразователя от значения температуры методом наименьших квадратов.

Статические характеристики измерительных преобразователей

Результат измерения физической величины Y есть функция измеряемой величины x и может быть записана в виде

$$Y(x) = m_y(x) + \dot{E}, \quad (1.37)$$

где $m_y(x) = M[Y(x)]$ – функция математического ожидания функции $Y(x)$; \dot{E} – центрированная составляющая.

Функция $m_y(x)$ называется статической характеристикой средства измерения.

Таким образом, статическая характеристика есть математическое ожидание результата измерения как функция измеряемой величины.

С другой стороны, правую часть выражения (1.37) можно записать в виде

$$Y(x) = x + E(x) = x + m_e(x) + \dot{E}, \quad (1.38)$$

где $m_e(x)$ – систематическая погрешность.

Приравняв правые части выражений (1.37) и (1.38), можно получить:

$$m_y(x) = x + m_e(x), \quad (1.39)$$

$$m_e(x) = m_y(x) - x. \quad (1.40)$$

Следовательно, статическая характеристика является важной метрологической характеристикой средства измерения. Она определяет систематическую погрешность результата измерения.

Из выражения (1.40) следует, что систематическая погрешность может отсутствовать только при условии $m_y(x) = x$, т. е. когда статическая характеристика представляет идеальную прямую, проходящую через начало координат под углом 45° . Графическое изображение такой статической характеристики показано на рис. 1.23 сплошной линией. Поэтому можно утверждать, что чем меньше систематическая погрешность результатов измерения в диапазоне измерения $[x_0, x_{01}]$, тем ближе статическая характеристика средства измерения, с использованием которого получены результаты, к идеальной прямолинейной характеристике.

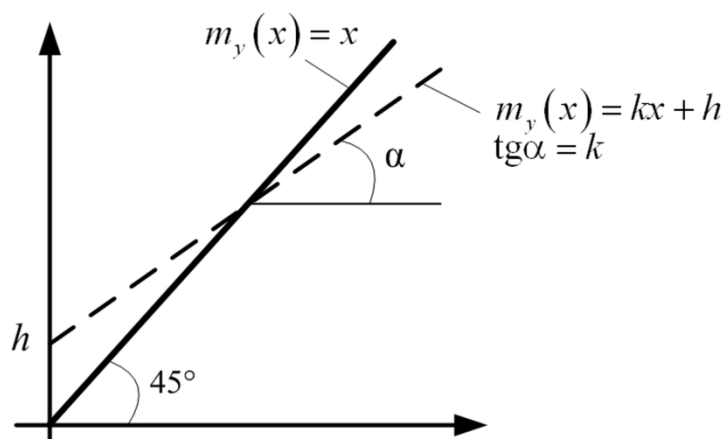


Рис. 1.23. Статические характеристики средств измерения

Так как измерительное средство не идеальным образом дает представление об измеряемой величине, а с некоторой погрешностью, результат измерения будет равен

$$y(x) = kx + m_h, \quad (1.41)$$

где m_h – постоянная составляющая.

Выражение (1.41) описывает линейную статическую характеристику средства измерения, k – коэффициент преобразования. Так как реализовать условия, при которых $k = 1$, $m_h = 0$, невозможно, то линейная статическая характеристика всегда отлична от идеальной. В этом случае ее называют пропорциональной. На рис. 1.23 график пропорциональной статической характеристики показан пунктирной линией [14].

Таким образом, статической характеристикой измерительного преобразователя называется функциональная зависимость выходного сигнала Y от входного X в статическом режиме работы преобразователя.

Статическим режимом работы измерительного преобразователя называется режим работы, при котором значение входного X и выходного Y сигналов не изменяются.

Для количественной оценки влияния входного сигнала измерительного устройства на выходной в произвольной точке статической характеристики служит предел отношения приращения ΔY выходного сигнала к приращению ΔX входного сигнала, когда $\Delta X \rightarrow 0$, т. е. производная в выбранной точке

$$S = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{dY}{dX}. \quad (1.42)$$

Применительно к измерительному преобразователю этот параметр называют чувствительностью прибора. Графически чувствительность определяется тангенсом угла наклона α касательной, проведенной к выбранной точке статической характеристики.

Под порогом чувствительности понимают наименьшее значение входного сигнала, которое вызывает уверенно фиксируемое изменение выходного сигнала.

Аппроксимация зависимости методом наименьших квадратов

Под эмпирической зависимостью понимается функциональная зависимость между входными и выходными величинами системы, которая наилучшим способом описывает взаимосвязь между полученными в результате эксперимента значениями входных и выходных величин.

Построение эмпирической зависимости производится в два этапа. На первом этапе выбираем вид функциональной зависимости, используя графики полученных экспериментальных данных. На втором этапе осуществляем подбор коэффициентов выбранной эмпирической зависимости, используя различные методы. Наиболее часто используется метод средних или метод наименьших квадратов.

При использовании метода наименьших квадратов минимизируется функционал

$$F = \sum_{i=1}^n (Y_{iЭ} - f(x_i))^2, \quad (1.43)$$

где n – число измерений; $Y_{iЭ}$ – экспериментальное значение выходного сигнала при заданном значении входного сигнала; $f(x_i)$ – значение выходного сигнала, рассчитанное по выбранной функциональной зависимости для заданного значения входного сигнала x_i .

Функционал F достигает минимального значения при условии обращения в нуль частных производных от функционала по параметрам функции:

$$\frac{\partial F}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial b} = 0 \text{ и т. д.}, \quad (1.44)$$

где a, b – неизвестные коэффициенты выбранной функциональной зависимости.

Соотношения (1.44) необходимо использовать для получения уравнений, из которых определяются неизвестные коэффициенты заданной функциональной зависимости.

Для определения линейной эмпирической зависимости типа $y = a + bx$ записывается функционал

$$F = \sum_{i=1}^n (y_{i\text{Э}} - y_{i\text{Т}})^2 \Rightarrow \min. \quad (1.45)$$

Если подставить в функционал теоретическую формулу $y_{i\text{Т}} = a + bx_i$, получится

$$F = \sum_{i=1}^n (y_{i\text{Э}} - (a + bx_i))^2 \Rightarrow \min. \quad (1.46)$$

Функционал достигает минимального значения при равенстве нулю частных производных от функционала по параметрам:

$$\frac{\partial F}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (y_{i\text{Э}} - (a + bx_i)) \cdot (-1) = 0, \quad (1.47)$$

$$\frac{\partial F}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (y_{i\text{Э}} - (a + bx_i)) \cdot (-x_i) = 0.$$

Выражения (1.47) в виде системы уравнений для определения коэффициентов a, b :

$$\begin{cases} -\sum_{i=1}^n y_{i\text{Э}} + \sum_{i=1}^n a + b \sum_{i=1}^n x_i = 0, \\ -\sum_{i=1}^n y_{i\text{Э}} x_i + a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 = 0. \end{cases} \quad (1.48)$$

После преобразования:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n y_{i\text{Э}} = \sum_{i=1}^n a + b \sum_{i=1}^n x_i, \\ \sum_{i=1}^n y_{i\text{Э}} x_i = a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2. \end{cases} \quad (1.49)$$

Решение системы уравнений (1.49) относительно a, b :

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_{i\Theta} x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n y_{i\Theta} \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2}{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i - n \sum_{i=1}^n x_i^2}, \quad (1.50)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_{i\Theta} - na}{\sum_{i=1}^n x_i}. \quad (1.51)$$

Описание лабораторной установки

Экспериментальное определение статических характеристик измерительных преобразователей температуры производится с помощью лабораторной установки, включающей в себя калибратор температуры типа КТ-650, калибратор типа ИКСУ-260L, измерительный преобразователь температуры. Описание лабораторной установки дано в п. 1.3.

Порядок выполнения работы

1. Поместить термопреобразователь в отверстие термостатирующего блока.
2. Подключить термопреобразователь с помощью соответствующего кабеля к разъему «Измерение» измерителя-калибратора ИКСУ-260L.
3. Включить калибратор ИКСУ-260L, нажав кнопку 5 (рис. 1.7).
4. Нажать кнопку 8 для входа в Главное меню.
5. В Главном меню войти в режим Измерения, выбрать Сопротивление для работы с термопреобразователями сопротивления или Напряжение для работы с термоэлектрическими преобразователями и нажать кнопку 7. Прибор перейдет в режим измерения сигнала от преобразователя.
6. Включить переключатель «Сеть» на передней панели калибратора.
7. С помощью кнопок для изменения уставок на передней панели калибратора установить значение температуры t_1 (см. табл. 1.18).
8. После установления температуры измерить выходное значение сопротивления/напряжения, занести измеренное значение в табл. 1.17. Повторить пп. 7–8 для других значений температуры (см. табл. 1.18).

Таблица 1.17

Экспериментальные и расчетные данные

№ эксп.	Температура, °С	Сопротивление, Ом (ТЭДС, мВ)	Коэффициент преобразования, k	Чувствительность преобразователя, S
1				
...				
10				

Таблица 1.18

Варианты индивидуальных заданий

№ вар.	Измеряемая температура, °С									
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}
1	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100
2	51	61	71	81	91	101	111	121	131	141
3	52	57	62	67	72	77	82	87	92	97
4	53	58	63	68	73	78	83	88	93	98
5	54	59	64	69	74	79	84	89	94	99
6	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101
7	57	67	77	87	97	107	117	127	137	147
8	59	69	79	89	99	109	119	129	139	149
9	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
10	50	57	64	71	78	85	92	97	104	111

Обработка результатов эксперимента

1. По полученным экспериментальным данным, используя выражения (1.41) и (1.42), вычислить коэффициент преобразования и чувствительность преобразователя, занести полученные значения в табл. 1.17.

2. По данным табл. 1.17 определить тип зависимости выходного сигнала термопреобразователя от измеряемой температуры.

3. С помощью метода наименьших квадратов определить коэффициенты функциональной зависимости выходного сигнала a , b от входного, записать полученную функцию.

4. Построить график полученной с помощью метода наименьших квадратов статической характеристики преобразователя, отметить полученные экспериментальные точки.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1) теоретические сведения о статических характеристиках измерительных преобразователей;

- 2) описание лабораторной установки;
- 3) порядок проведения лабораторной работы;
- 4) таблицы с полученными экспериментальными и расчетными данными;
- 5) порядок определения статической характеристики методом наименьших квадратов;
- 6) график полученной статической характеристики с отмеченными экспериментальными точками;
- 7) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы и задания

1. Охарактеризуйте номинальную и реальную статические характеристики термопреобразователя.
2. Какая погрешность уменьшается, если статическая характеристика измерительного устройства ближе к идеальной прямолинейной?
3. В чем заключается метод наименьших квадратов?
4. В каких единицах измеряются величины: чувствительность и коэффициент передачи термоэлектрического преобразователя и преобразователя сопротивления?
5. Чему равен постоянный коэффициент h для преобразователей с НСХ 50М, 1П, ХА(К), ПП(S)?

Лабораторная работа № 10

Исследование влияния внешнего сопротивления на показания пирометрического милливольтметра

Цель работы заключается в изучении принципа действия и устройства пирометрических милливольтметров, предназначенных для измерения температуры в комплекте с термоэлектрическими преобразователями.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение устройства и принципа действия пирометрических милливольтметров;
- определение влияния величины внешнего сопротивления на показания милливольтметра.

Пирометрические милливольтметры

Пирометрические милливольтметры предназначены для измерения температуры в комплекте с термоэлектрическими преобразователями стандартных НСХ. Пирометрические милливольтметры относятся к приборам с магнитоэлектрической системой, т. е. принцип их действия основан на взаимодействии неподвижного постоянного магнита и постоянного тока, протекающего через обмотку подвижной рамки.

Устройство пирометрического милливольтметра показано на рис. 1.24. Проводник в форме прямоугольной рамки 1 находится в радиальном поле постоянного магнита 2 , помещенного в кольцо из магнитомягкой стали 3 для создания радиального магнитного поля. При прохождении тока I , вызванного выходным сигналом ТЭП – ТЭДС $E(t, t_0)$, через рамку возникает магнитное поле, перпендикулярное полю постоянного магнита. В результате взаимодействия магнитных полей образуется вращающий момент

$$M_{\text{вр}} = \omega \cdot b \cdot l \cdot B \cdot I = \psi \cdot I, \quad (1.52)$$

где ω – число витков в рамке; b – ширина рамки, м; l – длина рамки, м; B – магнитная индукция, Тл; I – сила тока, протекающего по рамке, А; ψ – потокосцепление рамки.

Подвижная часть милливольтметра будет находиться в равновесии, если вращающий момент будет равен создаваемому пружинами 4 (рис. 1.24) противодействующему моменту:

$$M_{\text{вр}} = M_{\text{пр}}. \quad (1.53)$$

Противодействующий момент определяется выражением

$$M_{\text{пр}} = k \cdot \alpha, \quad (1.54)$$

где k – удельный противодействующий момент; α – угол поворота подвижной части механизма.

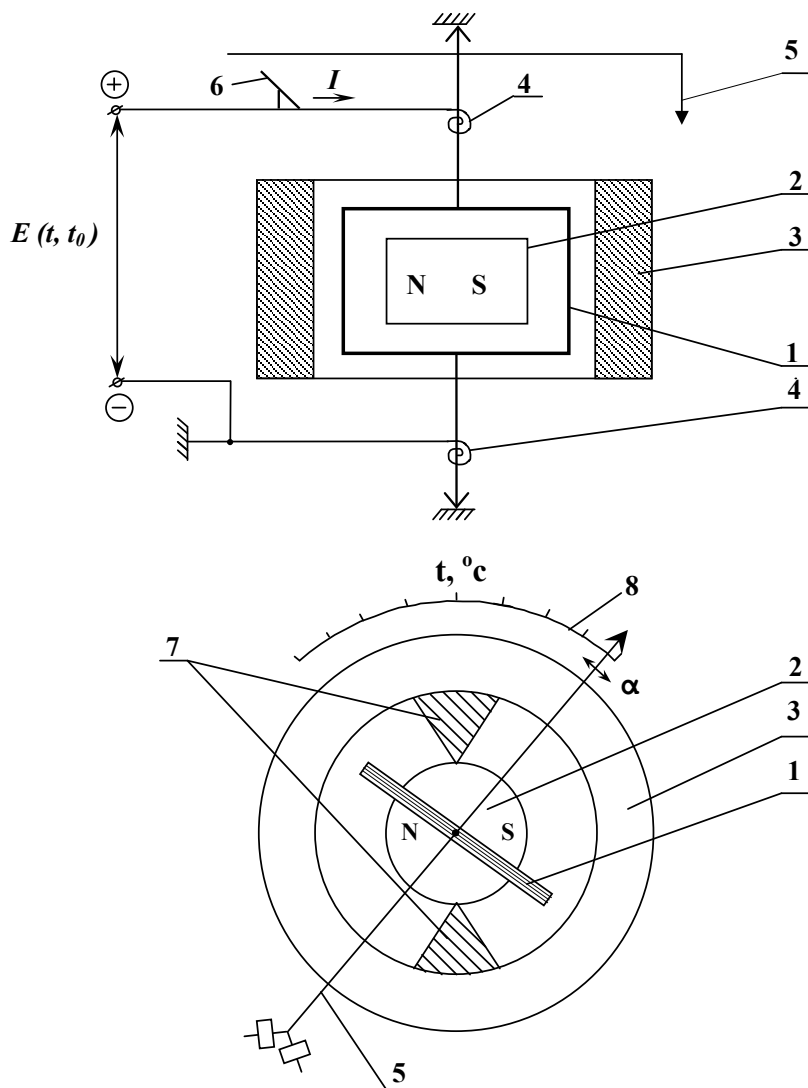


Рис. 1.24. Устройство пирометрического милливольтметра:
 1 – рамка; 2 – постоянный магнит; 3 – неподвижное кольцо;
 4 – противодействующие пружины; 5 – стрелка; 6 – корректор;
 7 – держатели; 8 – шкала

Подставив выражения (1.52) и (1.54) в уравнение (1.53), получим условие равновесия

$$\psi \cdot I = k \cdot \alpha. \quad (1.55)$$

Из условия (1.55) зависимость между углом поворота подвижной части и током, протекающим через обмотку рамки:

$$\alpha = \frac{\Psi}{k} \cdot I = S \cdot I, \quad (1.56)$$

где S – чувствительность измерительного механизма к току.

На рис. 1.25 приведена схема подключения ТЭП к пирометрическому милливольтметру.

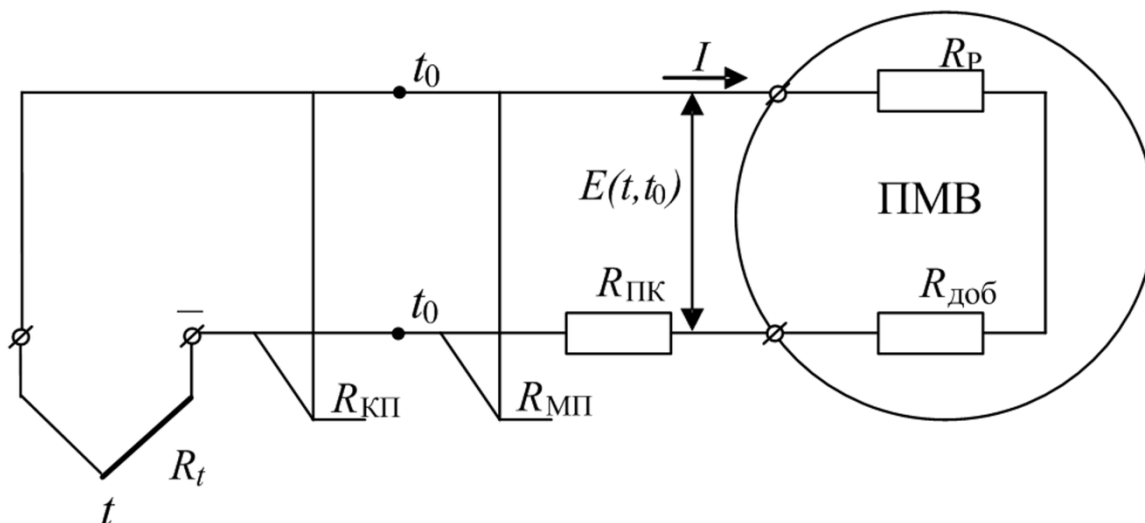


Рисунок 1.25. Устройство пирометрического милливольтметра:
 t – измеряемая температура; t_0 – температура свободных концов;
 R_t – сопротивление ТЭП; $R_{кп}$ – сопротивление компенсационных проводов;
 $R_{мп}$ – сопротивление медных проводов; $R_{пк}$ – сопротивление подгоночной катушки;
 R_p – сопротивление рамки; $R_{доб}$ – добавочное сопротивление;
 ПМВ – пирометрический милливольтметр

Величина тока (рис. 1.25), протекающего через рамку, определяется выражением

$$I = \frac{E(t, t_0)}{R_t + R_{кп} + R_{мп} + R_{пк} + R_{м}}, \quad (1.57)$$

где $E(t, t_0)$ – ЭДС термопары, мВ; R_t – сопротивление термопары, Ом; $R_{кп}$ – сопротивление компенсационных проводов, Ом; $R_{мп}$ – сопротивление медных проводов, Ом; $R_{пк}$ – сопротивление подгоночной катушки, Ом; R_p – сопротивления рамки, Ом; $R_{доб}$ – добавочное сопротивление, Ом.

Пирометрические милливольтметры градуируются на определенное внешнее сопротивление цепи $R_{вн}$, значение которого указывается на шкале прибора. В большинстве случаев внешнее сопротивление прибора равно 5 Ом. На шкале указываются также: тип, НСХ термоэлектрического преобразователя, класс точности, система прибора (магнитоэлектрический, электромагнитный и т. п.), рабочее положение прибора для вертикальной или горизонтальной установки, заводской номер, год выпуска и марка завода-изготовителя [13].

Порядок выполнения работы

Для определения основной погрешности прибора собрать электрическую схему, представленную на рис. 1.26, а.

1. Соединить перемычкой контакты 1 и 2.

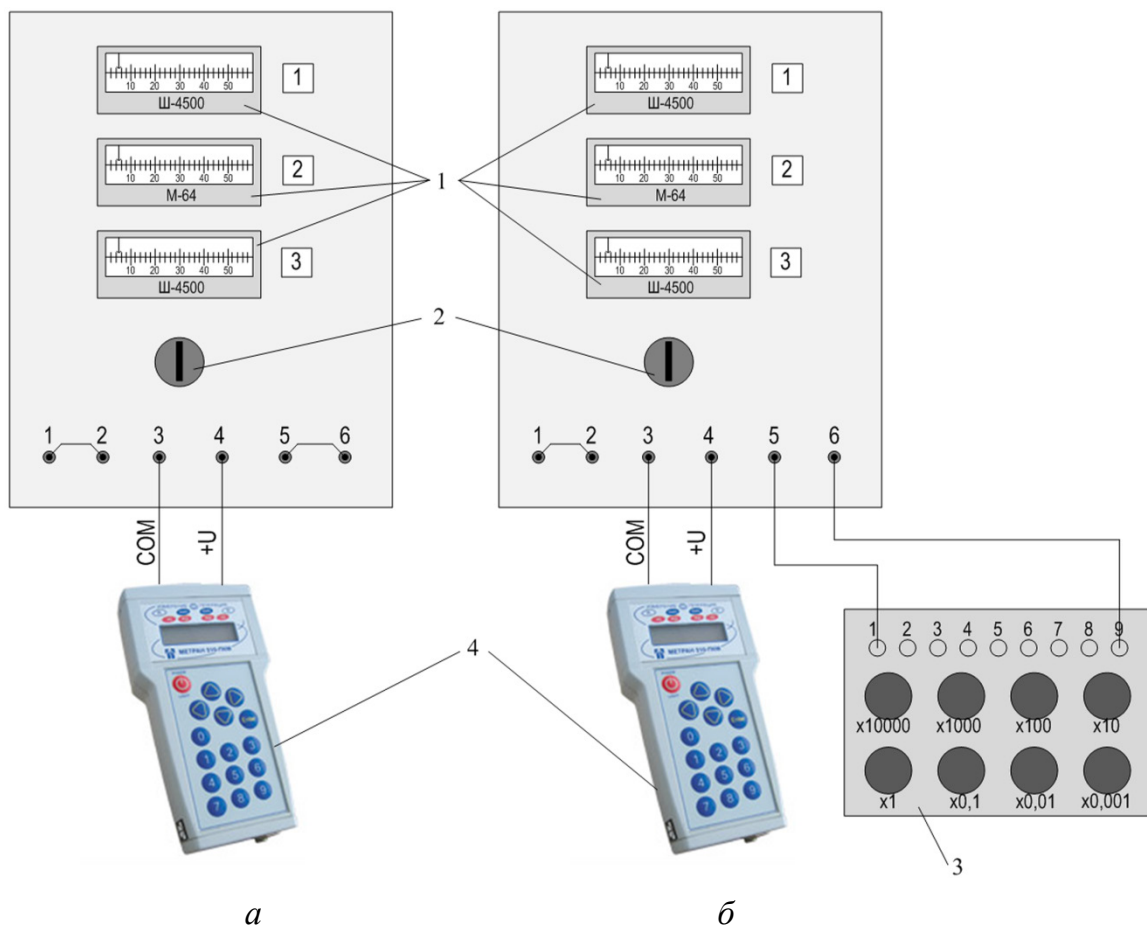


Рис. 1.26. Схема лабораторной установки:

а – для определения основной погрешности милливольтметра;

б – для исследования влияния величины внешнего сопротивления;

1 – пирометрические милливольтметры; 2 – переключатель;

3 – магазин сопротивления; 4 – калибратор

2. Соединить перемычкой контакты 5 и 6.

3. Подключить контакт СОМ калибратора 4 (режим «Генерация») к контакту 3.

4. Подключить контакт +U калибратора 4 (режим «Генерация») к контакту 4.

5. В первый столбец табл. 1.19 занести значения отметок шкалы, соответствующие заданным значениям температуры (см. табл. 1.20).

6. Определить НСХ пирометрического милливольтметра.

7. Во второй столбец табл. 1.19 занести значения ТЭДС, соответствующие значениям температуры (определяется по таблицам НСХ).

8. Включить калибратор нажатием кнопки 5 (рис. 1.3).

9. С помощью кнопок 1 и 3 (рис. 1.3) выбрать пункт меню Генерация, нажать кнопку 4.

10. В меню с помощью кнопок 1 и 3 (рис. 1.3) выбрать пункт Напряжение (мВ).

11. В меню с помощью кнопок 7 (рис. 1.3) задать значение ТЭДС, соответствующее первой отметке прибора, нажать кнопку 4, выбрать пункт Постоянное, нажать кнопку 4.

12. Корректируя значение подаваемого напряжения, установить стрелку пирометрического милливольтметра на первую отметку шкалы. При этом значение подаваемого напряжения занести в третий столбец табл. 1.19.

13. Повторить пп. 1.9–1.12 для всех заданных значений температуры (табл. 1.20).

Таблица 1.19

Экспериментальные и расчетные данные

Отметки шкалы прибора	Значение входного сигнала (по НСХ)	Отсчет по рабочему эталону		Абсолютная погрешность прибора		Вариация показаний прибора
		Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	
$R=R_{ВН} + \Delta R_1$						
1						
...						
$R=R_{ВН} + \Delta R_2$						
1						
...						
$R=R_{ВН} + \Delta R_3$						
1						
...						

Для определения влияния величины внешнего сопротивления на показания прибора собрать электрическую схему, представленную на рис. 1.26, б.

1. Подключить контакт 1 магазина сопротивления к контакту 5.

2. Подключить контакт 9 магазина сопротивления к контакту 6.

3. На магазине сопротивления установить значение сопротивления ΔR_1 , выполнить пп. 1.9–1.12 для всех заданных значений температуры (табл. 1.20).

4. Повторить п. 2.3 для значений сопротивления $\Delta R_2, \Delta R_3$.
5. Полученные данные занести в табл. 1.19.

Таблица 1.20

Варианты индивидуальных заданий

№ вар.	Проверяемые отметки шкалы, °С							Добавочное сопротивление, Ом		
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	ΔR_1	ΔR_2	ΔR_3
1	0	100	200	300	400	500	600	5	10	15
2	0	20	120	220	320	420	520			
3	0	40	140	240	340	440	540			
4	0	60	160	260	360	460	560			
5	0	80	180	280	380	480	580			
6	0	120	240	360	480	600	650			
7	0	40	100	160	220	280	340			
8	0	60	120	180	240	300	360			
9	0	80	160	240	320	400	480			
10	0	100	150	200	250	300	350			

Порядок обработки экспериментальных данных

1. Определить абсолютную погрешность показаний прибора при прямом ходе для всех значений внешнего сопротивления по формуле

$$\Delta E_1 = E_0 - E_{п.х}, \quad (1.58)$$

где $E_{п.х}$ – значения ТЭДС, полученные при прямом ходе, мВ.

2. Определить абсолютную погрешность показаний прибора при прямом ходе для всех значений внешнего сопротивления по формуле

$$\Delta E_2 = E_0 - E_{о.х}, \quad (1.59)$$

где $E_{о.х}$ – значения ТЭДС, полученные при обратном ходе, мВ.

3. Определить вариацию показаний прибора по формуле

$$V = E_{п.х} - E_{о.х}. \quad (1.60)$$

4. В одной системе координат построить графики:

- зависимость ТЭДС (по НСХ) от значений температуры, соответствующих проверяемым отметкам шкалы ($E_0 = f(t)$);

- зависимость значений ТЭДС, полученных с помощью калибратора при увеличении показаний от значений температуры, соответствующих проверяемым отметкам шкалы ($E_{п.х} = f(t)$);

- зависимость значений ТЭДС, полученных с помощью калибратора при уменьшении показаний от значений температуры, соответствующих проверяемым отметкам шкалы ($R_{о.х} = f(t)$).

5. В одной системе координат построить графики зависимостей абсолютной погрешности показаний прямого хода от значений температуры, соответствующих отметкам шкалы для всех значений внешнего сопротивления.

6. Сделать вывод о влиянии внешнего сопротивления на погрешность показаний пирометрического милливольтметра.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) описание принципа работы пирометрического милливольтметра;
- 2) описание лабораторной установки;
- 3) порядок выполнения работы;
- 4) порядок обработки экспериментальных данных;
- 5) таблицы, содержащие результаты экспериментов и расчетов;
- 6) графики искомых зависимостей;
- 7) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы и задания

1. Для чего используются пирометрические милливольтметры?
2. Каким образом осуществляется питание пирометрических милливольтметров?
3. Какие устройства используются для определения основной погрешности пирометрического милливольтметра?
4. Объясните назначение магазина сопротивления в эксперименте.
5. Почему изменение внешнего сопротивления оказывает влияние на показания пирометрического милливольтметра?

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Раздел «Практические работы» направлен на развитие у студента производственно-технологических и организационно-управленческих общих (унифицированных) компетенций:

- способность организовывать метрологическое обеспечение производства в предметной области;
- способность осуществлять подготовку к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
- способность выполнять работы по стандартизации и разрабатывать проектную документацию в соответствии с имеющимися регламентами, стандартами и техническими условиями.

В результате получения общих (унифицированных) компетенций студент будет:

- знать теоретические основы метрологии и стандартизации; виды испытаний; системы сертификации; принципы и цели стандартизации и технического регулирования; системы стандартов;
- уметь выбирать методики испытаний; осуществлять поиск стандартов; разбираться в классификации стандартов;
- владеть методами оценивания погрешностей и неопределенностей с применением современных информационных технологий; методами расчета метрологических характеристик средств измерений.

Практическая работа № 1

Определение метрологических характеристик средств измерений

Цель работы: развитие способности владеть основными приемами получения, обработки и представления данных измерений, испытаний и контроля; организовывать метрологическое обеспечение производства.

Теоретические сведения об основных метрологических характеристиках средств измерений

Погрешность является главным показателем точности измерения. В зависимости от формы представления погрешности разделяют на абсолютные, относительные и приведенные.

Абсолютной погрешностью называют разность между показанием прибора $X_{и}$ и действительным значением измеряемой величины $X_{д}$:

$$\pm \Delta = X_{и} - X_{д}. \quad (2.1)$$

Относительная погрешность представляет собой отношение абсолютной погрешности $\pm \Delta$ к значению измеряемой величины $X_{\text{И}}$ и выражается в процентах:

$$\delta = \frac{\pm \Delta}{X_{\text{И}}} \cdot 100 \%. \quad (2.2)$$

Приведенная погрешность – отношение абсолютной погрешности $\pm \Delta$ к диапазону измерения прибора, выражается в процентах:

$$\gamma = \frac{\pm \Delta}{X_{\text{К}} - X_{\text{Н}}} \cdot 100 \%, \quad (2.3)$$

где $X_{\text{К}}$, $X_{\text{Н}}$ – соответственно верхний и нижний пределы измерения прибора.

В зависимости от изменения значения измеряемой величины погрешности разделяют на аддитивную, мультипликативную и гистерезисную.

Мультипликативная погрешность увеличивается с увеличением значения измеряемой величины (рис. 2.1, *а*). Аддитивной называют погрешность, которая остается постоянной при любом значении измеряемой величины (рис. 2.1, *б*). Гистерезисной называют погрешность, выражающуюся в различии показаний средства измерений, полученных при увеличении и уменьшении значения измеряемой величины (рис. 2.1, *в*). Гистерезисная погрешность характеризуется показателем – вариацией показаний. Вариация – полученная экспериментально разность между показаниями измерительного прибора, соответствующими одному и тому же действительному значению измеряемой физической величины при двустороннем подходе к этому значению, т. е. при прямом и обратном ходе стрелки-указателя средства измерения в одинаковых условиях измерения.

По характеру возникновения погрешности средств измерения подразделяются на основные и дополнительные.

Основная погрешность – погрешность, которая наблюдается при нормальных условиях эксплуатации средства измерения.

Дополнительная погрешность – изменение погрешности средства измерения, вызванное отклонением одной из влияющих физических величин от нормального значения или выходом ее за пределы области нормальных значений.

Под ценой деления шкалы средства измерения понимают разность между значениями, которые соответствуют двум соседним отметкам шкалы. Цену деления шкалы ΔN средства измерения определяют по формуле

$$\Delta N = \frac{X_{\text{К}} - X_{\text{Н}}}{N}, \quad (2.4)$$

где N – число делений шкалы.

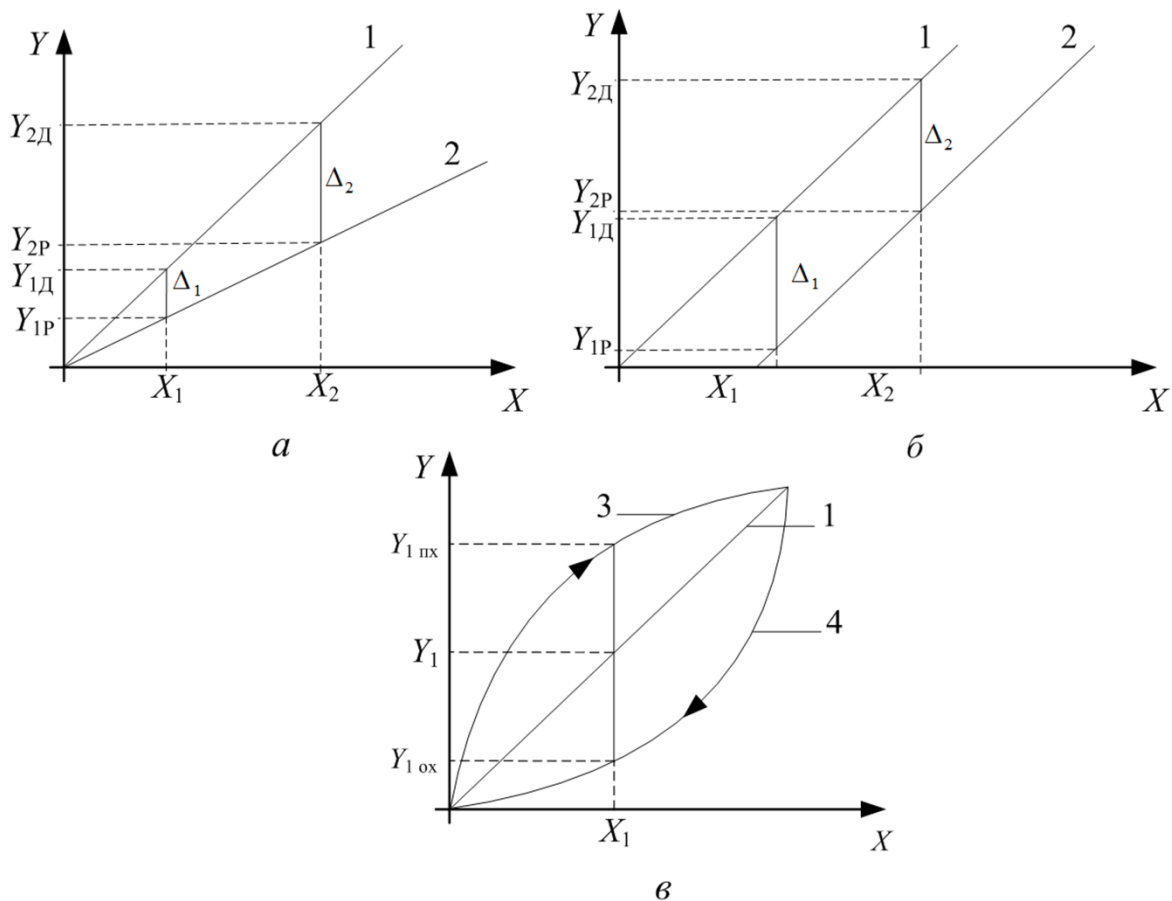


Рис. 2.1. Погрешности средств измерения:

а – мультипликативная погрешность; б – аддитивная погрешность; в – гистерезисная погрешность; 1 – градуировочная характеристика; 2 – реальная статическая характеристика; 3 – характеристика, полученная при увеличении значения измеряемой величины; 4 – характеристика, полученная при уменьшении значения измеряемой величины

Класс точности – обобщенная характеристика средства измерения, определяемая пределами допускаемой основной погрешности, отражающая уровень их точности при нормальных условиях эксплуатации. Уровень точности средства измерения может характеризоваться набором других нормируемых метрологических характеристик, связанных определенными соотношениями с классом точности, таких, как допускаемые дополнительные погрешности, допускаемые вариация и размах.

Для технических средств измерений класс точности чаще всего принимают равным пределу допускаемой основной приведенной погрешности $\gamma_{\text{доп}}$, выраженной в процентах:

$$K = \gamma_{\text{доп}} = \frac{\pm \Delta_{\text{доп}}}{X_N} \cdot 100 \%, \quad (2.5)$$

где $\Delta_{\text{доп}}$ – предел допускаемой основной абсолютной погрешности.

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности выражается в единицах измеряемой величины и определяется по формуле

$$\pm \Delta_{\text{доп}} = \frac{\pm \gamma_{\text{доп}} \cdot (X_{\text{к}} - X_{\text{н}})}{100}. \quad (2.6)$$

Предел допускаемой вариации $V_{\text{доп}}$ нормируется следующим образом:

$$V_{\text{доп}} = (0,5 \dots 1) \cdot |\Delta_{\text{доп}}|. \quad (2.7)$$

Поверка средств измерений – совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы с целью определения и подтверждения соответствия метрологических характеристик средств измерений установленным техническим требованиям.

Средство измерения считается годным к эксплуатации, если максимальные значения погрешности и вариации поверяемого средства измерения не превышают допускаемых значений:

$$\begin{aligned} |\Delta_{\text{max}}| &\leq |\Delta_{\text{доп}}|; \\ |V_{\text{max}}| &\leq |V_{\text{доп}}|. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Если хотя бы одно из условий (2.8) не выполняется, то измерительный прибор не годен для дальнейшей эксплуатации и передается в ремонт [14].

Индивидуальные задания

Задача 2.1

Предел допускаемой относительной погрешности измерительного прибора определяется выражением

$$\delta_{\text{доп}} = \pm \left[c + d \left(\frac{X_{\text{к}}}{X} - 1 \right) \right],$$

где c/d – класс точности средства измерения; $X_{\text{к}}$ – конечное значение диапазона измерения прибора, X – измеренное значение.

Определить предел допускаемой абсолютной погрешности, выделить аддитивную и мультипликативную составляющую, построить графики составляющих ($\Delta_{\text{А}} = f(X)$, $\Delta_{\text{М}} = f(X)$).

Варианты индивидуальных заданий приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Варианты индивидуальных заданий

№ вар.	c	d	$X_{\text{к}}$	№ вар.	c	d	$X_{\text{к}}$
1	0,01	0,20	100 мА	11	0,14	0,37	40 мА
2	0,02	0,24	20 мВ	12	0,24	0,42	25 мА

Окончание табл. 2.1

3	0,03	0,21	300 мА	13	0,42	0,46	230 В
4	0,04	0,30	1,5 А	14	0,15	0,42	450 мА
5	0,05	0,35	100 Ом	15	0,18	0,50	60 мВ
6	0,06	0,40	25 °С	16	0,20	0,51	30 мВ
7	0,07	1,00	350 мА	17	0,25	0,52	50 мВ
8	0,08	0,90	500 мА	18	0,30	0,54	600 °С
9	0,09	0,85	2 В	19	0,05	0,48	500 °С
10	0,10	0,36	30 В	20	0,06	0,23	100 В

Задача 2.2

Проведена поверка прибора для измерения температуры. При этом максимальное значение абсолютной погрешности составило Δ_{\max} , максимальное значение вариации – V_{\max} . Диапазон показаний прибора ограничен нижним X_H и верхним X_K пределами шкалы, цена деления составляет ΔN . Класс точности прибора равен K . Определить число интервалов равномерной шкалы N , максимальные значения относительной δ_{\max} и приведенной погрешности γ_{\max} , значение допускаемой абсолютной погрешности $\Delta_{\text{доп}}$, если показания прибора составляют $0,7 \cdot X_K$.

Варианты индивидуальных заданий приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Варианты индивидуальных заданий

№ вар.	$\Delta_{\max}, ^\circ\text{C}$	$V_{\max}, ^\circ\text{C}$	$X_H \dots X_K, ^\circ\text{C}$	$\Delta N, ^\circ\text{C}$	K
1	8,9	5,0	0...600	20	0,50
2	12,2	6,0	0...800	25	1,50
3	4,1	4,0	-100...100	10	1,00
4	2,2	1,0	0...180	20	2,00
5	1,2	2,1	-50...50	5	2,50
6	0,8	0,9	-25...25	1	0,50
7	4,3	3,8	0...100	2	1,50
8	1,8	0,6	0...200	5	1,50
9	2,9	0,8	0...300	5	0,50
10	5,1	1,8	200...500	5	2,00
11	4,8	2,3	100...600	10	1,50
12	13,1	2,4	0...1000	25	0,50
13	2,8	2,7	-25...50	5	0,25

Окончание табл. 2.2

№ вар.	$\Delta_{\max}, ^\circ\text{C}$	$V_{\max}, ^\circ\text{C}$	$X_{\text{H}} \dots X_{\text{K}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta N, ^\circ\text{C}$	K
14	4,1	3,4	-50...100	5	0,50
15	0,9	0,1	-10...10	0,5	0,25
16	3,2	0,8	0...400	10	1,00
17	3,4	0,0	0...200	5	1,50
18	2,9	0,4	0...150	5	0,50
19	3,9	0,8	200...600	10	0,50
20	4,5	1,5	0...800	25	0,25

Практическая работа № 2

Обработка результатов многократных измерений

Цель работы: получение навыков выполнения статистического анализа данных, полученных экспериментальным путем, изучение методов поиска и исключения грубых ошибок измерения из совокупности результатов измерений.

Статистическая оценка параметров распределений случайных физических величин

При статистической обработке результатов измерений используют основные положения теории вероятностей. При этом основными понятиями являются доверительный интервал и доверительная вероятность. Так как определить действительное значение измеряемой величины x практически невозможно, его заменяют статистической оценкой \bar{x} , а доверительный интервал и доверительная вероятность характеризуют точность и надежность статистической оценки \bar{x} .

Доверительный интервал, ограниченный нижней x_n и верхней x_v доверительными границами, определяет диапазон значений измеряемой величины, в котором находится неизвестное значение измеряемой величины с доверительной вероятностью p .

Оценкой действительного значения измеряемой величины \bar{x} служит математическое ожидание, определяемое по формуле (1.9).

В большинстве случаев при статистической оценке параметров распределений случайных величин рассматриваются доверительные интервалы, симметричные относительно значения \bar{x} с двусторонней доверительной вероятностью p . В этом случае интервалы $(x_v - \bar{x})$ и $(\bar{x} - x_n)$ будут иметь одинаковую ширину ε , называемую полушириной доверительного интервала.

Значение ε для ряда измерений определяется по формуле

$$\varepsilon = t_p \cdot \sigma, \quad (2.9)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение, определяемое выражением (1.11); t_p – коэффициент, определяемый характером распределения результатов наблюдений для заданной вероятности p .

Для ограниченного числа измерений (как правило, не более 100) характер распределения в большинстве случаев описывается законом распределения Стьюдента (в этом случае t_p – коэффициент распределения Стьюдента для числа n измерений и вероятности p). При определении

доверительного интервала результата измерений $\varepsilon_{\text{в}}$ определяется по формуле

$$\varepsilon = t_p \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (2.10)$$

Значения коэффициентов распределения Стьюдента приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Значения коэффициентов t_p распределения Стьюдента и величины t_p / \sqrt{n}

$k = n - 1$	Доверительная вероятность p					
	0,90		0,95		0,99	
	t_p	t_p / \sqrt{n}	t_p	t_p / \sqrt{n}	t_p	t_p / \sqrt{n}
1	6,31	4,48	12,71	9,00	63,70	45,00
2	2,92	1,69	4,30	2,50	9,92	5,70
3	2,35	1,18	3,18	1,59	5,84	2,90
4	2,13	0,95	2,78	1,24	4,60	2,10
5	2,02	0,82	2,57	1,05	4,03	1,60
6	1,94	0,73	2,45	0,93	3,71	1,40
7	1,90	0,67	2,36	0,84	3,50	1,24
8	1,86	0,62	2,31	0,77	3,36	1,12
9	1,83	0,58	2,26	0,72	3,25	1,03
10	1,81	0,55	2,23	0,67	3,17	0,96
11	1,80	0,52	2,20	0,65	3,11	0,90
12	1,78	0,49	2,18	0,60	3,06	0,85
13	1,77	0,47	2,16	0,58	3,01	0,80
14	1,76	0,45	2,14	0,55	2,98	0,77
15	1,75	0,44	2,13	0,53	2,95	0,74
16	1,75	0,42	2,12	0,51	2,92	0,71
17	1,74	0,41	2,11	0,50	2,9	0,68
18	1,73	0,40	2,10	0,48	2,88	0,66
19	1,73	0,39	2,09	0,47	2,86	0,64
20	1,72	0,38	2,09	0,47	2,84	0,62
30	1,70	0,31	2,04	0,37	2,75	0,49
40	1,68	0,26	2,02	0,32	2,70	0,42
50	1,68	0,24	2,01	0,28	2,68	0,38
100	1,66	0,17	1,98	0,20	2,63	0,26
200	1,65	0,12	1,97	0,14	2,60	0,18
∞	1,645	0	1,96	0	2,58	0

В процессе обработки результатов многократных измерений часто требуется найти и исключить грубые ошибки из результатов измерений. Порядок исключения грубых погрешностей из результатов измерений приведен в п. 1.8 [13].

Индивидуальное задание

При измерении температуры рабочей среды термоэлектрическим преобразователем проведено n измерений термоЭДС. Результаты измерений не содержат систематических погрешностей.

Определить действительное значение ТЭДС, доверительные границы и доверительный интервал при доверительной вероятности p , исключить грубые погрешности из результатов измерений.

Таблица 2.4

Варианты индивидуальных заданий

№ вар.	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}	P_d
1	4,10	4,26	4,41	4,47	4,45	4,13	3,65	4,23	3,92	3,55	0,95
2	5,55	4,49	4,37	5,31	4,63	5,27	5,33	5,26	5,07	4,97	0,90
3	14,75	16,43	10,24	9,39	11,33	8,09	10,32	11,03	10,82	9,47	0,99
4	16,43	16,17	16,32	15,08	15,12	15,31	15,44	14,99	15,17	16,83	0,95
5	21,22	20,93	19,63	19,87	21,03	21,19	20,54	19,68	19,77	20,99	0,90
6	24,29	18,31	24,13	23,95	25,52	20,91	28,27	26,63	26,76	22,64	0,99
7	18,31	17,97	16,74	17,89	22,23	21,89	21,52	17,88	19,17	18,46	0,90
8	16,07	15,40	16,07	15,02	15,94	15,70	16,02	18,14	15,91	15,44	0,99
9	19,08	13,67	17,61	15,82	17,03	19,81	16,26	17,76	16,44	17,43	0,95
10	9,67	10,06	9,51	10,24	9,39	11,33	8,09	10,61	11,53	9,44	0,90
11	21,97	22,05	22,40	22,74	22,36	20,97	19,58	24,12	21,52	18,95	0,99
12	23,61	25,46	22,09	23,77	25,17	20,12	23,26	21,28	23,64	22,83	0,90
13	20,76	17,36	17,00	20,00	17,82	19,87	20,06	22,83	23,58	22,46	0,99
14	16,19	16,70	19,67	19,42	12,37	15,35	19,00	17,51	20,27	17,51	0,95
15	16,73	16,47	15,55	16,42	19,63	19,42	17,38	20,41	18,60	18,63	0,90
16	31,21	25,13	32,17	29,56	27,55	28,57	28,91	29,56	30,59	32,04	0,99
17	32,11	31,05	32,11	30,44	31,91	31,52	32,04	35,39	31,86	31,11	0,95
18	31,46	35,99	31,66	33,94	33,35	32,07	30,62	34,70	35,29	29,34	0,90
19	28,94	29,94	31,59	26,20	28,19	29,37	28,59	30,15	29,39	28,27	0,95
20	30,75	22,83	28,48	29,06	29,95	29,54	27,95	30,04	32,04	30,75	0,90

Практическая работа № 3

Поиск и анализ нормативно-технических документов по стандартизации с помощью автоматизированной информационно-поисковой базы нормативной документации «КОДЕКС»

Цель работы: развитие способности выполнять работы по стандартизации и разрабатывать проектную документацию в соответствии с имеющимися регламентами, стандартами и техническими условиями.

Сведения об информационно-поисковой системе «Кодекс»

Для поиска нормативно-технических документов может применяться специализированная информационно-поисковая система «Кодекс».

Для доступа к базе данных необходимо выполнить следующие действия.

1. Зайти на сайт научно-технической библиотеки ТПУ по адресу <http://www.lib.tpu.ru>.

2. Выбрать пункт «Базы данных».

3. В открывшемся окне выбрать вкладку «Поиск БД».

4. Осуществить поиск базы данных «Кодекс».

5. Открыть главную страницу информационно-поисковой системы «Кодекс».

6. Для рассмотрения работы системы «Кодекс» в поле для ввода исходных данных для поиска ввести ГОСТ 54149-2010 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (рис. 2.2).

7. Структура большинства нормативных документов состоит из нескольких вкладок, представленных следующими полями:

- Текст;
- Сканер-копия;
- Оперативная информация;
- Примечания;
- Ссылается на;
- На него ссылаются;
- Оглавление.

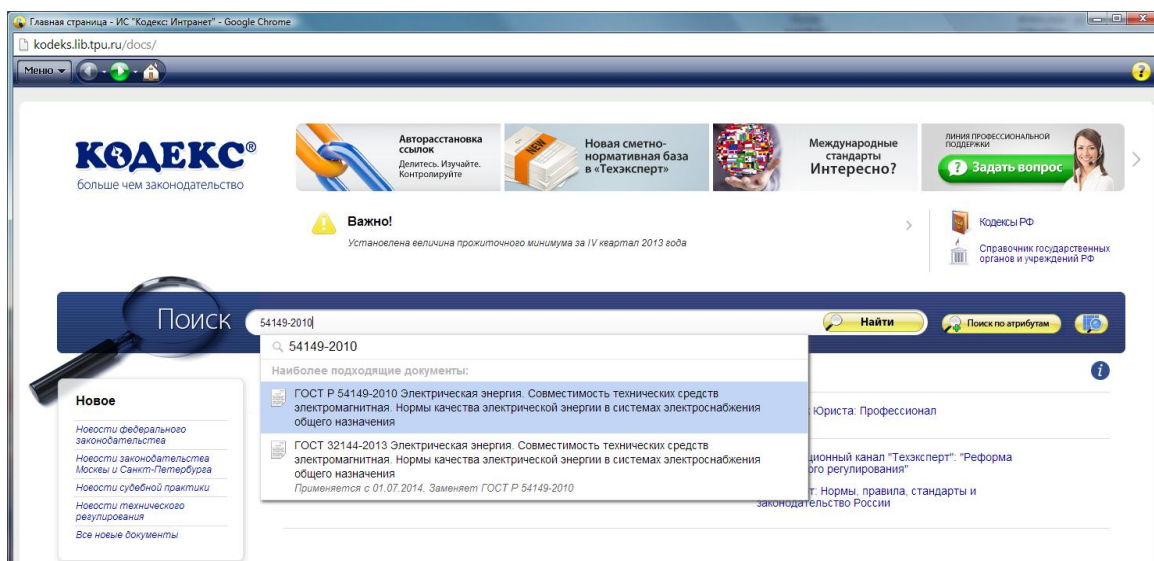


Рис. 2.2. Поиск нормативных документов в ИПС «Кодекс»

8. На рис. 2.3 показано, к какому виду относится данный стандарт, а также дата введения, обозначение общероссийского классификатора стандартов (ОКС), номер группы, разработавшей стандарт.

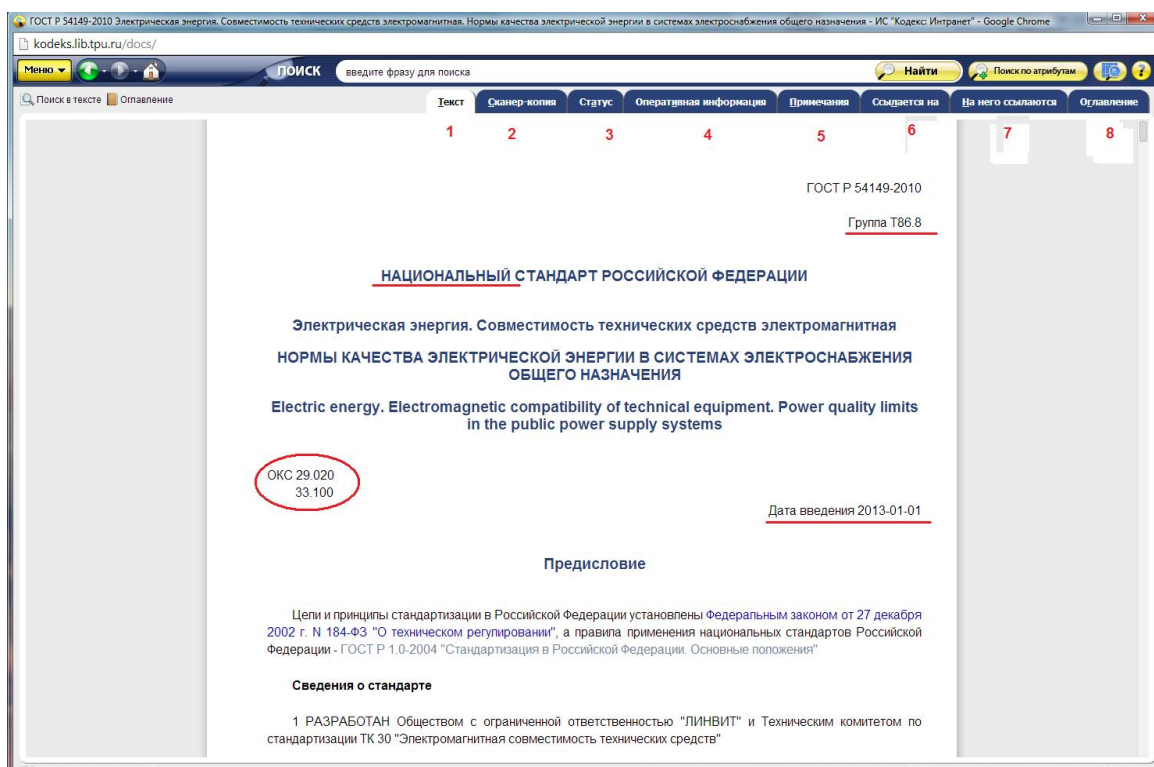


Рис. 2.3. Фрагмент нормативного документа

Индивидуальное задание

С помощью информационно-поисковой системы «Кодекс» выполнить поиск заданного нормативного документа и определить его характеристики (табл. 2.5). Отчет по практической работе оформляется в печатном виде согласно СТО ТПУ 2.5.01-2011.

Таблица 2.5

Характеристики нормативных документов

№	Наименование	Примечания
1	Обозначение стандарта	Цифровое обозначение
1.1	Наименование стандарта	На русском и английском языках
1.2	Вид стандарта	
1.3	Категория стандарта	
1.4	Дата введения	
1.5	Тип документа	
1.6	Принявший орган	
1.7	Номер межотраслевой системы стандартов	
2	Код ОКС стандарта	Привести иерархическую структуру для данного стандарта
2.1	Код ОКП стандарта	Привести иерархическую структуру для данного стандарта
3	Область стандартизации	
3.1	Объект стандартизации	
3.2	Сфера применения стандарта	
3.3	Основные термины и определения стандарта	
4	Общие положения стандарта	
5	Взаимоувязанность (комплексность) стандарта	Привести все актуальные документы
6	Сравнить, проанализировать и указать только различия действующего стандарта с предшествующим или проектом будущего стандарта	В табличном виде: было\стало

Таблица 2.6

Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Задание
1	ГОСТ Р 8.592-2002
2	ГОСТ Р 54860-2011
3	ГОСТ Р ИСО 50001-2012
4	ГОСТ 12893-2005
5	ГОСТ Р 8.591-2002
6	ГОСТ Р 55171-2012
7	ГОСТ Р 54440-2011
8	ГОСТ Р 51733-2001
9	ГОСТ 28269-89
10	ГОСТ 27590-2005
11	ГОСТ 21563-93
12	ГОСТ 16860-88
13	ГОСТ 4.429-86
14	ГОСТ 24278-89
15	ГОСТ 23269-78
16	ГОСТ 4.426-86
17	ГОСТ Р ИСО 26382-2011
18	ГОСТ 28969-91
19	ГОСТ Р ЕН 12952-2013
20	ГОСТ Р 50342-92

Практическая работа № 4

Сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов

Цель работы: способность осуществлять подготовку к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.

Индивидуальное задание

С помощью информационно-поисковой системы «Кодекс» и других поисковых систем выполнить описание заданного объекта, оформить отчет в печатном виде согласно СТО ТПУ 2.5.01-2011.

Содержание отчета по практической работе:

1. Основные характеристики и показатели продукции.
 - 1.1. Полное наименование объекта и данные изготовителя.
2. Перечень нормативных документов, необходимых для проведения работ по подтверждению соответствия объекта.
3. Обоснованный выбор формы подтверждения соответствия.
4. Анализ и обоснованный выбор органа по сертификации (ОС) и испытательной лаборатории (ИЛ).
5. Порядок проведения сертификации объекта.
 - 5.1. Определения видов испытаний для проведения испытаний образцов.
 - 5.2. Составление акта отбора образцов.
 - 5.3. Сбор документов, являющихся основанием для принятия решения о сертификации.
 - 5.4. Анализ документов.
6. Заключение.
7. Список использованных источников.

Таблица 2.7

Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Задание (код ОКП)
1	29 1800 Краны и затворы шаровые поворотные
2	31 1007 Турбины паровые мощностью 12,0 тыс. кВт
3	31 1009 Турбины паровые мощностью 18,0 тыс. кВт
4	31 1014 Турбины паровые мощностью 50,0 тыс. кВт
5	31 1033 Турбины газовые мощностью 6,0 тыс. кВт
6	31 1061 Котлы паровые производительностью от 2,5 т пара/ч до 10 т пара/ч (типа ДКВР)

Окончание табл. 2.7

7	31 1115 Турбины паровые для атомных электростанций
8	31 1121 Установки газотурбинные энергетические
9	31 1211 Котлы паровые производительностью от 0,1 до 1,0 т пара/ч включ.
10	31 1270 Котлы-утилизаторы и энерготехнологические
11	31 1273 Пароперегреватели центральные
12	31 1281 Котлы теплофикационные водогрейные до 11,63 МВт
13	31 1315 Компенсаторы трубопроводов
14	31 1230 Котлы паровые производительностью
15	31 1337 Золоуловители батарейные
16	31 1351 Подогреватели низкого давления
17	31 1341 Дымососы и вентиляторы мелкие одностороннего всасывания с N 2,7 до N 13 (диаметров рабочего колеса до 1,3 м)
18	31 1356 Подогреватели сетевой воды
19	31 1352 Подогреватели высокого давления
20	31 1342 Дымососы и вентиляторы средние и крупные с N 13,5 и выше (диаметром рабочего колеса от 1,3 м и выше)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 6616-94. Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 15 с.
2. ГОСТ 8.338-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Преобразователи термоэлектрические. Методика поверки. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 22 с.
3. Калибратор многофункциональный портативный Метран-510-ПКМ. Руководство по эксплуатации. – Челябинск: ПГ «Метран», 2009. – 54 с.
4. Тягомер ТмМп-52-М2, напоромер НМП-52-М2, тягонапоромер ТНМП-52-М2 мембранные показывающие. Руководство по эксплуатации. – Екатеринбург: ЗАО «Промприбор», 2010. – 8 с.: ил.
5. МИ 2124-90. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры показывающие и самопишущие. Методика поверки. – М.: Изд-во ВНИИМС, 1990. – 9 с.
6. Преобразователи давления эталонные ПДЭ-010. Руководство по эксплуатации. – М.: НПП «Элемер», 2010. – 20 с.: ил.
7. Калибратор-измеритель унифицированных сигналов эталонный ИКСУ-260L. Руководство по эксплуатации. – М.: НПП «Элемер», 2010 г. – 96 с.
8. Иванова Г.М. Теплотехнические измерения и приборы: учебник для вузов / Г.М. Иванова, Н.Д. Кузнецов, В.С.Чистяков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 460 с.
9. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие / Е.В. Кравченко, Ю.К. Кривогузова, И.П. Озерова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 172 с.
10. Калибраторы температуры эталонные «Элемер-КТ-650». Паспорт устройства. – М.: НПП «Элемер», 2010. – 24 с.: ил.
11. Волощенко А.В. Теплотехнические измерения и приборы: лабораторные работы: учебное пособие / А.В. Волощенко, В.В. Медведев, М.М. Григорьева. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 116 с.
12. ГОСТ 8.280-78. Государственная система обеспечения единства измерений. Потенциометры и уравновешенные мосты автоматические. Методы и средства поверки. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 23 с.

13. Волошенко А.В. Метрология и теплотехнические измерения. Задачи и вопросы: учебное пособие / А.В. Волошенко, М.М. Григорьева, В.В. Медведев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 100 с.
14. Назаров Н.Г. Метрология. Основные понятия и математические модели: учебное пособие для вузов. – М.: Высшая шк., 2002. – 348 с.: ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ФОРМА ПРОТОКОЛА ПОВЕРКИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Протокол (первичной, периодической) поверки № _____
ненужное зачеркнуть

термопреобразователя типа _____ от «__» _____ г.

ЭТАЛОННЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Термопреобразователь			Потенциометр			Установка	Ртутный стеклянный термометр		
Номер	Тип	Разряд	Номер	Тип	Класс	Тип	Номер	Тип	Разряд

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЕРКИ

№ эксп.	Операция	Эталонный ТЭП				Поверяемый ТЭП				Погрешность	
		E_i	$E_{\text{попр}}$	$E_{\text{прив}}$	t	E_i	$E_{\text{попр}}$	$E_{\text{прив}}$	$E_{\text{НСХ}}$	ΔE	$\Delta E_{\text{доп}}$
		мВ	мВ	мВ	°С	мВ	мВ	мВ	мВ	мВ	мВ
1	Отсчет										
	Среднее										
2	Отсчет										
	Среднее										
3	Отсчет										
	Среднее										
4	Отсчет										
	Среднее										

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОВЕРКИ

Тип ТЭП	Номер	Заключение о пригодности ТЭП

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ФОРМА ПРОТОКОЛА ПОВЕРКИ ТЯГОНАПОРОМЕРОВ

Протокол № _____

« ____ » _____ Г.

поверки _____, принадлежащего _____ .
(наименование устройства) (наименование организации)

Тип _____, № _____. Пределы измерений _____, класс точности _____.

Образцовые приборы: _____
(тип, номер)

_____ (пределы измерений, класс точности)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ И ВАРИАЦИИ

Показания поверяемого прибора	Отсчет по рабочему эталону		Абсолютная погрешность прибора		Вариация показаний прибора
	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	

Наибольшая погрешность прибора _____
(ед. изм.)

Допускаемая погрешность прибора _____
(ед. изм.)

Наибольшая вариация показаний прибора _____
(ед. изм.)

Допускаемая вариация показаний прибора _____
(ед. изм.)

Вывод: _____
(прибор годен/ не годен для измерений)

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

**ФОРМА ПРОТОКОЛА ПОВЕРКИ ПОКАЗЫВАЮЩИХ СРЕДСТВ
ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Протокол № _____

«____» _____ Г.

поверки _____, принадлежащего _____.
(наименование устройства) (наименование организации)

Тип _____, № _____. Пределы измерений _____,

НСХ _____, класс точности _____.

Образцовые приборы: _____
(тип, номер)

_____ (пределы измерений, класс точности)

Время прохождения стрелкой прибора всей шкалы _____ с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ И ВАРИАЦИИ

Проверяемые отметки шкалы	Значение входного сигнала (по НСХ)	Отсчет по рабочему эталону		Абсолютная погрешность прибора		Вариация показаний прибора
		Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	

Наибольшая погрешность
прибора _____
(ед. изм.)

Допускаемая погрешность
прибора _____
(ед. изм.)

Наибольшая вариация показаний
прибора _____
(ед. изм.)

Допускаемая вариация показаний
прибора _____
(ед. изм.)

Вывод: _____
(прибор годен/ не годен для измерений)

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ФОРМА ПРОТОКОЛА ПОВЕРКИ ТЕХНИЧЕСКИХ МАНОМЕТРОВ

Протокол № _____

« ____ » _____ Г.

поверки _____, принадлежащего _____ .
(наименование устройства) (наименование организации)

Тип _____, № _____. Пределы измерений _____ ,
 класс точности _____ .

Образцовые приборы: _____
(тип, номер)

(пределы измерений, класс точности)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ И ВАРИАЦИИ

Показания эталонного прибора, кгс/см ² (МПа)	Показания поверяемого манометра, кгс/см ² (МПа)		Основная абсолютная погрешность прибора, кгс/см ² (МПа)		Основная приведенная погрешность, %		Вариация показаний прибора, кгс/см ² (МПа)	Вариация показаний прибора, %
	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход		

Наибольшая приведенная погрешность прибора _____
(ед. изм.)

Допускаемая приведенная погрешность прибора _____
(ед. изм.)

Наибольшая приведенная вариация Показаний прибора _____
(ед. изм.)

Допускаемая приведенная вариация показаний прибора _____
(ед. изм.)

Вывод: _____
(прибор годен/ не годен для измерений)

Учебное издание

АТРОШЕНКО Юлиана Константиновна
КРАВЧЕНКО Евгений Владимирович

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

СБОРНИК ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Часть 2

Учебное пособие


Корректурa А.А. Цыганкова
Компьютерная верстка В.Д. Пяткова
Дизайн обложки Т.А. Фатеева

Подписано к печати 22.12.2014. Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 5,35. Уч.-изд. л. 4,84.
Заказ 1279-14. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета
сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru