

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета
Дата подписания: 19.07.2023 14:18:39
Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине
«Метрология, стандартизация, сертификация»
для направления подготовки **10.03.01 Информационная безопасность**
направленность (профиль) **Безопасность компьютерных систем**

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C00000043E9AB8B952205E7BA5000600000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Пятигорск
2023

ВВЕДЕНИЕ

Цели и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование у студента знаний, умений и навыков в области метрологии и стандартизации в различных сферах деятельности для обеспечения эффективности этой деятельности за счет повышения достоверности результатов измерений и правильного использования специальной нормативной документации, выбора измерительной техники для определения физических величин и поверки метрологических характеристик измерительной техники, изучение и обработка сигналов измерительной информации.

Задачами освоения дисциплины:

изучение принципов обеспечения единства измерений, обеспечивающих заданные критерии качества;

выбор методов и средств измерений с заданными метрологическими характеристиками;

выбор методов организации измерительного эксперимента, изучение схем, правил и порядка проведения измерений;

изучение методов и принципов стандартизации;

изучение измерительной техники, её метрологических характеристик при определении физических величин;

изучение и обработка сигналов измерительной информации.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате изучения дисциплины:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-8 Способность оформлять рабочую техническую документацию с учетом действующих нормативных и методических документов	ИД-1 ПК-8 Понимает действующие нормативные и методические документы. ИД-2 ПК-8 Способен анализировать, систематизировать, оформлять техническую документацию. ИД-3 ПК-8 Владеет навыками грамотного составления технической документации.	Работает с нормативными документами по вопросам метрологии. • Применяет нормативные документы по метрологии, стандартизации и сертификации в своей профессиональной деятельности

НАИМЕНОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Сертификат: 2C0000043E97AB0932203E7BA50088000043E Владелец: Обзюхова Татьяна Александровна Действителен с 19.08.2022 по 19.08.2023	№	ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
	Темы дисциплины			

5 семестр			
2	Лабораторная работа 1. Определение погрешности изготовления и метрологических параметров партии резисторов	1,125	1,5
2	Лабораторная работа 2. Поверка автоматического потенциометра	1,125	3
3	Лабораторная работа 3. Измерение линейных размеров с помощью штангенинструментов и обработка измерений с многократными наблюдениями	1,125	3
3	Лабораторная работа 4. Измерение линейных размеров с помощью микрометрических инструментов и обработка измерений с многократными наблюдениями	1,125	3
4	Лабораторная работа 5. Исследование лабораторных весов: определение точности и места расположения взвешиваемого предмета	1,125	3
4	Лабораторная работа 6. Освоение методики поверки лабораторных весов	1,125	3
5	Лабораторная работа 7. Градуировка пружинных весов	1,125	1,5
5	Лабораторная работа 8. Градуировка и поверка манометра с трубчатой пружиной	1,125	3
6	Лабораторная работа 9. Градуировка технических термомпар	1,125	1,5
6	Лабораторная работа 10. Измерение сопротивления электрической цепи постоянному току	1,125	1,5
8	Лабораторная работа 11. Метрологическая поверка вольтметра.	1,125	1,5
8	Лабораторная работа 12. Измерение гидростатического давления	1,125	1,5
Итого		13.5	27

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзуков Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторная работа №1

Определение погрешности изготовления и метрологических параметров партии резисторов

Цель работы

Определение погрешности изготовления партии резисторов. Определение статистических характеристик партии резисторов

Теоретическая часть

Непосредственной целью измерений является определение истинного (действительного) значения измеряемой величины. Результат измерений есть случайная величина, равная сумме истинного (действительного) значения измеряемой величины и погрешности измерений. Для повышения точности измерений проводят несколько наблюдений при измерении.

При статической обработке результатов группы наблюдений, следует руководствоваться ГОСТ 8.207. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Результат измерений следует оформлять в соответствии с рекомендациями МИ 1317 - 2004 Государственная система обеспечения единства измерений: Результаты и характеристики погрешности измерений. Форма представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.

При этом выполняют следующие операции:

- 1) исключают известные систематические погрешности из результатов наблюдений;
- 2) вычисляют среднее арифметическое значение $\bar{x}$ измеряемой величины из n единичных результатов наблюдений x_i ;
- 3) вычисляют среднюю квадратическую погрешность единичных измерений в ряду измерений S ;
- 4) исключают промахи (грубые погрешности измерений);
- 5) вычисляют среднюю квадратическую погрешность результатов измерений среднего арифметического $S_{\bar{x}}$;
- 6) проверяют гипотезу о том, что результаты измерений распределяются по нормальному закону;
- 7) вычисляют доверительные границы случайной погрешности результата измерения $\pm \varepsilon$;
- 8) вычисляют доверительные границы неисклученной систематической погрешности результата измерения $\pm \theta$;
- 9) вычисляют доверительные границы погрешности результата измерения $\pm (\Delta x)_{\Sigma}$;
- 10) представляют результат измерения в виде $X = \bar{x} \pm (\Delta x)_{\Sigma}$, P (P – доверительная вероятность).

Известные систематические погрешности исключают введением в результаты измерений соответствующих поправок, численно равных систематическим погрешностям, но противоположным им по знаку.

Если оператор в ходе измерения обнаруживает результат x_n , резко отличающийся от остальных результатов наблюдений (промах), и достоверно находит причину его появления, он вправе отбросить этот результат и провести (при необходимости) дополнительное наблюдение взамен отброшенного.

При обработке уже имеющихся результатов измерений для исключения грубых погрешностей поступают следующим образом:

- вычисляют среднее арифметическое n результатов наблюдений $\bar{x}$ x_i :-

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n ; \quad (1)$$

- вычисляют оценку среднего квадратического отклонения **S** результата измерений :

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} ; \quad (2)$$

- определяют наличие (отсутствие) предполагаемого промаха x_n от $\bar{x}$.

При числе измерений $n < 20$ и нормальном *распределении результатов* измерений целесообразно применять критерий Романовского. При этом вычисляют отношение

$$z = |x_n - \bar{x}| / S , \quad (3)$$

где x_n – результат, вызывающий сомнение;

z – коэффициент, предельное значение которого z_T (табличное) определено по табл.1 по числу всех наблюдений (включая x_n) и принятому значению доверительной вероятности P (для всех производственных измерений $P = 0,95$; для ответственных лабораторных измерений $P = 0,98$ или $0,99$ и выше) по табл. 1 находят нормированное выборочное отклонение нормального распределения (P, n) .

Таблица 1

Значения $z_T(P, n)$												
P	N											
	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	20
0,95	1,41 4	1,7 10	1,91 7	2,06 7	2,18 2	2,27 3	2,34 9	2,41 4	2,34 9	2,41 4	2,67 0	2,7 8
0,99	1,41 4	1,7 28	1,97 2	2,16 1	2,31 0	2,43 1	2,53 2	2,61 6	2,75 3	2,85 5	2,94 6	3,0 8

Если $z < z_T$, то результат наблюдений x_n не является промахом. Если $z > z_T$, то x_n - промах, подлежащий исключению. После исключения x_n повторяют процедуру определения $\bar{x}$ и **S**($\bar{x}$) для оставшегося ряда результатов наблюдений и проверки на промах оставшихся значений x_i .

За результат измерения A принимают среднее арифметическое $\bar{x}$ результатов наблюдений, оставшихся после исключения промахов.

Погрешность результата измерения включает случайную и неучтенную систематическую составляющие. Случайную составляющую оценивают величиной средне квадратичное отклонение $S(\bar{x})$:

$$S(\bar{x}) = S(x) \sqrt{n} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

Если распределение результатов наблюдений подчиняется закону нормального распределения (закону Гаусса), то доверительные границы случайной погрешности результата измерения при доверительной вероятности P находят по формуле

$$c = t S(x), \quad (5)$$

где t – коэффициент Стьюдента, определяемый по табл. 3.

Таблица 2

Значения коэффициента Стьюдента

P	ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ				n						
	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25
0,95	12,70	4,303	3,182	2,776	2,571	2,447	2,365	2,306	2,262	2,145	2,109
0,99	63,65	9,925	5,841	4,604	4,032	3,707	3,499	3,355	3,250	2,977	2,908

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Доверительные границы в не исключённой систематической погрешности результата измерения определяют по формуле

$$\theta = k \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2} \quad (6)$$

где k - коэффициент (табл. 3), определяемый принятой доверительной вероятностью P и числом m составляющих не исключённой систематической погрешности; θ_j – границы y_j составляющей этой погрешности.

Таблица 3

Значения коэффициента k (ГОСТ 8.207)

P	m			
	5 и более	4	3	2
0,95	1,1			
0,99	1,45	1,4	1,3	1,2

Доверительную вероятность для вычисления границ не исключённой систематической погрешности принимают той же, что и при вычислении доверительных границ случайной погрешности результата измерения. В соответствии с ГОСТ 8.207-76 суммирование не исключённой систематической и случайной погрешности измерения осуществляют по следующим правилам:

$$\frac{\theta}{S(\bar{x})} < 0,8$$

1. В случае, если отношение $\frac{\theta}{S(\bar{x})} < 0,8$, то неучтённой систематической погрешностью по сравнению со случайной погрешностью пренебрегают и принимают, что граница погрешности результата измерения $\Delta = \varepsilon$.

$$\frac{\theta}{S(\bar{x})} > 0,8$$

2. Если отношение $\frac{\theta}{S(\bar{x})} > 0,8$ случайной погрешностью по сравнению с неучтённой систематической пренебрегают и принимают, что граница погрешности результата измерения $\Delta = \theta$.

$$0,8 \leq \frac{\theta}{S(\bar{x})} \leq 8,0$$

3. В случае, если $0,8 \leq \frac{\theta}{S(\bar{x})} \leq 8,0$ границы погрешности результата измерения вычисляют по формуле

$$\Delta = K * S_{\Sigma} \quad (7)$$

где K - коэффициент, зависящий от соотношения случайной и не исключённой систематической погрешности; S_{Σ} - суммарное среднее квадратическое отклонение результата измерения:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{j=1}^m \frac{\theta_j^2}{3} + S^2(\bar{x})} \quad (8)$$

При симметричной доверительной погрешности результаты представляют в форме $A \pm A, P$.

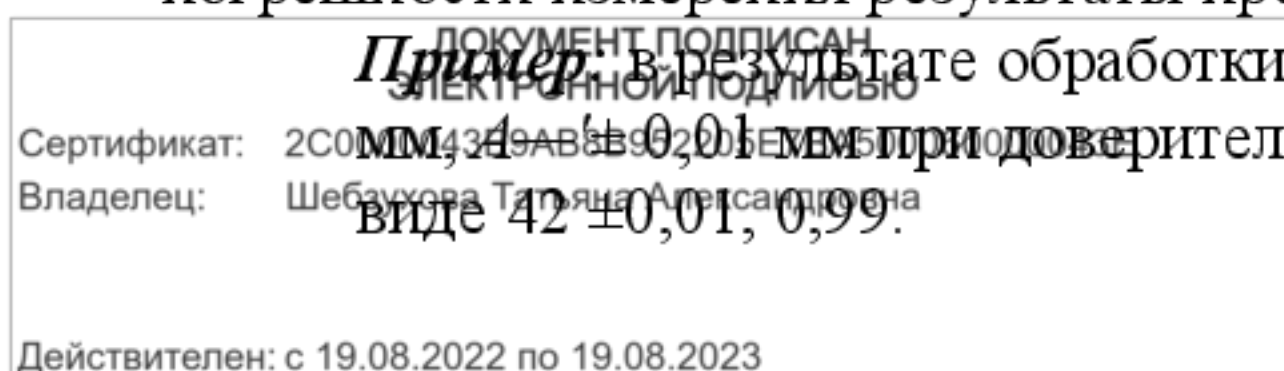
Числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрой 1-го же разряда, что и значение погрешности.

При отсутствии данных о виде функций распределения составляющих погрешности измерения результаты представляют в форме $A; \delta(x), n; 9, P$.

Пример. В результате обработки результатов наблюдений получили $A = 42$

мм, $\delta = 0,01$ мм при доверительной вероятности 0,99. Результат представляют в

виде $42 \pm 0,01; 0,99$.



4. ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ И ЗАПИСИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ И ИЗМЕРЕНИЙ

1. Числовое значение результата наблюдения округляют в соответствии с числовым разрядом значащей цифры погрешности измерений.

Лишние цифры в целых числах заменяют нулями, в десятичных дробях – отбрасывают. Если десятичная дробь оканчивается нулями, их отбрасывают только до того разряда, который соответствует разряду погрешности.

Пример: результат 1, 072000, погрешность $\pm 0,0001$. Результат округляют до 1,0720.

Если первая (слева направо) из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр меньше 5, остающиеся цифры не изменяются.

Если первая из этих цифр равна 5, а за ней не следует никаких цифр или идут нули, то, если последняя цифра в округляемом числе чётная или нуль, она остаётся без изменения, если нечётная – увеличивается на единицу.

Пример: 1234,50 округляют до 1234; 8765,50 – до 8766.

Если первая из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр больше 5 или равна 5, но за ней следует значащая цифра, то последняя остающаяся цифра увеличивается на единицу.

Пример: 6783,6 округляют до 6784; 12.34501 до 12,35.

2. Погрешность, возникающая в результате вычислений, не должна превышать 10 % суммарной погрешности измерений. Поэтому, если над результатами измерений (наблюдений) предстоит произвести некоторые математические операции, то при округлении результатов в соответствии с правилом 1, добавляют один разряд справа, т. е. в первом примере результат 1,072000 нужно округлить не до 1,0720, а до 1,07200.

3. Если в процессе вычисления встречается операция деления, бессмысленно продолжать её по правилам арифметики, после того как получен результат, соответствующий правилу 1.

4. При определении числа знаков при вычислении погрешностей измерений следует учитывать, что погрешность определения значения погрешности достаточно велика, порядка 30 % при $n = 10$ и порядка 15 % при $n = (20 - 25)$, поэтому при $n < 10$ следует оставлять одну значащую цифру, если она больше трех, и две, если первая из них меньше четырех.

Пример: если при $n = 10,5$ (x) = 0,523, оставляем значение $Sx = 0,5$; если при $n = 10$, $Sx = 0,253$, оставляем значение $Sx = 0,25$. При $n > 10$ достаточно надёжно оставлять во всех случаях две значащие цифры.

Оборудование и материалы.

Набор резисторов номиналом 4,7 кОм, мультиметр М - 182.

Указания по технике безопасности

Соответствуют технике безопасности по работе с компьютерной техникой.

Задание

1. Произвести измерение резисторов.
2. Определить среднее арифметическое (математическое ожидание) из числа проведённых измерений (по формуле (1)).
3. Определить оценку среднего квадратичного отклонения **S** результата измерений (по формуле (2)).
4. Округлить полученные результаты до 2х значащих цифр.
5. Построить гистограмму
6. Определить доверительный интервал
6. Определить класс точности изготовления резисторов.
7. Сделать выводы по результатам лабораторной работы.

Контрольные вопросы

1. По какой формуле определяется среднее арифметическое (математическое ожидание)?
2. По какой формуле определяется средне квадратичное отклонение?
3. Как определяется класс точности изготовления резисторов?
4. Что такое гистограмма?
5. Что показывает гистограмма?
6. Что такое нормальный закон распределения?
7. Каковы характеристики нормального закона распределения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. Поверка автоматического потенциометра

Цель работы: ознакомление со схемой и работой лабораторной установки и ее элементов; научиться пользоваться потенциометром типа *ПП*, *КСП*, *УПП*, изучить принцип действия поверяемого электронного потенциометра в комплекте с термопарой (отдельных узлов и их функциональную связь); произвести поверку автоматического потенциометра и сделать заключение о пригодности прибора к эксплуатации.

Теоретическая часть

1. Широкое применение для измерения ЭДС находят в настоящее время потенциометры. Их работа основана на компенсации (уравновешивании) измеряемой ЭДС известной разностью потенциалов, вырабатываемой самим потенциометром. На рисунке 1 приведена простейшая принципиальная схема потенциометра, которая поясняет принцип компенсационного метода измерения. Ток от источника питания E проходит через калиброванное проволочное сопротивление (реохорд). В зависимости от положения скользящего контакта (точка B) с реохорда снимается то или иное напряжение:

$$U_{AB} = I \cdot R_{AB},$$

где R_{AB} – сопротивление реохорда на участке AB ;
 I – ток на этом участке, называемый рабочим током потенциометра.

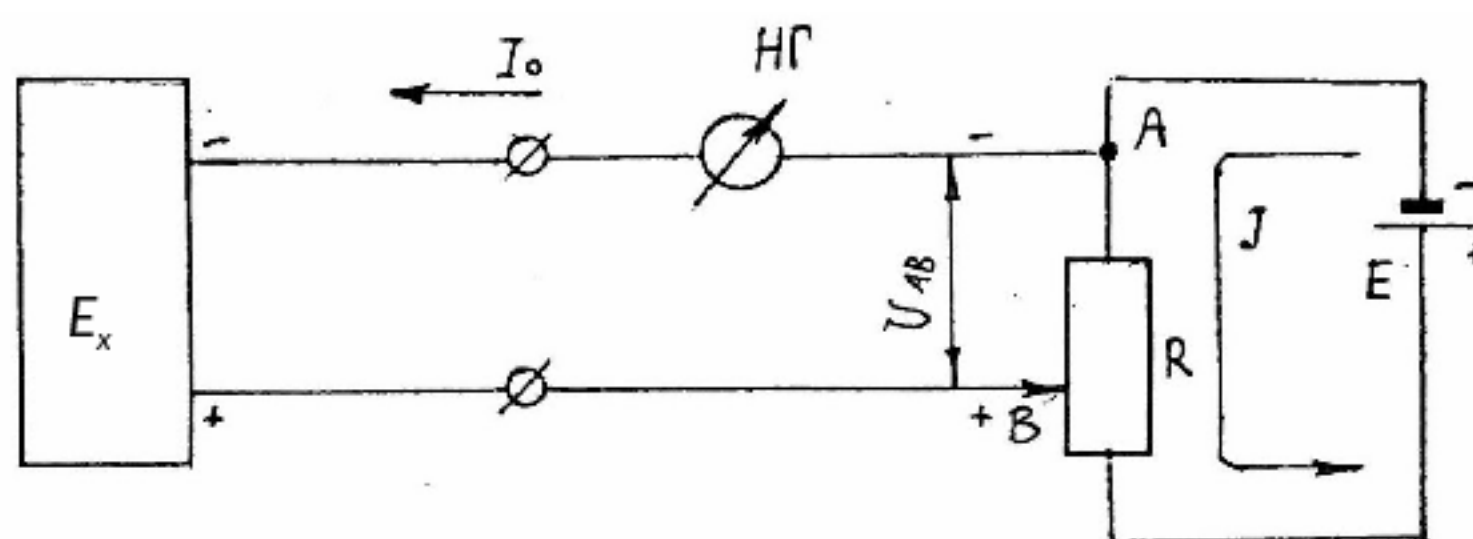


Рисунок 1 – Принципиальная схема потенциометра

Именно напряжение U_{AB} используется для компенсации неизвестной (измеряемой) ЭДС E_x . Для этого источник E_x подключается к потенциометру так, чтобы ЭДС E_x и компенсирующее напряжение были направлены навстречу друг другу

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 201000043E9AB8B452205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

(рисунок 1). Если ток в цепи E_X равен нулю, то измеряемая ЭДС компенсирована напряжением U_{AB} :

$$E_X = U_{AB} = I \cdot R \quad (1)$$

В самом деле, равенство (1) есть не что иное, как запись второго закона Кирхгофа для контура источника E_X , при условии, что $I_0 = 0$. Поэтому момент, когда $I_0 = 0$, называют моментом компенсации или равновесия, а равенство (1) – уравнением компенсации. Изображение токов на рисунке 1 и последующих схемах соответствует моменту компенсации, когда ток течет только в контуре источника питания E . Этот ток одинаков во всех элементах контура E и, следовательно, равен рабочему току. Ток I_0 в цепи источника E_X называется током небаланса, поскольку он является мерой отклонения схемы потенциометра от равновесия. Индикатором наличия тока I_0 служит чувствительный нуль-гальванометр $НГ$.

Уравнение компенсации (1) позволяет сделать следующие выводы:

1. В момент компенсации значение сопротивления линейно связано с величиной измеряемой ЭДС E_X . Следовательно, по положению движка реохорда можно найти значение E_X .

Для этого необходимо предварительно добиться компенсации, перемещая движок B и пользуясь показаниями нуль-гальванометра $НГ$. Естественно движок реохорда следует кинематически связать с показывающей стрелкой потенциометра. В простейшем случае шкалу наносят непосредственно на реохорд, а стрелкой служит его движок. В настоящее время промышленность выпускает потенциометры, как с ручным, так и с автоматическим уравниванием.

2. Результат измерения не зависит от величины сопротивления соединительных проводов, связывающих источник E и потенциометр, а также от сопротивления нуль-гальванометра $НГ$ и источника E_X . Причина, очевидно в том, что в момент измерения указанные элементы обесточены ($I_0 = 0$), т.е. в компенсационном характере измерения. Иное дело – метод непосредственного отсчета с помощью милливольтметра. Действительно, положение стрелки милливольтметра определяется током, проходящим через него. Ток же зависит не только от величины измеряемой ЭДС E_X , но и от сопротивления элементов измерительной схемы, в частности, соединительных проводов и источника E_X . Самое неприятное заключается в том, что температура в месте расположения этих элементов может изменяться. В результате изменяется их сопротивление, и возникает так называемая температурная погрешность. Таким образом, преимущество потенциометрического метода измерения ЭДС является отсутствие температурной погрешности.

3. Связь между измеряемой ЭДС E_X и положением движка реохорда, однозначна только при условии постоянства рабочего тока I .

Это условие выполняется само собой, когда источник питания E имеет стабильную ЭДС. Ведь согласно второму закону Кирхгофа, можно в момент компенсации записать для контура E :

$$E = I \cdot (R + R_E) \quad (2)$$

где R_E – внутренне сопротивление источника питания E .

Из равенства (2) следует выражение для рабочего тока I :

$$I = \frac{E}{R + R_E}, \quad (3)$$

которое показывает, что величина рабочего тока определяется значением ЭДС источника питания E .

1.2. Устройство и принцип действия потенциометра с ручным уравниванием

На рисунке 3 показана схема переносного потенциометра типа *ПП*, который используется в настоящей работе как контрольный прибор. Особенность *ПП* заключается в том, что его реохорд состоит из двух частей: непрерывной r_0 и секционированной, включающей шесть секций ($r_1, \dots, r_6$). Компенсирующее напряжение U_{AB} снимается со скользящего контакта B непрерывной части реохорда и с общей точки A переключателя Π_1 секционированной части. Перемещение контакта B позволяет снимать с непрерывной части компенсирующее напряжение от 0 до 11 мВ, а подключение каждой из секций $r_1, \dots, r_6$ добавляет к этому напряжению по 10 мВ. Таким образом, с помощью *ПП* можно выработать компенсирующее напряжение, а значит и измерять ЭДС в диапазоне от 0 до 71 мВ. При измерении переключатель рода работ Π_2 следует поставить в положение «И» (измерение).

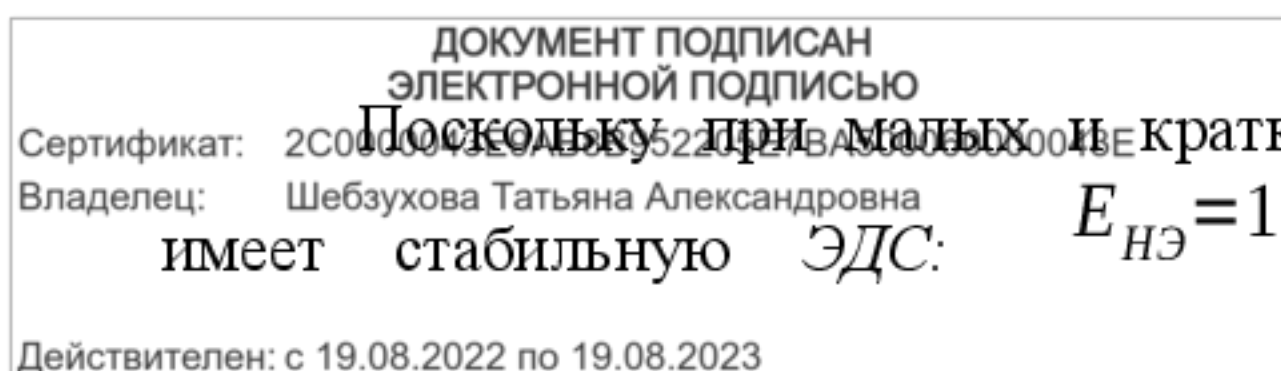
В потенциометре типа *ПП*, в качестве автономного источника питания служит батарея сухих элементов E . Так как, в процессе работы батарея разряжается, уменьшая свою ЭДС, то в таких потенциометрах предусмотрена возможность установки рабочего тока I , т.е. вывода его на постоянное, расчетное значение. Для этого в схему (рисунок 2) введены дополнительные элементы: установочный реостат R_y , постоянное сопротивление $R_{НЭ}$ и нормальный элемент $НЭ$.

Установка рабочего тока I производится также компенсационным методом и заключается в следующем. Переключатель Π_2 устанавливают в положение «К» (контроль), замыкая тем самым контур нормального элемента $НЭ$. Затем реостатом R_y изменяют ток в цепи источника питания E до тех пор, пока нуль-гальванометр не покажет, что ток небаланса $I_0 = 0$. В этот момент, очевидно, ЭДС нормального элемента $E_{НЭ}$ уравновешена падением напряжения на сопротивлении $R_{НЭ}$ (согласно второму закону Кирхгофа):

$$E_{НЭ} = I \cdot R_{НЭ}.$$

Отсюда следует, что рабочий ток I равен постоянной величине:

$$I = \frac{E_{НЭ}}{R_{НЭ}} = const, \quad (5)$$



Поскольку при малых и кратковременных нагрузках нормальный элемент $НЭ$ имеет стабильную ЭДС: $E_{НЭ} = 1.0185 \text{ мВ}$. После установки рабочего тока

переключатель Π_2 ставят в положение «И» и переходят к измерению неизвестной ЭДС E_x , как описано выше.

Уравновешивание (компенсация) в потенциометре типа *ПП* осуществляется вручную как при измерении (с помощью реохорда R), так и при установке рабочего тока (с помощью реостата R_y). Следует отметить, что установка рабочего тока производится не перед каждым замером, а периодически, время от времени, по мере разрядки батареи E . Переключатель Π_2 имеет третье, среднее положение, в котором разомкнуты все контуры потенциометра, в том числе (на схеме это не показано) контур источника питания E .

На рисунке 3 изображена лицевая панель переносного потенциометра типа *ПП*. Условные обозначения отдельных устройств здесь те же, что и на рисунке 2. Поскольку точность *ПП* в значительной степени определяется работой нуль-гальванометра *НГ*, прежде всего, следует с помощью корректора, находящегося на корпусе *НГ* (рисунок 3), установить стрелку последнего на нулевую отметку. Эта операция производится при среднем положении переключателя Π_2 и называется установкой механического нуля.

Далее необходимо переставить Π_2 в положение «К» и установить рабочий ток. После этого потенциометр готов к измерению ЭДС.

Отметим несколько практических замечаний.

1. Недопустимо производить установку механического нуля после установки рабочего тока или путать соответствующие положения переключателя Π_2 .

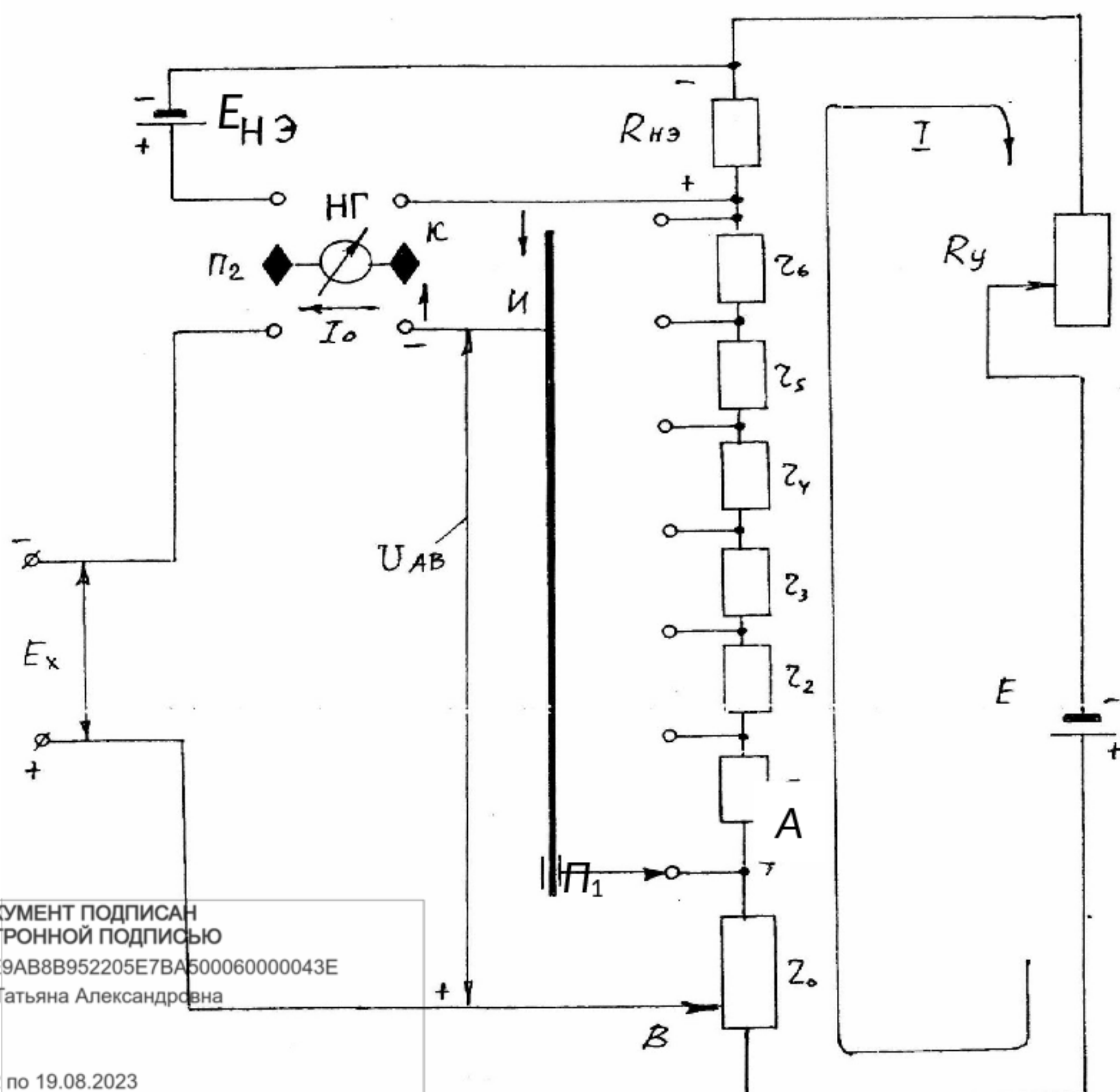


Рисунок 2 – Схема переносного потенциометра типа *III*

2. Важно научиться правильно считывать показания потенциометра. Число, на которое указывает стрелка переключателя Π_1 – есть вклад секционированной части реохорда (рисунок 2) в компенсирующее напряжение потенциометра. Если, например, переключатель Π_1 показывает 30 мВ , а стрелка непрерывной части r_0 реохорда – 8.2 мВ , то компенсирующее напряжение и измеряемая ЭДС равна 38.2 мВ , т.е. сумме этих чисел.

3. При окончании работы или при перерыве в измерениях следует выключить *ПП*, т.е. поставить переключатель P_2 в среднее положение, чтобы попусту не разряжать батарею E . Между прочим, переключатель P_2 устроен так, что его нельзя оставить забытым в положении «*К*». Тем самым исключена возможность случайных длительных нагрузок на нормальный элемент *НЭ* и преждевременного выхода его из строя.

4. Полярность подключения источника измеряемой ЭДС к потенциометру обозначена на панели (рисунок 3) рядом с клеммами *III* и должна строго соблюдаться, иначе не удастся произвести измерения.

1.3. Устройство и принцип действия автоматического потенциометра

Уравновешивание в потенциометре может производиться и автоматически. На рисунке 4 показано, как можно автоматизировать простейшую схему потенциометра, рассмотренную ранее (рисунок 1).

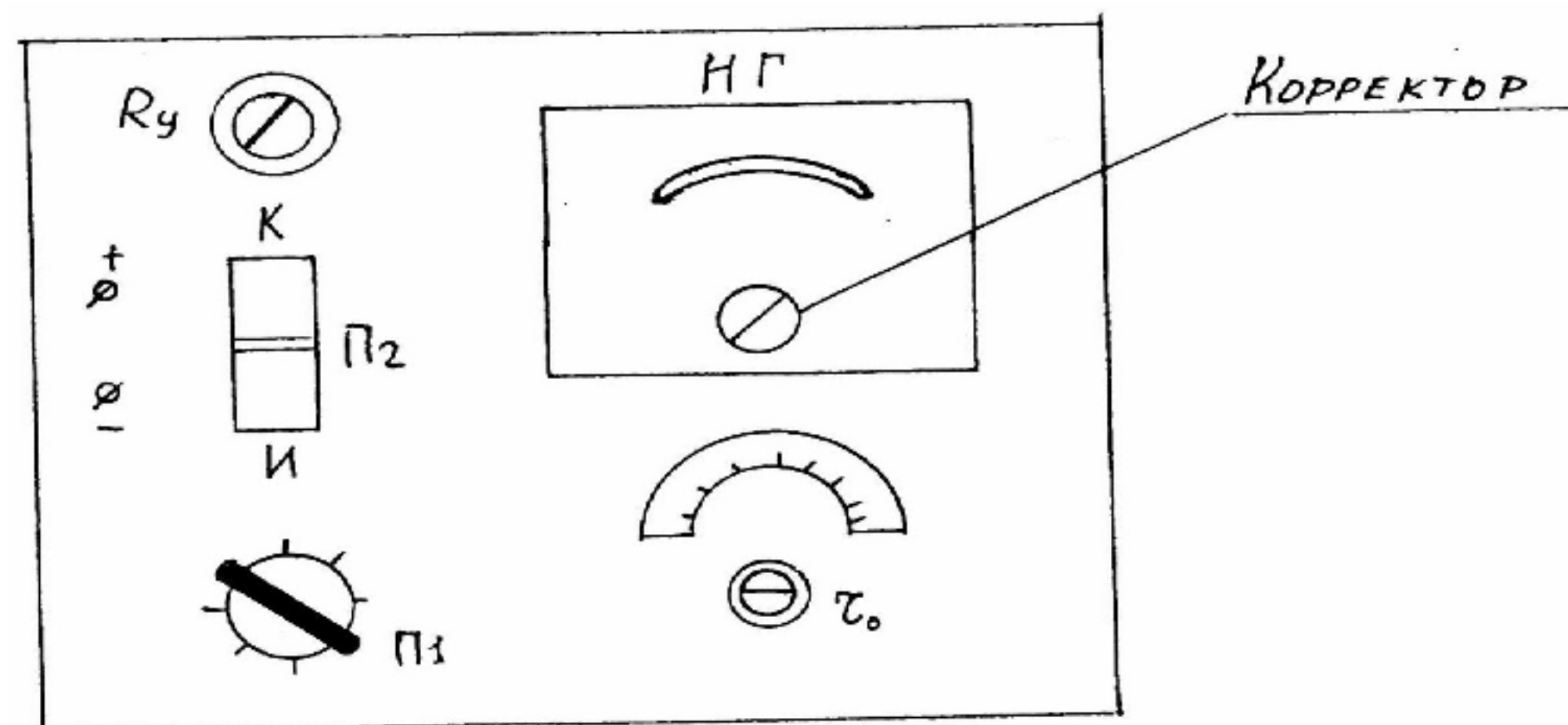


Рисунок 3 – Лицевая панель переносного потенциометра

Роль нуль-гальванометра выполняет электронный усилитель ЭУ, на вход которого поступает напряжение небаланса:

$$\Delta U = U_{AB} - E_X$$

Усиленное напряжения ΔU приводит во вращение реверсивный двигатель $РД$, который перемещает движок реохорда до тех пор, пока не будет уничтожен небаланс

ΔU , т.е. пока схема не придет в равновесие. Одновременно двигатель $PД$ перемещает показывающую стрелку C . В автоматическом потенциометре используется стабилизированный источник питания $ИПС$, имеющий стабильное напряжение. Поэтому рабочий ток I также стабилен и не нужно заботиться о его установке.

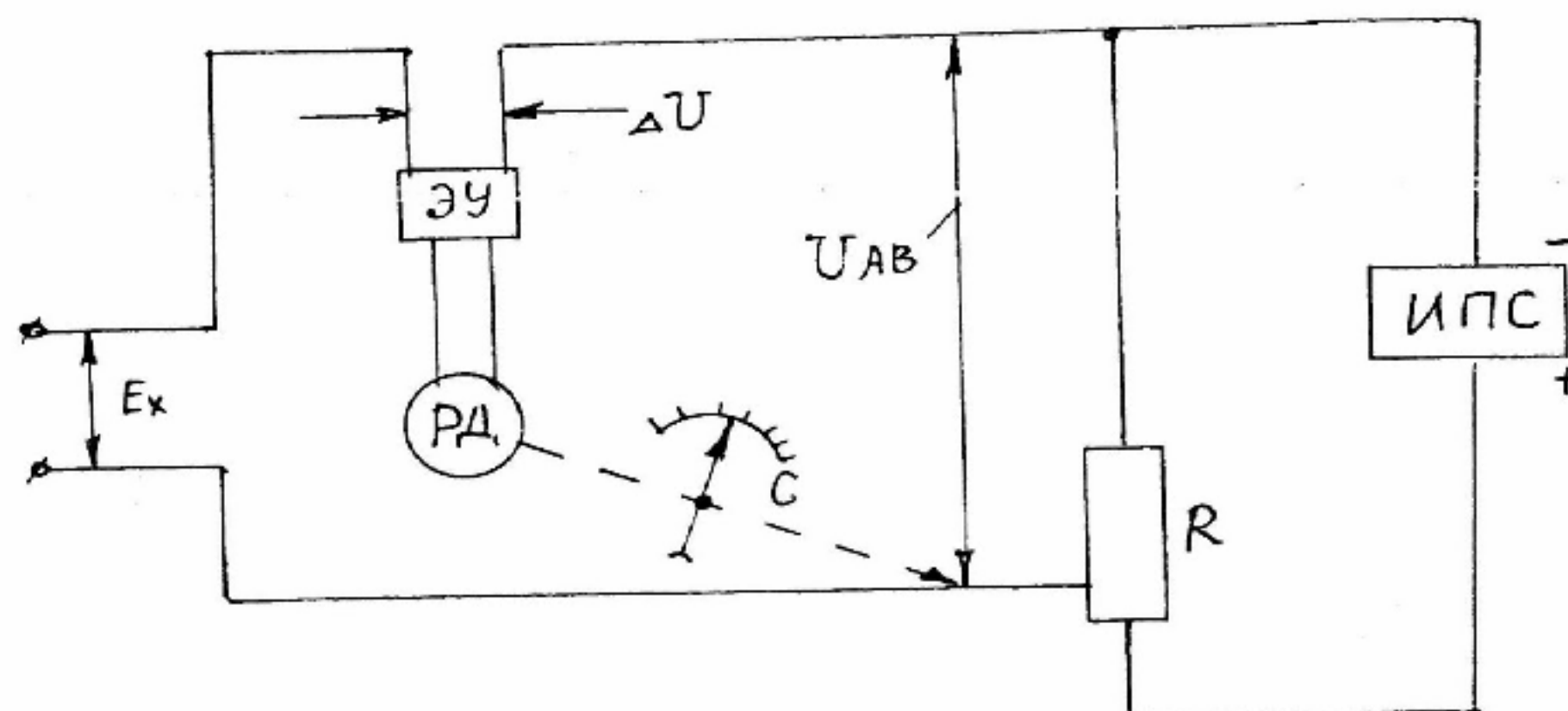


Рисунок 4 – Простейшая принципиальная схема автоматического потенциометра

Автоматический потенциометр, предназначен для измерения температуры в промышленных условиях. Его шкала проградуирована непосредственно в градусах Цельсия. Это означает, что потенциометр должен работать в комплекте с определенной термопарой, тип которой указан на шкале прибора, например XK (хромель-копель).

Принципиальная схема автоматического потенциометра представлена на рисунке 5. Также, как и в предыдущей, простейшей схеме (рисунок 4), реверсивный двигатель $PД$ перемещает движок B реохорда R до тех пор, пока не будет уничтожен небаланс:

$$\Delta U = U - E_T, \quad (6)$$

где E_T – ТЭДС;
 U – компенсирующее напряжение.

Однако, электрическая цепь, формирующая компенсирующее напряжение U , отличается от рассмотренной ранее. Это связано с необходимостью ввода поправки на температуру холодных спаев температуры t_0 . Дело в том, что шкала потенциометра построена в соответствии с градуировочной таблицей температуры, т.е. в расчете на то, что $t_0 = 0^\circ C$. На самом же деле холодные спаи в промышленных условиях не термостатируют, поэтому $t_0 > 0^\circ C$. Следовательно, истинная ЭДС E_T будет меньше табличной $E_T^{табл}$ на некоторую величину

$$\Delta E_T : E_T = E_T^{табл} - \Delta E_T \quad (7)$$

Ошибку ΔE_T можно с достаточной точностью считать линейной функцией температуры холодных спаев t_0 , так как t_0 обычно невелика и измеряется в узком диапазоне:

$$\Delta E_T = K \cdot t_0, \quad (8)$$

где K – константа, зависящая от типа термопары и легко вычисляется по градуировочной таблице.

Схема автоматического потенциометра (рисунок 5) выполнена так, что при изменении температуры холодных спаев от 0°C до $t_0 > 0^{\circ}\text{C}$ из компенсирующего напряжения U вычитается в точности ΔE_T милливольт.

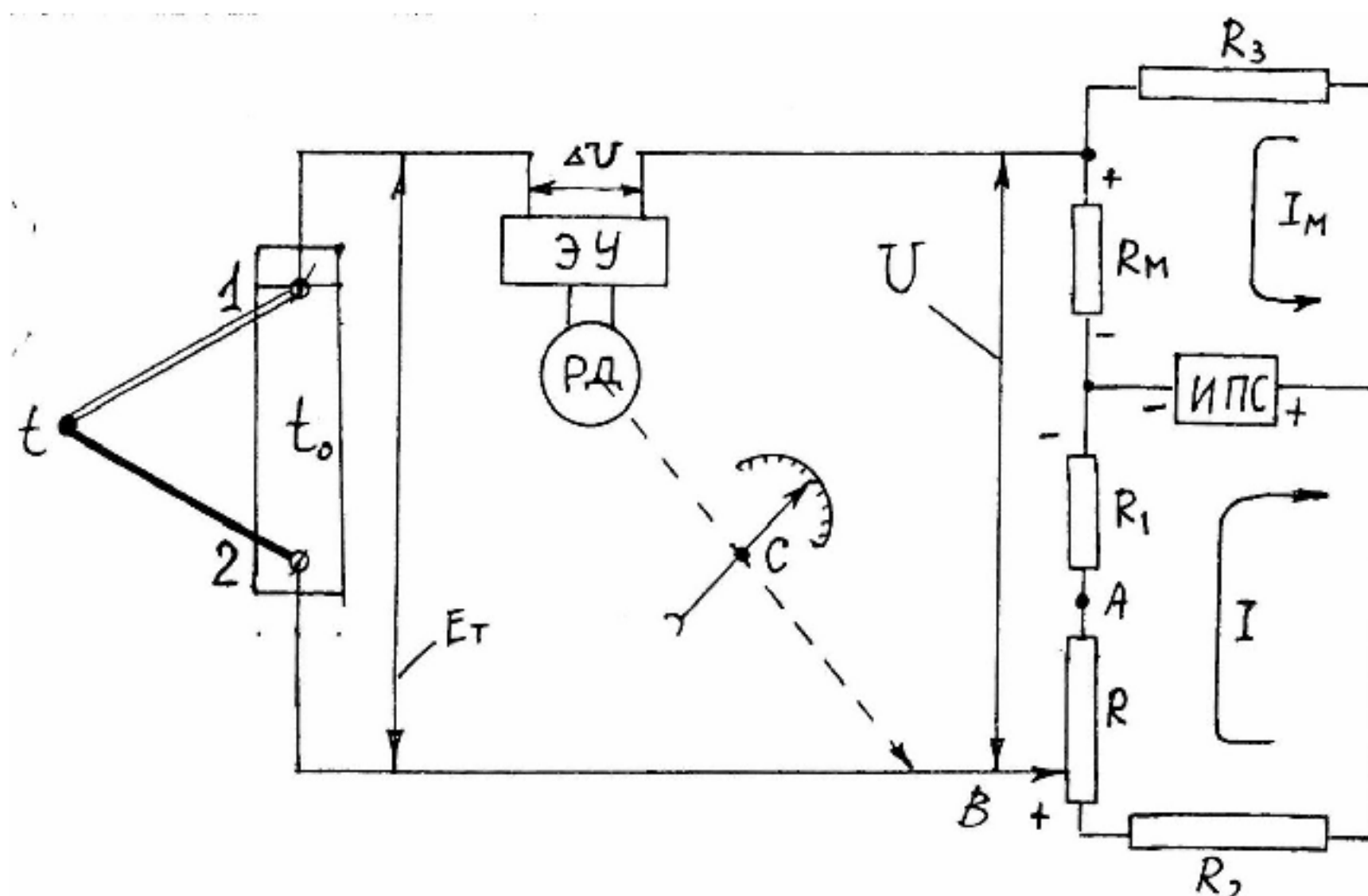


Рисунок 5 – Принципиальная схема автоматического потенциометра

В итоге, изменение t_0 не влияет на величину небаланса ΔU (формула 6), а значит, и на показания потенциометра. Для этого, во-первых, холодные концы термопары подключены непосредственно к зажимам 1 и 2 потенциометра, которые становятся таким образом холодными спаями. Во-вторых, сопротивление R_M расположено около зажимов 1 и 2, т.е. имеет температуру t_0 .

Сопротивление R_M сделано из меди, поэтому при изменении t_0 его значение меняется, вызывая соответствующее изменение компенсирующего напряжения U . Можно так подобрать параметры электрической схемы, что изменение температуры t_0 будет влиять на ТЭДС E_T и на компенсирующее напряжение одинаково, не внося тем самым погрешности в измерение.

Оборудование и материалы

Для выполнения лабораторной работы предусмотрены компьютерные классы, оснащенные ПК, а также системное программное обеспечение – ОС MS Windows 7 и приложения Office (Excel Word, Access и т.п.).

Указания по технике безопасности

Лабораторная работа проводится на ПЭВМ. Запрещается прикасаться к задней панели системного блока при включенном питании, переключать разъемы интерфейсных кабелей периферийных устройств, загромождать верхние панели устройств бумагами и посторонними предметами, допускать попадание влаги на поверхность системного блока, монитора, клавиатуры и других устройств.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Порядок выполнения работы
Задание 1. Измерение температуры потенциометром
Показания потенциометра не зависят от происхождения измеряемой ЭДС.
Следовательно, потенциометром можно измерить любой параметр, предварительно

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен с 19.08.2022 по 19.08.2023

преобразовав его в разность потенциалов. Для измерения температуры потенциометр применяется в комплекте с термопарой, которая преобразует измеряемую температуру в разность потенциалов, называемую термоэлектродвижущей силой ($TЭДС$). При этом термопара является датчиком (первичным прибором в схеме измерения), а потенциометр – вторичным прибором.

Термопара (рисунок 6) представляет собой устройство, состоящее из двух разнородных проводников (термоэлектродов) A и B . Место соединения двух электродов A и B – рабочий спай термопары – помещают в среду, где измеряется температура. Рабочий спай называют также горячим, поскольку с помощью термопар измеряют, как правило, высокие температуры. Свободные (холодные) концы термоэлектродов подключаются непосредственно к потенциометру или к соединительным проводам, идущим к потенциометру, с помощью зажимов 1 и 2 , называемых холодными спаями.

Величина $TЭДС$ E_T определяется температурами спаев t , t_0 и материалом термоэлектродов. Для каждого типа применяемых термопар имеется градуировочная таблица, дающая связь между $TЭДС$ и температурой горячего спая t при температуре холодных спаев $t_0 = 0^\circ C$.

В лабораторных условиях холодные спай часто помещают в тающий лед, при этом измеренная $TЭДС$ E_T совпадает с табличной $E_T^{табл}$ и таблица сразу дает значение измеряемой температуры.

Если же холодные спай находятся не в термостате, а непосредственно в цеху (лаборатории), где обычно $t_0 > 0^\circ C$, то измеренная $TЭДС$, очевидно меньше табличной.

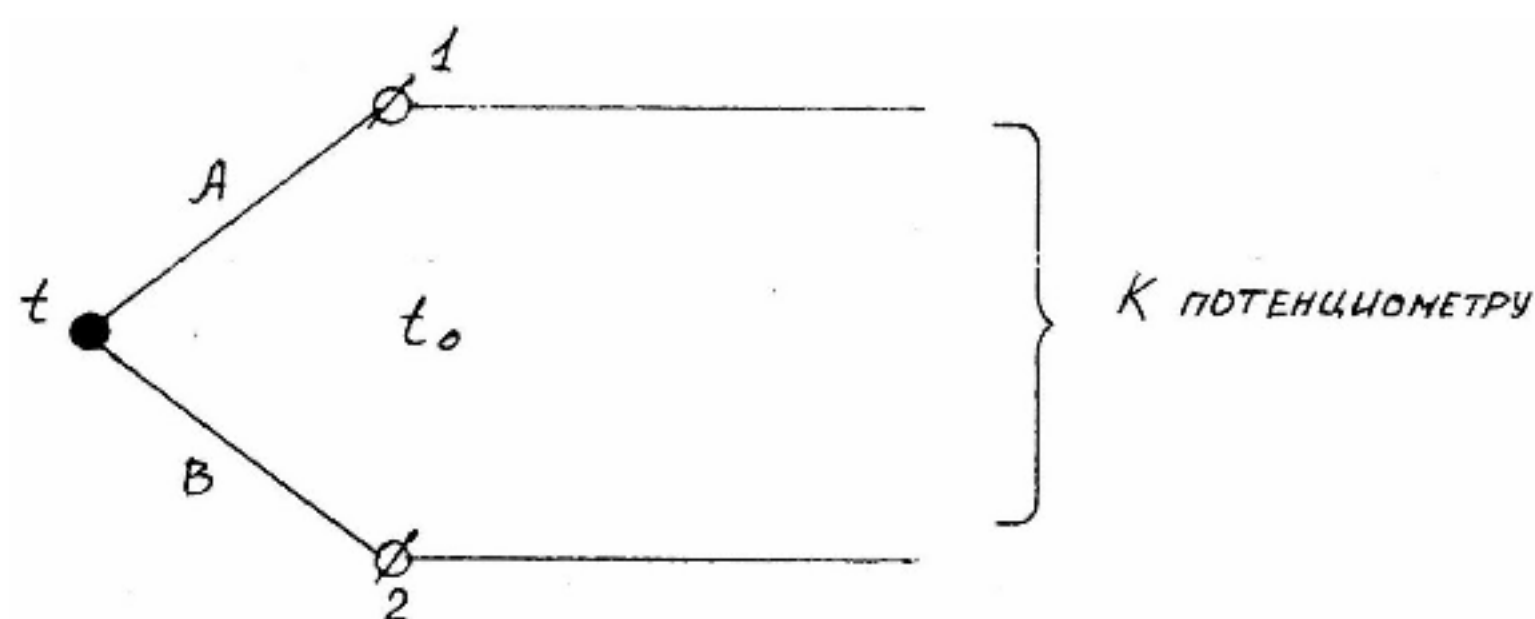


Рисунок 6 – Термопара

В этом случае, чтобы перейти к табличной $TЭДС$ $E_T^{табл}$, надо прибавить к измеренной $TЭДС$ E_T поправку ΔE_T , которая, как известно из теории, также равна табличной $TЭДС$, взятой при температуре холодных спаев t_0 :

$$E_T^{табл}(t) = E_T(t) + E_T^{табл}(t_0) \quad (4)$$

Таким образом, здесь таблица используется дважды: сначала для определения поправки $\Delta E_T = E_T^{табл}(t_0)$, а затем – для определения искомой температуры t .

Задание 2. Градуировка автоматического потенциометра.

Градуировка автоматического потенциометра осуществляется следующим образом:

1. Выпаиваются катушки сопротивлений R и R .
2. К освободившимся клеммам необходимо подпаять соединительные провода и подключить магазины сопротивлений, на которых необходимо выставить рассчитанные значения R и R .
3. С помощью УПППа подать на потенциометр значения ЭДС соответствующие начальному и конечному значениям шкалы. По звуку работы асинхронного двигателя определяют, установилась стрелка на границах шкалы или нет. Если стрелка не установилась, то осуществляют подгонку нижнего и верхнего значений шкалы прибора, проделав 5-6 операций приближений.
4. Уточнив значения сопротивлений, рассчитывают длину провода для изготовления катушек сопротивлений. Длину провода берут с избытком порядка 10 см. Концы проводов защищают и изготавливают катушки.
5. Выпаивают соединительные провода и подпаивают катушки. Затем вновь подают значения ЭДС соответствующие начальному и конечному значений шкалы. Если стрелка не устанавливается, то для подгонки необходимо использовать избыток проволоки. Зачистив один конец, осуществляют подпайку через каждые 5–3 мм проволоки, проверяя границы шкалы прибора.
6. После подгонки укрепляют катушки, изготавливают шкалу и проводят поверку.

Задание 3. Поверка автоматического потенциометра

Поверкой прибора называется проверка его точности путем сравнения его показаний с показаниями более точного (контрольного) прибора.

Схема стенда для поверки изображена на рисунке 7. Роль контрольного прибора выполняет переносной потенциометр типа ПП, работа которого описана в разделе 4. В качестве источника измеряемой ЭДС, вместо термопары используется источник регулируемого напряжения ИРН, хотя поверяемый автоматический потенциометр и предназначен для работы в комплекте с термопарой. Это упрощает эксперимент, так как отпадает необходимость нагрева источника измеряемой ЭДС. Напряжение с ИРН поступает параллельно на рабочий (поверяемый) и контрольный потенциометры.

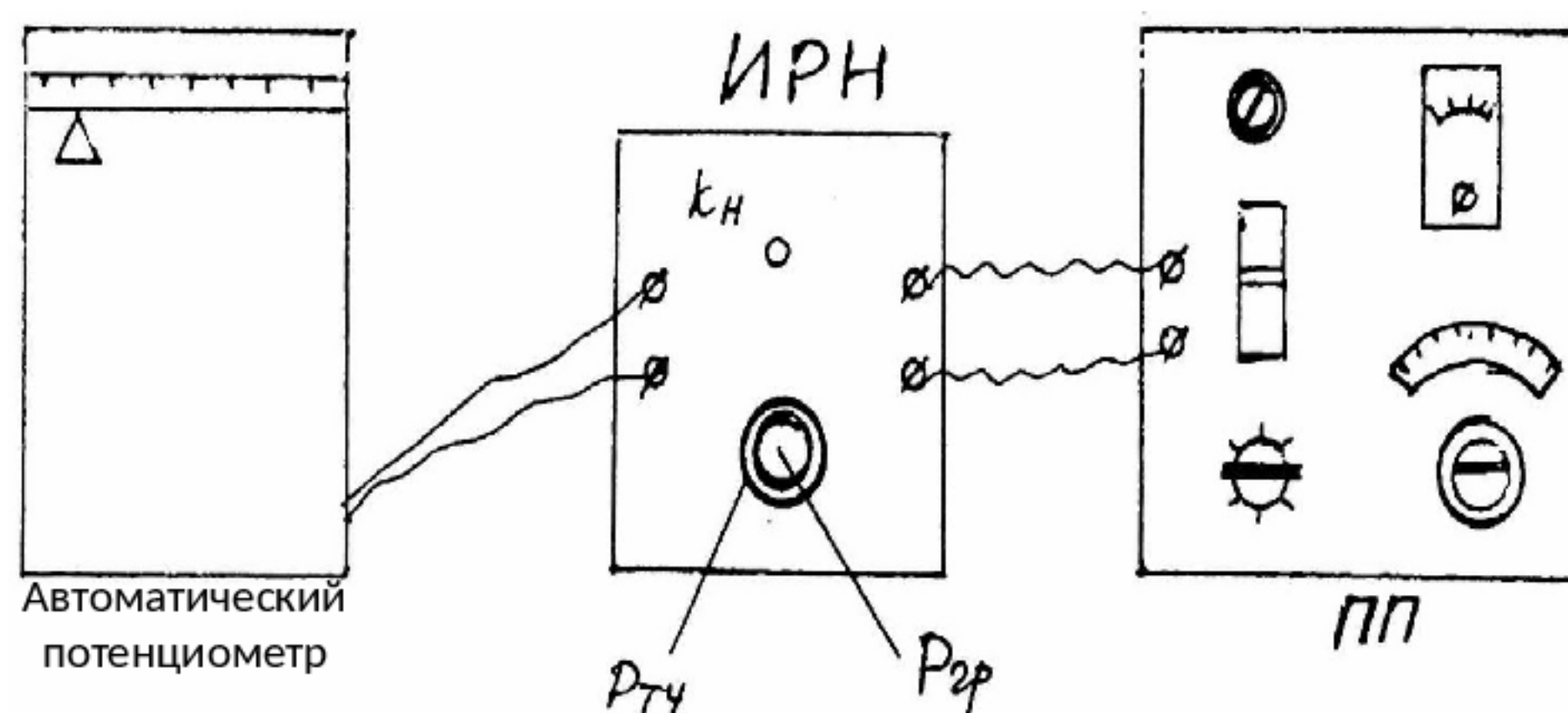


Рисунок 7 – Схема стенда для поверки потенциометра

ИРН представляет собой батарею сухих элементов с реостатами для регулировки напряжения E_x снимаемого с батареи. Чтобы включить ИРН, т.е. подать напряжение на его выходные клеммы, следует нажать кнопку K_H на его панели (рисунок 8).

Документ подписан
Электронной подписью
Сертификат: 2C0000043E9ABF952205E7BA500060000043E
Владелец: Шабзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Кнопку K_H можно зафиксировать в нажатом состоянии, для этого надо после нажатия повернуть ее примерно на четверть оборота. Освобождается кнопка поворотом в обратном направлении, при этом накоротко замыкаются выходные клеммы $ИРН$, так что $E_X = 0$. Значение и полярность напряжения E_X изменяют вращением рукояток $P_{гр}$ и $P_{тч}$ реостатов грубой и точной регулировки. В случае выхода из строя потенциометра типа $ПП$ в схему проверки можно подключить прибор типа $УПП$, который совмещает в себе функции $ПП$ и $ИРН$.

Задание 4. Особенность методики проверки

Подав на оба потенциометра напряжение E_X , мы не можем непосредственно сопоставить их показания, поскольку переносной потенциометр показывает само напряжение E_X , а автоматический – температуру t , соответствующую напряжению E_X . Поэтому, имеется градуировочная таблица той термопары, на работу с которой рассчитан автоматический потенциометр. Пользуясь таблицей, можно перевести милливольты в градусы, и наоборот.

Однако при переводе надо учитывать, что в результате замены термопары источником регулируемого напряжения, к зажимам потенциометра подходят не электроды термопары, а обычные медные провода. Таким образом, зажимы потенциометра, расположенные внутри его корпуса, уже не являются холодными спаями термопары. Тем не менее схема автоматического потенциометра по-прежнему вводит поправку на температуру зажимов t_0 , т.е. добавляет к измеряемому напряжению E_X величину $E_T^{табл}(t_0)$. Поэтому, если на автоматический потенциометр подано с $ИРН$ напряжение E_X , то он должен показать расчетную температуру $t_{расч}$, соответствующую табличной ТЭДС:

$$E_T^{табл}(t_{расч}) = E_X + E_T^{табл}(t_0) \quad (9)$$

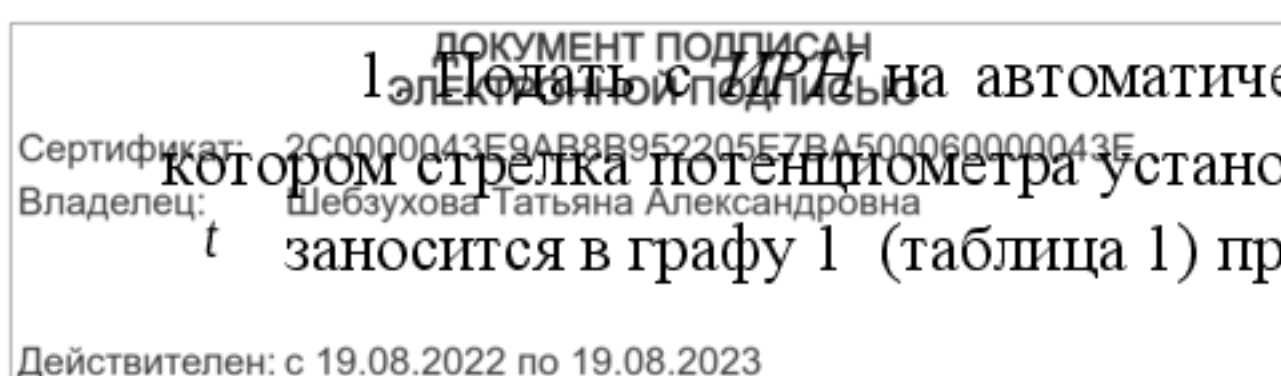
Слова «должен» и «расчетную» подчеркивают, что на самом деле автоматический потенциометр покажет температуру t , несколько отличную от расчетной $t_{расч}$, в связи с тем, что точность его ограничена. Очевидно, разность $\Delta t = t - t_{расч}$, представляет собой абсолютную ошибку прибора в точке t .

Из равенства (9) следует, в частности, что при выключенном $ИРН$, т.е. при $E_X = 0$, автоматический потенциометр показывает температуру своих зажимов t_0 .

Задание 5. Проведение эксперимента

Автоматический потенциометр необходимо поверить во всех оцифрованных точках (снабженных цифрами точках) шкалы. Поверка производится дважды: сначала при прямом ходе (когда показания растут от замера к замеру), а затем, при обратном ходе (когда стрелка движется от конца к началу шкалы). Для каждой проверяемой отметки шкалы надо проделать следующие операции:

1. Подать с $ИРН$ на автоматический потенциометр такое напряжение E_X , при котором стрелка потенциометра установится на проверяемой отметке шкалы t . Значение t заносится в графу 1 (таблица 1) протокола проверки.



3. Выключить *ИРН* и занести в графу 3 показание автоматического потенциометра при $E_X=0$, т.е. температуру поправки t_0 .

1. При проверке начальных точек шкалы может оказаться, что на автоматический потенциометр надо подавать отрицательное напряжение E_X . Чтобы измерить его в этом случае с помощью *ПП*, требуется поменять концы проводов на зажимах *ПП*.

2. Температура t_0 (внутри поверяемого потенциометра) со временем несколько повышается из-за тепловыделения электронных ламп. Поэтому ее необходимо определять при каждом поверочном замере, а не один раз за всю поверку.

Автоматический потенциометр тип _____, № _____,
Класс точности ____, градуировка ____, имеющий шкалу от __ до __
Проверку прошел и признан _____.

Замеры		Поверяемая отметка шкалы	Напряжение ИРН	Температура поправки	Напряжение поправки	Табличная ТЭДС	Расчетная температура	Абсолютная погрешность	Относительная приведенная погрешность
		$t, ^\circ\text{C}$	$E_K, \text{мВ}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$E_T^{\text{табл}}(t_0), \text{мВ}$	$E_T^{\text{табл}}(t_{\text{расч}}), \text{мВ}$	$t_{\text{расч}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\delta, \%$
		1	2	3	4	5	6	7	8
Прямой	1								
	...								
	...								
	8								
Обратный	1								
	...								
	...								
	8								

1. По данным графы 3 протокола, пользуясь градуировочной таблицей, найти поправку $E_T^{табл}(t_0)$, вводимую потенциометром на температуру t_0 . Результат заносится в графу 4;

2. Внести поправку согласно формуле (9), т.е. найти $E_T^{табл}(t_{расч})$ (графа 5);

[illegible]

3. Пользуясь градуировочной таблицей, восстановить по $E_T^{табл}(t_{расч})$ расчетную температуру $t_{расч}$ (графа 6).

Далее следует, сравнивая данные граф 1 и 6 протокола, т.е. показания поверяемого и контрольного потенциометров, найти абсолютную ошибку автоматического потенциометра:

$$\Delta t = t - t_{расч}$$

и занести ее значение в графу 7 протокола поверки.

Наконец, для той из поверяемых точек, где максимальна абсолютная ошибка Δt , необходимо вычислить относительную приведенную погрешность δ (графа 8):

$$\delta = \frac{\Delta t_{max}}{N_{max} - N_{min}} \cdot 100\% \quad (10)$$

где N_{max} и N_{min} – соответственно верхняя и нижняя точки шкалы автоматического потенциометра.

Сравнив эту погрешность с максимально допустимым для данного прибора значением (класс точности), следует сделать заключение о годности или негодности прибора. Класс точности автоматического прибора указан на его шкале в кружке, например 1.5.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность потенциометрического метода измерения ЭДС?
2. Что такое рабочий ток и ток небаланса потенциометра?
3. Почему в автоматическом потенциометре не нужна установка рабочего тока?
4. Что в автоматическом потенциометре производится автоматически?
5. Почему реверсивный двигатель не останавливается до тех пор, пока не уничтожено напряжение небаланса?
6. Почему автоматический потенциометр должен работать в комплекте с определенной термопарой?
7. Что называется поверкой измерительного прибора?
8. Что служит аналогом нуль-гальванометра в автоматическом потенциометре?
9. Почему рабочий ток должен быть стабильным?
10. Чем компенсирует потенциометр измеряемую ЭДС?
11. Какое преимущество дает компенсационный характер потенциометрического метода по сравнению с методом непосредственного отсчета?
12. Чему равно предельное значение ЭДС E_X , которую способен измерить потенциометр?
13. Можно ли, имея два потенциометра типа ПП, измерить напряжение свыше 71 мВ?
14. Как и зачем вводят поправку на температуру холодных спаев?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Измерение линейных размеров с помощью штангенинструментов и обработка измерений с

многократными наблюдениями

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Сертификат: 250000043E9AB0B352205E7BA900060000043E Владелец: ООО "Лева Таштаганский завод" Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023	Цель работы: изучение устройства и получение навыков измерения линейных размеров штангенинструментами и обработка измерений с многократными наблюдениями.
--	---

Теоретическая часть

2.1. Устройство и эксплуатация штангенинструментов

Штангенинструменты используются для измерения линейных размеров, которые не требуют высокой точности измерений. Эти инструменты для повышения точности измерений используют дополнительную нониусную шкалу.

Нониусное отсчетное устройство

На нониусной шкале линейки длина дополнительной шкалы l (рис. 1) равна целому числу делений основной шкалы, но количество делений на единицу больше. Интервал деления шкалы нониуса будет равен:

$$b = \frac{c(n-l)}{n} = \frac{1}{n}$$

где c – цена деления основной шкалы; l – длина шкалы нониуса, n – число делений нониуса.

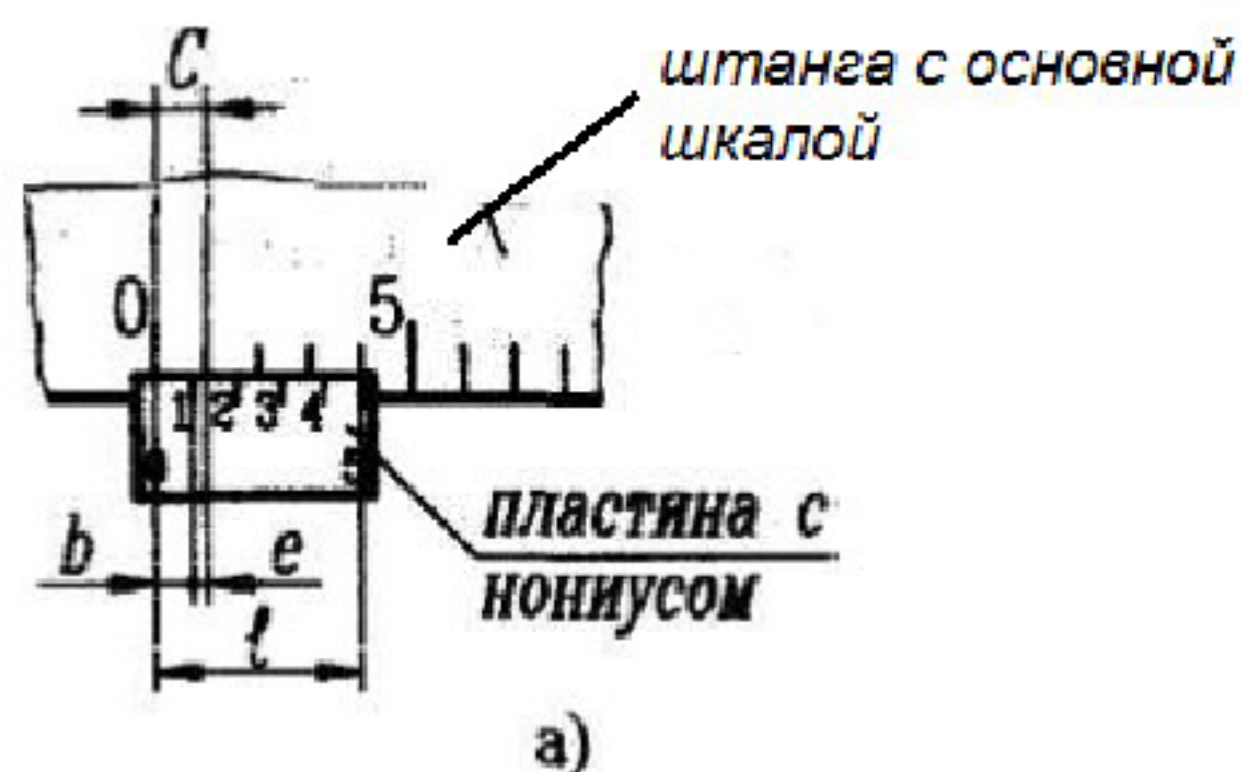


Рис. 1. Нониусное отсчетное устройство.

Отсчет по нониусу определяется из уравнения $e = c - b$, подставив значение b , получим:

$$e = c - \frac{c(n-l)}{n} = \frac{c}{n}$$

Допустим (см. рис. 2) $c = 1$ мм, тогда e будет равно 0,2 мм.

2.2. Особенности устройства и применения штангенциркулей

Различают три типа штангенциркулей: ШЦ-1 с двусторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений и с линейкой для определения глубин (рис. 2, а), ШЦ-П - с двусторонним расположением губок для измерения и для разметки (рис. 2, б), ШЦ-Ш- с односторонними губками для наружных и внутренних измерений (рис. 2, г). Технические характеристики штангенциркулей приведены в [2, 4, 7]. Штангенциркуль (см. рис. 2) состоит из штанги 7, неподвижных губок 1, изготовленных заодно со штангой, рамки 3 с подвижными губками 2, нониуса 10 и рамки 6. Рамки 3 и 6 соединены между собой микрометрическим винтом с гайкой 9. При помощи этого устройства осуществляется точная подача рамки 3.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

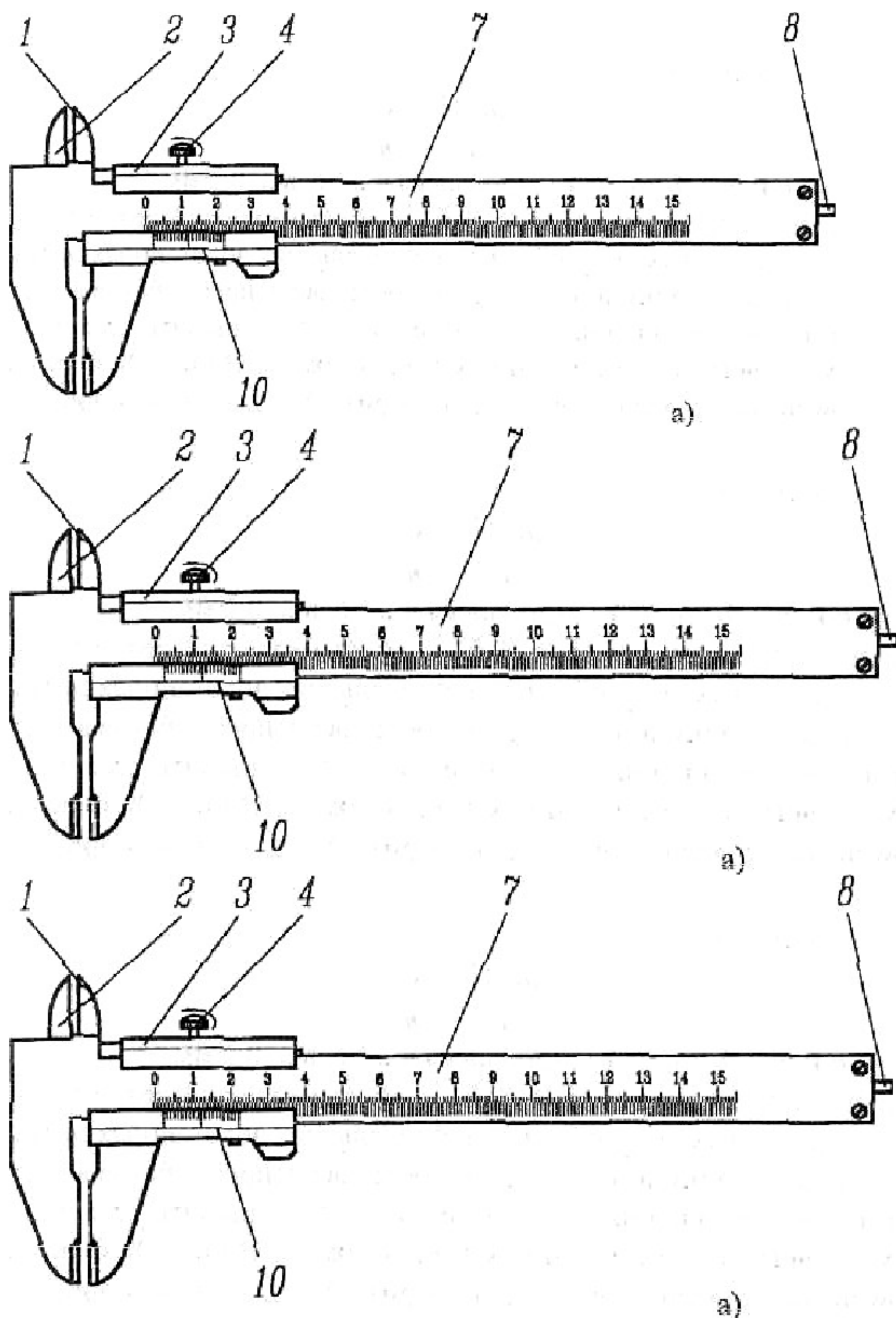


Рис. 2. Штангенциркули: а - ШЦ I; б – ШЦ II; в - ШЦ III; 1 - неподвижные губки; 2 – подвижные губки; 3 - рамка; 4 - зажим рамки; 5 - зажим рамки микрометрической подачи; 6 - рамка микрометрической подачи; 7 - штанга; 8 - линейка глубиномера; 9 - винт и гайка микрометрической подачи; 10 - нониус

Положение рамок 3 и 6 фиксируется винтами 4 и 5. В рамке 3 установлена плоская изогнутая пружина, которая обеспечивает постоянное прилегание рамки 3 к ребру штанги. Нижние губки предназначены для измерения как внутренних, так и наружных размеров. Верхние губки служат для измерения наружных размеров, а их заострённые концы – для выполнения разметочных работ.

Оборудование и материалы.

штангенциркуль ПЦ-1, детали для исследования

Порядок выполнения работы

Задание

- измерить заданный преподавателем размер детали несколько раз (по указанию преподавателя, результаты записать в таблицу).
- выполнить обработку измерений с многократными наблюдениями и дать заключение о годности детали.

Перечень инструментов и принадлежностей, необходимых для выполнения работы:
штангенциркуль ПЦ-1,

- Изучают инструкцию по технике безопасности при выполнении лабораторных работ.

- Вычерчивают эскиз детали с указанием на нем заданного размера.

- Изучают устройство штангенинструментов.

- Выбирают необходимый штангенинструмент.

- Измеряют заданный размер (см. раздел 3) с числом наблюдений n больше 4. Результаты наблюдения x_i , заносят в таблицу (см. таблицу далее).

- Исключают известные систематические погрешности из результатов наблюдений;

- вычисляют среднее арифметическое значение $\bar{X}$ измеряемой величины из n единичных результатов наблюдений x ;

- вычисляют среднюю квадратическую погрешность единичных измерений в ряду измерений S ;

- исключают промахи (грубые погрешности измерений);

- вычисляют среднюю квадратическую погрешность результатов измерений среднего арифметического S_x ;

- проверяют гипотезу о том, что результаты измерений распределяются по нормальному закону;

- вычисляют доверительные границы случайной погрешности результата измерения $\pm \epsilon$;

- -вычисляют доверительные границы неисключенной систематической погрешности результата измерения $\pm \theta$;

- вычисляют доверительные границы погрешности результата измерения $\pm (\Delta x)\Sigma$;

- представляют результат измерения в виде $X = x \pm (\Delta x)\Sigma$, P (P – доверительная вероятность);

- дают заключение о годности детали по заданному размеру.

Пример 1: при многократном измерении диаметра вала $\varnothing 15$ h14 (-0,430) штангенциркулем, получены следующие результаты: 15,00, 14,90, 14,85, 14,75, 15,00, 14,90, 14,95, 14,70, 14,95, 14,85, 15,00, 14,60. Неучтенная систематическая погрешность результата измерения, вызванная отклонением температуры вала от нормальной θ , = 2 мкм. Определить, является ли результат промахом и записать результат измерения с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

1. Вычислим среднее арифметическое значение измеряемой величины, мм:

$$(15,00+14,90+14,85+14,75+15,00+14,90+14,95+14,70+14,95+14,85+15,00+14,50)/12 = 14,8625 \text{ мм}$$

2. Среднее квадратическое отклонение:

Документ подписан ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	200000432345003220007643000000043E
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023	

$$s = \sqrt{\frac{3 \cdot (0,14)^2 + 2 \cdot (0,04)^2 + 2 \cdot (0,01)^2 + 0,11^2 + 2 \cdot (0,09)^2 + 0,16^2 + 0,36^2}{11}} \approx 0,19$$

мм.

3. Определим наличие (отсутствие) предполагаемого промаха x_{π} от $\bar{x}$

При числе измерений $n < 20$ и нормальном распределении результатов измерений целесообразно применять критерий Романовского (раздел 3). При $n=12$ получаем z_{π}

$= 2,52$, соответственно z , при этом вычисляют как

$z = (x_{\pi} - \bar{x}) / S = (14,86 - 14,50) / 0,19 \approx 2,1$, что меньше 2,52, значит, это не промах.

4. Вычисляют среднюю квадратическую погрешность результатов измерений среднего арифметического $S_{\bar{x}}$;

$$S_{\bar{x}} = 0,19 / \sqrt{12} \approx 0,057.$$

5. Доверительные границы случайной погрешности результата измерения $\pm \varepsilon$ при доверительной вероятности P находим по формуле

$$\varepsilon = \pm t S(x), \quad (5)$$

где t – коэффициент Стьюдента, определяемый по табл. 3 (раздел 3).

: При $P=0,95$ и $n=12$ получаем $t=2,262$ и

$$\varepsilon = t \cdot S = 2,262 \cdot 0,057 \approx 0,14 \text{ мм.}$$

$$\frac{\theta}{S(x)} = \frac{0,002}{0,057} < 0,8$$

6. Так как отношение $\frac{\theta}{S(x)}$, то неучтенной систематической погрешностью по сравнению со случайной погрешностью можно пренебречь и принять, что граница погрешности результата измерения $\Delta = \varepsilon$.

7. Представляем результат измерения в виде $X = \bar{x} \pm (\Delta x)_{\Sigma}, P$ (P – доверительная вероятность).

Результат: $X = X_{\text{ср}} \pm \Delta = 14,86 \pm 0,14, 0,95$.

9. Результаты наблюдений и вычислений заносятся в таблицу.

Дают заключение о годности детали по заданному размеру.

Таблица

Характеристика размера					Результаты наблюдений Xi, мм	Хср, мм	Результат измерения, Мм
обозначение размера	предельные отклонения		предельные размеры, мм	допуск Т, мм			
	E1(a)	E3(ea)					
15 h14	0	0,43	15,00; 14,430	0,430	15,00	14,86	± 0,14
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ рикат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E пец: Шебзухова Татьяна Александровна				14,90			
				14,85			
				14,75			
				15,00			
				14,90			
				14,95			
				14,70			
				14,95			
				14,85			
				15,00			
				14,50			
				14,90			

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Заключение о годности детали

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Контрольные вопросы

1. Как называется отсчетное устройство штангенинструментов ?
2. Как устроен нониус?
3. Каково назначение штангенциркуля, штангенглубиномера, штангенрейсмаса?
4. Какие типы штангенциркулей Вы знаете?
5. Назовите основные части штангенинструментов.
6. Дайте характеристику метода измерения использованным штангенинструментом.
7. Какова метрологическая характеристика использованного штангенинструмента?
8. Какова последовательность обработки результатов измерения штангенциркулем с многократными наблюдениями?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Измерение линейных размеров с помощью микрометрических инструментов и обработка измерений с многократными наблюдениями

Цель работы: изучение устройства и получение навыков измерения линейных размеров микрометрическими инструментами.

3.1. Устройство и эксплуатация микрометрических инструментов

К микрометрическим измерительным инструментам относятся **микрометры** для наружных измерений, микрометры для **внутренних** измерений, микрометрические нутромеры, микрометрические глубиномеры и специальные микрометры (для измерения толщины труб, листов и пр.).

Отсчетное устройство микрометрических инструментов

Принцип действия отсчетного устройства всех микрометрических инструментов основан на преобразовании угловых перемещений в линейные при помощи винтовой пары. В этой паре осевое перемещение барабана 3 (рис. 1, а, б) и винта 5 за каждый оборот барабана равно шагу винта.

Если на стемпель 4, относительно которого вращается барабан, нанести деления через каждый шаг, то по полученной шкале 11 можно легко определить целое число оборотов винта 5. Для того, чтобы установить долю пройденного деления, на коническом срезе барабана 3 нанесена дополнительная шкала 10, содержащая n делений. Поворот барабана на одно деление этой шкалы вызывает осевое перемещение винта на $1/n$ часть шага.

В большинстве случаев у микрометрических инструментов число делений на срезе барабана равно 50, тогда при $t = 0,5$ мм цена деления инструмента будет равна 0,01 мм. У всех микрометрических инструментов на стемпель нанесены две миллиметровые шкалы, из которых одна расположена над продольной чертой стемпеля, а другая – под чертой (рис. 1, в). Верхняя шкала сдвинута относительно нижней на размер шага винта, т.е. на 0,5 мм. Целое число миллиметров отсчитывается по основной шкале (с пронумерованными штрихами), а половины миллиметров – по вспомогательной. Доли же шага устанавливаются по числу делений на барабане. Отсчет на рис. 1, б соответствует 13,63 мм.

У всех микрометрических инструментов длина винта не превышает 25 мм, так как в противном случае накопленная ошибка по шагу может оказаться больше точности отсчитывающего устройства.

Любой из современных микрометров имеет скобу 9 (см. рис., а), на левом конце которой запрессована жесткая пятка 1, оканчивающаяся измерительной поверхностью. На правом конце скобы смонтирована микрометрическая головка 8, состоящая из ряда узлов вспомогательного назначения. С микрометрической головкой 8 связаны микровинт 5, гладкая часть (подвижная пятка) которого оканчивается измерительной поверхностью, и трещоточное устройство 7, обеспечивающее постоянство измерительного усилия.

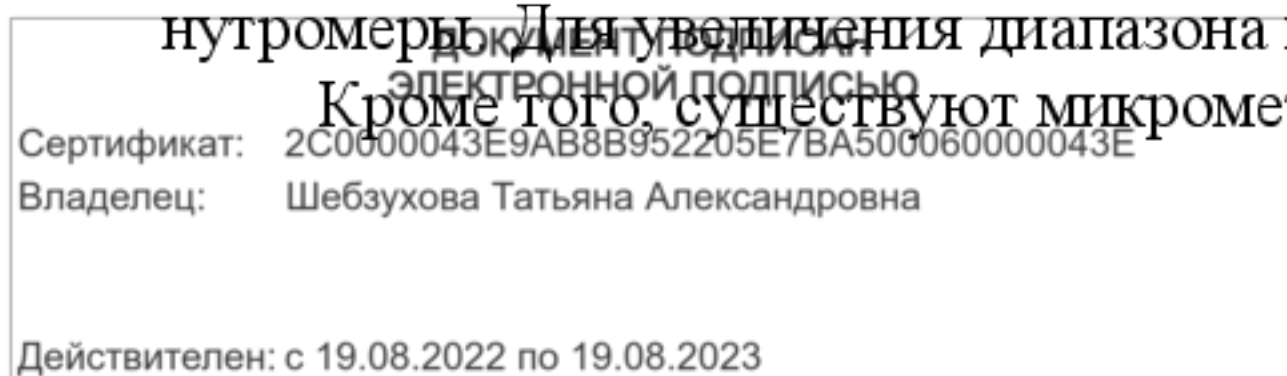
Стопорное устройство 2 служит для закрепления микровинта, когда отсчет производится после снятия микрометра с изделия, и для установки микрометра на нуль.

Установку микрометров с диапазоном измерений свыше 25 мм на нуль производят по установочным калибрам.

Микрометры для внутренних измерений предназначены для измерения диаметров отверстий, ширины пазов и выемок.

Для измерения внутренних размеров свыше 50 мм применяют микрометрические нутромеры. Для увеличения диапазона измерения нутромеров используют удлинители.

Кроме того, существуют микрометры специального назначения.



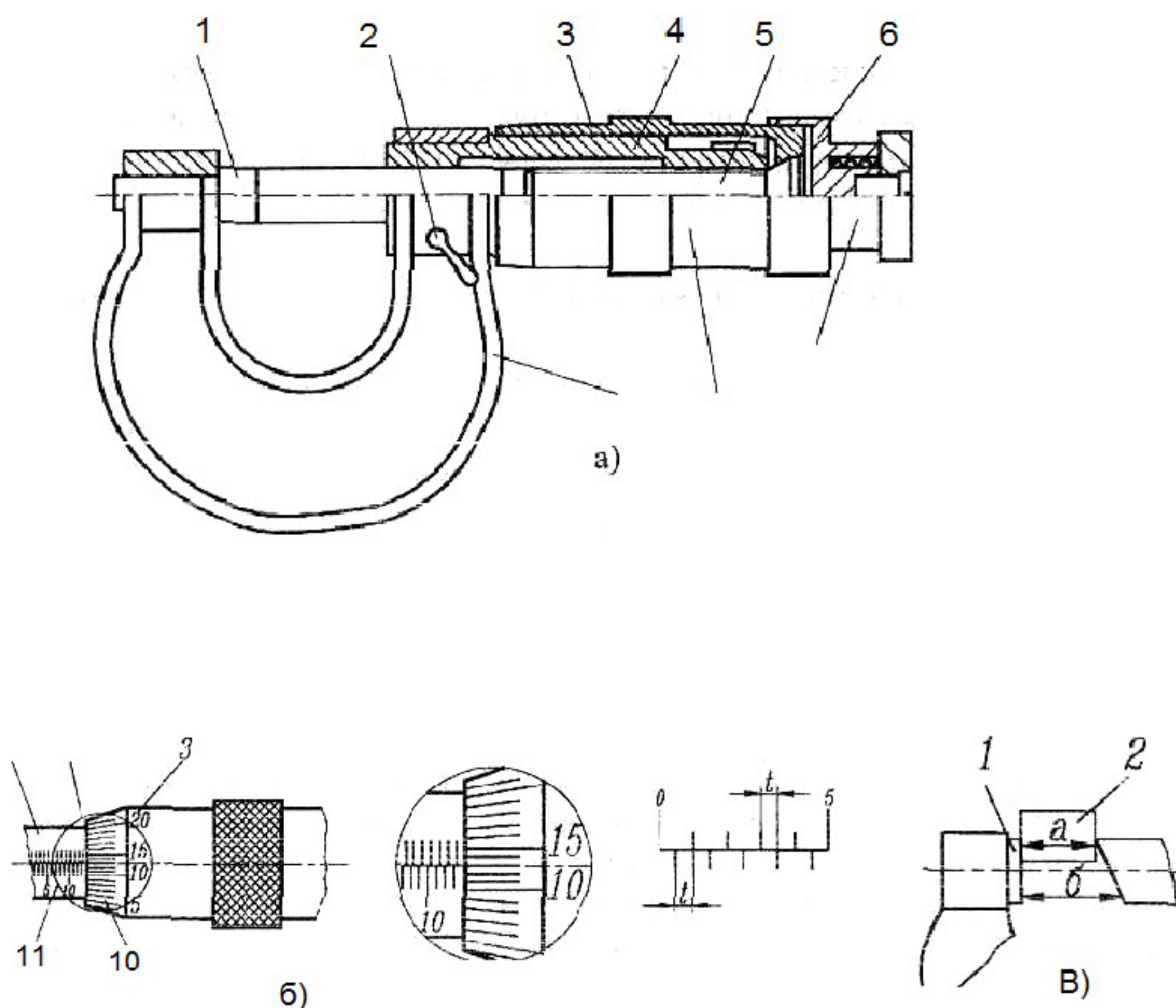


Рис. Микрометр: 1 - пятка, 2 - стопорное устройство; 3 - барабан; 4 - стержень; 5 – микрометрический винт; 6 - установочный колпачок; 7 - трещоточное устройство; 8 - микрометрическая головка; 9- скоба; 10, 11 - шкалы микрометра

3.2. Порядок измерения микрометром

При правильной установке микрометра нулевой штрих барабана совпадает с продольным отсчетным штрихом на стержне, а начальный штрих основной шкалы 0; 25; 50; 75 мм в зависимости от диапазона измерений виден полностью. Если указанные штрихи не совпадают, то микрометр требуется перенастроить. Для этого у микрометра с диапазоном измерения (0-25) мм вращают микровинт за трещотку, доводя измерительные плоскости пятки и микровинта до соприкосновения, и в таком положении стопорят микровинт. Если же необходимо установить микровинт с диапазоном измерений больше 25 мм, то между измерительными поверхностями пятки и микровинта зажимают (также при помощи трещотки) соответствующий установочный калибр или концевую меру.

Дальнейшая настройка микровинтов осуществляется следующим образом. Поворачивая установочный колпачок 6 (см. рис. 15, а) не более чем на пол-оборота, освобождают барабан. Для этого барабан сдвигают вдоль стержня до появления щелчка.

Барабан поворачивают до совмещения его нулевого штриха с продольным отсчетным штрихом. После этого, придерживая барабан, закрепляют его установочным колпачком.

Перед началом измерений расстояние между измерительными поверхностями устанавливают так, чтобы оно было больше измеряемой величины. Установку следует вести путем вращения барабана в ту или другую сторону, не забыв от стопорить микровинт. В противном случае барабан провернется, и настройка микрометра будет нарушена.

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B352205E7BA500060090043E
Владелец: Шенява Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Задание:

- с помощью микрометра измерить заданный преподавателем размер детали измерить заданный преподавателем размер детали несколько раз (по указанию преподавателя, результаты записать в таблицу).

- ### Оборудование и материалы.

3.3. Порядок выполнения работы

- Вычерчивают эскиз детали с указанием на нем заданного размера.

- Изучают устройство микрометров

- Выбирают необходимый микрометр.

- Измеряют заданный размер (см. раздел 3) с числом наблюдений n *больше* 4.

- Исключают известные систематические погрешности из результатов дений;

- вычисляют среднее арифметическое значение x измеряемой величины из n независимых результатов наблюдений x ;

- вычисляют среднюю квадратическую погрешность единичных измерений в ряду измерений S ;

- исключают промахи (грубые погрешности измерений);

- вычисляют среднюю квадратическую погрешность результатов измерений среднего арифметического Sx ;

- проверяют гипотезу о том, что результаты измерений распределяются по нормальному закону;

- вычисляют доверительные границы случайной погрешности результата измерения $\pm \varepsilon$;

- вычисляют доверительные границы не исключенной систематической погрешности результата измерения $\pm \theta$;

- вычисляют доверительные границы погрешности результата измерения $\pm (\Delta x)_{\Sigma}$;

- представляют результат измерения в виде $X = x \pm (\Delta x)\Sigma$, P (P – доверительная вероятность);

- дают заключение о годности детали по заданному размеру.

Измерение микрометром производится с целью определения действительного значения измеряемой величины. Всякое измерение сопровождается погрешностями. Для повышения точности измерений проводят несколько наблюдений при измерении.

При статической обработке результатов группы наблюдений, руководствуясь

ГОСТ 8.207–76 (раздел 3). Прямые измерения с многократными наблюдениями.

Методы обработки результатов наблюдений, выполняют следующие операции согласно методике, изложенной в разделе 3, при этом:

- Наблюдений, исключают известные систематические погрешности из результатов

- исключают промахи, возникшие в результате грубых погрешностей;

- проверяют гипотезу о том, что результаты наблюдений распределяются по нормальному закону;
- вычисляют доверительные границы случайной погрешности результата измерения;
- вычисляют доверительные границы неучтенной систематической погрешности результата измерения;
- вычисляют доверительные границы погрешности результата измерения.

Пример: при многократном измерении диаметра валика $\varnothing 15-0,027$ микрометром, получены следующие результаты: $5 \cdot 15,00$, $5 \cdot 14,98$, $14,95$, $15,01$. Неучтенная систематическая погрешность результата измерения, вызванная отклонением температуры вала от нормальной $\theta_s = 2$ мкм. Определить, является ли результат промахом, и записать результат измерения с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

1. Вычислим среднее арифметическое значение измеряемой величины, мм:

$$\bar{x} = \frac{5 \cdot 15 + 5 \cdot 14,98 + 14,95 + 15,01}{12} \approx 14,988 \text{ мм.}$$

2. Среднее квадратичное отклонение результатов наблюдений:

$$S_x = \sqrt{\frac{5 \cdot (0,012^2) + 5 \cdot (0,008^2) + 0,038^2 + 0,022^2}{11}} \approx 0,054 \text{ мм.}$$

3. При числе измерений $n < 20$ и нормальном распределении результатов измерений целесообразно применять критерий Романовского (раздел 3). При $n=13$ получаем $z_T = 2,52$, соответственно z :

$z = (x_T - \bar{x}) / S = 14,95 - 14,988 / 0,054 = 0,038 / 0,054 \approx 0,703$, что меньше $2,52$, значит, это не промах.

$X=14,95$ – не промах, следовательно п. 4. раздела 3 выполнять не нужно

5. Вычислим среднюю квадратическую погрешность результатов измерений

среднего арифметического $S_{\bar{x}} = \frac{0,054}{\sqrt{11}} \approx 0,016 \text{ мм.}$

6. Доверительные границы случайной погрешности результата измерения $\pm \varepsilon$ при доверительной вероятности P находим по формуле (раздел 3)

$$\varepsilon = \pm t S(x),$$

где t – коэффициент Стьюдента, определяемый по табл. 3 (раздел 3).

При $P=0,95$ и $n=12$ получаем $t=2,262$ и

$$\varepsilon = t \cdot S = 2,262 \cdot 0,016 \approx 0,036 \text{ мм.} \quad 0,002$$

7. Так как отношение $\frac{\theta}{S(x)} = \frac{0,002}{0,036} < 0,8$, то неучтенной систематической

погрешностью по сравнению со случайной погрешностью можно пренебречь и принять, что граница погрешности результата измерения $\Delta = \varepsilon$.

8. Представляем результат • измерения в виде $X = x \pm (\Delta x)_\Sigma$, P (P – доверительная вероятность).

Результат: $X = X_{\text{ср}} \pm \Delta = 14,988 \pm 0,036 \approx 14,99 \pm 0,04$, 0,95.

9. Результаты наблюдений и вычислений заносятся в таблицу.

Таблица

Характеристика размера					Результаты наблюдени й Xi, мм	Хср, мм	Результат измерения , Мм
обозначени е размера	предельные отклонения		предельны е раз меры, мм	допус к Т, мм			
	E1(а)	E3(е а					
Ø 15-0,027	0	- 0,027	Ø 15-0,027	0,027	15,00	14,98 8	14,988 ± 0,036
					14,98		
					14,98		
					14,95		
					15,00		
					14,98		
					14,98		
					15,00		
					15,00		
					15,01		

Заключение о годности детали

Контрольные вопросы

1. Какие виды микрометрических инструментов Вы знаете?
2. На чем основан принцип действия микрометрических инструментов?
3. Сколько отсчётных шкал имеют микрометрические инструменты и каково их назначение?
4. Каковы особенности процесса измерения для разных типоразмеров микрометрических инструментов?
5. Какова последовательность и особенности обработки результатов измерения микрометром с многократными наблюдениями

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.

Исследование лабораторных весов: определение точности и места расположения взвешиваемого предмета

Цель работы: получение практических навыков поверки весов ВЛТЭ-500.

4.1. Общие положения

Настоящая лабораторная работа распространяется на весы лабораторные высокого класса точности модификации ВЛТЭ производства ФГУП «Санкт-Петербургский завод «Госметр» и устанавливает методику их первичной и периодической поверок. Весы должны соответствовать ГОСТ 24104-2001 «Весы лабораторные. Общие технические требования» и ТУ 4274-002-00226394-2001/Межповерочный интервал – 1 год.

4.2. Операции и средства поверки

При проведении первичной и периодической поверок должны быть выполнены следующие операции и применены средства измерений с характеристиками, указанными в таблице 1.

Таблица 1

Операции и средства измерений

Наименование операции	Номер пункта Методики поверки	Средства поверки, их технические характеристики	Обязательность проведения операции при первичной и периодической поверке
1 Внешний осмотр	5.1		да
2. Опробование	5.2		да
3 Определение погрешности весов	5.3	Гири 20, 500 мг, набор (1г-5 кг) класса F2 по ГОСТ 7328-2001	
3.1 Определение погрешности весов			
3.1 Определение погрешности весов	5.3.1	Номинальная масса гирь выбирается по таблице 3	да
3.2 Определение среднего квадратического отклонения показаний весов	5.3.2	Номинальная масса гирь выбирается по таблице 3	да

Примечание: Средства поверки, на которые дана ссылка в таблице 1, могут быть заменены аналогичными, обеспечивающими требуемую точность и пределы измерений. Пределы допускаемых значений метрологических характеристик весов приведены в таблице 2.

Таблица 2-Значения метрологических характеристик

НмПВ, г	НПВ, г	СКО, г	Интервалы взвешивания	Пределы допускаемых значений погрешности весов, г	
				при первичной поверке	в эксплуатации

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

4.3. Условия поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха $(20 \pm 5)^\circ \text{C}$;
- изменение температуры в помещении в течение 1 часа не должно превышать 2°C ;
- относительная влажность воздуха от 30 до 80 %.

Весы не должны устанавливаться вблизи отопительных систем и окон, не защищённых теплоизоляцией.

4. 4. Подготовка к поверке

1. При подготовке к проведению поверки должны быть выполнены следующие операции:

- время выдержки распакованных весов в лабораторном помещении перед началом поверки должно быть не менее 12 часов;
- перед проведением поверки весы должны быть установлены по уровню;
- перед проведением поверки весы должны быть включены в сеть и выдержаны во включённом состоянии в течение 30 минут.

4.5. Проведение поверки

1. Внешний осмотр

1.1 При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие весов следующим требованиям:

- отсутствие видимых повреждений сборочных единиц весов;
- наличие маркировки и комплектующих изделий согласно комплекту поставки.

2. Опробование

2.1. После прогрева в течение 30 минут весы приводятся в рабочее состояние.

Изображение цифр на индикаторе должно быть чётким.

2.2. Калибровка весов должна быть выполнена в соответствии с требованиями «Руководства по эксплуатации» на весы (ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1).

3. Определение метрологических характеристик

3.1. Определение погрешности весов

3.1.1 Погрешность весов определяют при центрально-симметричном нагружении и разгрузении весов гирями, равномерно распределёнными во всем диапазоне взвешивания, включая НмПВ, НПВ, номинальные значения массы которых указаны в таблице 2, в такой последовательности:

- а) установить нулевые показания весов, нажав клавишу ТARA;
- б) поместить гирю (гири) в центр чашки весов;
- в) снять показания весов после их установления;
- г) снять гирю (гири) с чашки, дождаться установления показаний;
- д) выполнить операции по п. п. а) – г) для следующих нагрузок.

Кроме того, погрешность весов определяют при однократном нагружении центра каждой четверти чашки весов, как показано на рисунке, гирей (гирями не более двух) массой близкой к $1/3$ значения НПВ, при использовании нескольких гирь гири устанавливаются одна на другую.

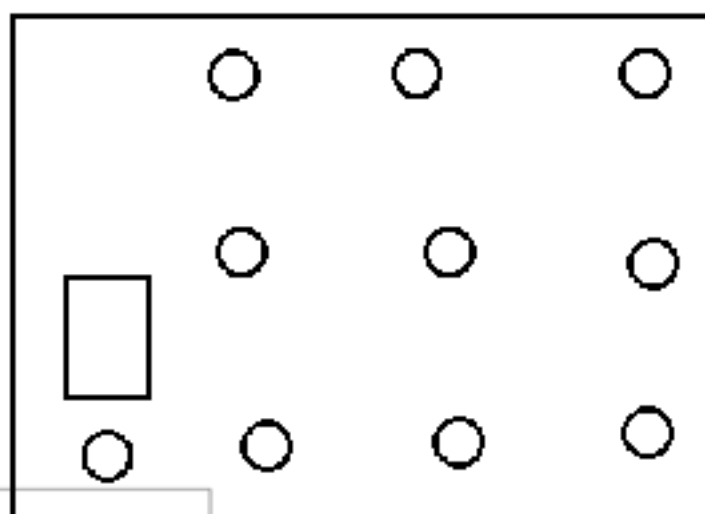


Рисунок 3.1. Расположение мест измерения веса.

3.1.2 Погрешность весов при каждом i -м измерении (Δ_i) определяют по формуле:

где $Li - i$ - е показание весов; m – действительное значение массы гирь, помещаемых на чашку весов; i - порядковый номер измерения.

Форма протокола определения погрешности весов приведена в приложение А.

3.2.1. Среднее квадратическое отклонение (СКО) показаний весов определяют гирями, номинальное значение массы которых указано в таблице 3, в такой последовательности:

- Вычисляют наибольшую разность между показаниями весов:

где $L_{p\max} ? L_{p\min}$ — наибольшее и наименьшее показания весов.

$$\sigma = \frac{\Delta_p}{2,326}$$

3.2.3. Форма протокола определения СКО приведена в приложении Б.

Положительные результаты поверки должны оформляться:

- 2,326

- В свидетельстве о поверке указывают значение СКО, наибольшие по абсолютной величине значения погрешности весов в интервалах взвешивания.

В случае отрицательных результатов весы к выпуску и применению не допускаются, и выдается извещение о непригодности весов в соответствии с ПР 50.2.006-94. Выданное ранее свидетельство должно быть аннулировано.

- изучить методику поверки и произвести поверку весов;
- оформить результаты поверки протоколом.

Высокоточные лабораторные весы, набор гирь для калибровки и поверки весов.

1. С помощью уровня определить горизонтальность расположения

2. Включить весы, подождать, когда показания установятся и если необходимо обнулить показания.

3. Произвести измерения веса гирек в разных местах измерительного стола (по

рис. 3.1) помощью гирек.

4. Произвести расчёты показателей качества измерений.
5. Сделать выводы по результатам испытаний.

Контрольные вопросы

1. Что такое поверка и чем она отличается от калибровки весов?
2. Какие виды поверок вы знаете?
3. Какова последовательность операций поверки?
4. Что такое НмПВ и НПВ?
5. Какова последовательность подготовки к поверке?
6. Каково время выдержки распакованных весов в лабораторном помещении перед началом поверки?
7. Что такое среднее квадратическое отклонение (СКО) показаний весов?
8. Каким образом определяется среднее квадратическое отклонение показаний весов?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Лабораторная работа № 6.

Освоение методики поверки лабораторных весов

1 Цель работы: выполнить поверку весов, сделать вывод об их пригодности для измерений.

3 Приборы

3.1 Поверяемые средства: весы платформенные передвижные ВСП-2/0.5-1

3.2 Средства поверки: набор гирь М1 по ГОСТ 7328

3.3 Метрологические характеристики средств поверки и поверяемого средства

Определите основные метрологические характеристики по нормативно-технической документации на приборы и на самих приборах и занесите в таблицу 9.

Таблица 9 - Метрологические характеристики средств поверки и поверяемого средства

Характеристика	Весы	Набор гирь
НмПВ (наименьший предел взвешивания), г НПВ (наибольший предел взвешивания), г		Значения меры
Цена поверочного деления e , г		
Предел допускаемой погрешности Δ , г		
Класс точности		

4 Нормативно-техническая документация:

4.1 ГОСТ 29329-92. Весы для статического взвешивания. Общие технические требования.

4.2 ГОСТ 8.453-82. Весы для статического взвешивания. Методы и средства поверки.

4.3 Руководство по эксплуатации весов (РЭ)

5 Условия поверки и подготовка к ней

5.1 Условия поверки должны соответствовать установленным в ГОСТ 29329 при отсутствии атмосферных осадков и скорости ветра не более 5 м/с.

5.2 Электромеханические весы должны быть выдержаны при заданной температуре в соответствии с ГОСТ 8.453.

Определите условия в аудитории и сделайте вывод о возможности проведения поверки весов в данных условиях (ГОСТ 29329 п.2.8.1). Подготовьте весы к проведению поверки в соответствии с ГОСТ 8.453 п.2.

6 Порядок выполнения поверки

6.1 Внешний осмотр

6.1.1 При внешнем осмотре собранных весов должно быть установлено наличие основных обозначений по ГОСТ 29329.

Отразите в протоколе соответствие весов требованиям ГОСТ 29329 п.2.12.1.

6.1.2 Основные обозначения должны быть чёткими, хорошо видимыми и должны быть выполнены на табличке, постоянно закреплённой на весах, или непосредственно на весах.

Отразите в протоколе характер основных обозначений: чёткие/нечёткие, хорошо/плохо видимы, выполнены на табличке/непосредственно на весах.

6.1.3 Отсутствие механических повреждений.

Отразите в протоколе наличие или отсутствие механических повреждений

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
Электронный протокол

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA560060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

весов.

6.2 Опробование

При опробовании собранных весов проверяют взаимодействие их частей, устройств тарирования, аппаратуры управления, измерения и индикации. Весы с различными режимами работы опробуют при всех режимах.

Отразите в протоколе работоспособность органов управления, аппаратуры индикации и режимов работы, заполнив таблицу 10.

Таблица 10 – Работоспособность органов управления, аппаратуры индикации и режимов работы

№ изме- рения	Наименование	Работоспособность (раб/ не раб.)
1	Кнопка ВКЛ/ТАРА	
2	Кнопка Ф	
3	Кнопка ВЫКЛ	
4	Дисплей	
5	Режим установок	
6	Автоматическое отключение	
7	Выбор единиц измерения (граммы, унции, караты)	
8	Счетный режим работы	
9	Режим тарирования	

6.3 Определение метрологических параметров

Метрологические параметры определяют на собранных весах. При этом определяют непостоянство показаний ненагруженных весов, независимость показаний весов от положения груза на грузоприемном устройстве, чувствительность и погрешность показаний нагруженных весов. Метрологические параметры определяют методом непосредственной оценки при помощи образцовых гирь 4-го разряда.

6.3.1 Непостоянство показаний ненагруженных весов определяют перед определением других метрологических параметров нагруженных весов. При определении непостоянства показаний ненагруженных весов на грузоприемное устройство помещают гири-допуски массой, равной при эксплуатации $1e$ (e – цена поверочного деления) и регулятором "нуля" или тары устанавливают весы в нулевое положение (положение равновесия). Непостоянство показаний определяют для настольных весов и рычажных безменов при выведении их из положения равновесия нажатием рукой на грузоприемную площадку весов с определением и регистрацией массы.

В случае невозвращения указателя отсчетного устройства в нулевое положение (положение равновесия) необходимо снять или положить на грузоприемное устройство гири-допуски. Непостоянство показаний ненагруженных весов не должно превышать значений $\pm 1e$.

Отразите в протоколе непостоянство показаний ненагруженных весов, заполнив таблицу 11.

Таблица 11 – Непостоянство показания ненагруженных весов

№ измерения	Масса начальной гири допуска, кг	Измеряемая масса, при нажатии рукой, кг	Масса гирь-допуска для компенсации непостоянства измерений (+ добавлена/ – убрана), кг
1	ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН		
2	ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ		
3	Сертификат: 2G0000043E9AB8B952205E7BA5000600000043E Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна		
4			
5	Действителен с 19.08.2022 по 19.08.2023		

6.3.2 Независимость показаний весов от положения груза на грузоприемном устройстве проверяют при нагружении весов образцовыми гирями массой, соответствующей 10% НПВ. Образцовые гири размещают на настольных весах с одной площадкой - в центре, а затем по ее углам. Погрешность каждого из показаний весов при различном расположении образцовых гирь на грузоприемном устройстве не должна превышать предела допускаемой погрешности, установленной в ГОСТ 29329 п.2.3.1.

Отразите _____ в протоколе зависимость показаний весов от положения груза на грузоприемном устройстве, заполнив таблицу 12.

Таблица 12 – Независимость показания весов от положения груза

№ измерения		Масса образцовой гири Q , кг	Результат измерения X , кг	Абсолютная погрешность измерения $\Delta = Q - X$, кг	Предел допускаемой погрешности $\Delta_{\max}$, кг

6.3.3 Погрешность нагруженных электромеханических весов определяют при увеличении и при уменьшении нагрузками, равными десяти значениям массы, равномерно распределённым во всем диапазоне взвешивания, включая НМПВ, 500е, 2000е и НПВ (для весов среднего класса точности).

Погрешность весов не должна превышать предела допускаемой погрешности, установленной в ГОСТ 29329 п.2.3.1.

Отразите в протоколе погрешность показаний нагруженных весов, заполнив таблицу 13.

6.3.4 Чувствительность весов определяют не менее, чем при трех значениях нагрузки, включая НМПВ и НПВ, путем помещения на грузоприёмное устройство или снятия с него гирь-допусков, равных по массе от 0,5е до 1,4е. Чувствительность весов во всем диапазоне взвешивания не должна превышать 1,2е.

Отразите в протоколе чувствительность нагруженных весов, заполнив таблицу 14.

Таблица 13 – Погрешность показаний нагруженных весов

№ измерения	Нагружение или разгрузка +/-	Масса гири Q , кг	Результат измерения X , кг	Абсолютная погрешность измерения $\Delta = Q - X$, кг	Предел допускаемой погрешности $\Delta_{\max}$, кг
1	+	0,0102			
2	+	0,1104			
3	+	0,2204			
4	+	0,3309			
5	+	0,4400			
6	+	0,5501			
7	+	0,6603			
8	+	0,7705			
9	+	0,8815			
10	+	1,0002			
11	-	0,8815			
12	-	0,7705			

Сертификат: 2C00000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

13	-	0,6603			
14	-	0,5501			
15	-	0,4400			
16	-	0,3309			
17	-	0,2204			
18	-	0,1104			
19	-	0,0102			

Таблица 14 –Чувствительность весов

№ измерения	Нагрузка, г	Цена деления e, кг	Масса гири-допуска при которой изменились показания весов, кг
1	0,0103		
2	0,5009		
3	1,0004		

6.3.5 Погрешность шкалы устройства для компенсации массы тары определяют не менее, чем в пяти равномерно расположенных отметках, включая НмПВ и НПВ–0,5 кг. Гири соответствующей массы устанавливают на площадку весов, после чего устанавливают или снимают гири-допуска, устанавливая весы в нулевое положение. Погрешность устройства не должна превышать пределов допускаемой погрешности, установленной в ГОСТ 29329 п.2.3.1.

Отразите в протоколе погрешность устройства для компенсации массы тары, заполнив таблицу 15.

Таблица 15 – Погрешность шкалы устройства для компенсации массы тары

№ измерения	Компенсируемая масса тары, кг	Масса гирь-допусков при которых весы переходят в нулевое положение, кг
1	0,0103	
2	0,0253	
3	0,5102	
4	0,7508	
5	1,0031	

7 Оформление результатов поверки

Отразите в выводах:

На основании проведенной поверки весы ____ (обозначение весов) ____ № ____ (заводской номер) ____, изготовленные ____ (производитель весов) ____ пригодны/не пригодны для применения.

Задание:

- 1 Определить порядок и условия проведения поверки, изучив нормативно техническую документацию
- 2 Провести внешний осмотр
- 3 Выполнить опробование
- 4 Определить метрологические параметры
- 5 Оформить результаты поверки

Оборудование и материалы.

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзузова Т.В. (подпись)

1 Поверяемые средства: весы платформенные передвижные ВСП-2/0.5-1 , 2
Средства поверки: набор гирь М1 по ГОСТ 7328 3 Метрологические характеристики средств поверки и поверяемого средства

Порядок выполнения работы

6. С помощью уровня определить горизонтальность расположения измерительного стола.
7. Включить весы подождать, когда показания установятся и если необходимо обнулить показания.
8. Произвести измерения веса гирек в разных местах измерительного стола (по рис. 3.1) помощью гирек.
9. Произвести расчёты показателей качества измерений.
10. Сделать выводы по результатам испытаний.

Контрольные вопросы

1. Что такое поверка и чем она отличается от калибровки весов?
2. Какие виды проверок вы знаете?
3. Какова последовательность операций поверки?
4. Что такое НмПВ и НПВ?
5. Какова последовательность подготовки к поверке?
6. Каково время выдержки распакованных весов в лабораторном помещении перед началом поверки?
7. Что такое среднее квадратическое отклонение (СКО) показаний весов?
8. Каким образом определяется среднее квадратическое отклонение показаний весов?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Лабораторная работа № 7.

Градуировка пружинных весов

1 Цель работы ознакомиться с принципами измерения массы тел и классификацией приборов для измерения массы. 2. Выполнить градуировку пружинных весов.

2.ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

К числу наиболее часто встречающихся в измерительной практике физических величин, характеризующих свойства различных тел, относится *масса* – величина, пропорциональная количеству содержащегося в теле вещества и равная весу тела, деленному на ускорение силы тяжести $m = P/g$.

Следует подчеркнуть, что масса не идентична весу тела. *Вес* – это сила, заставляющая тело падать на Землю. Его величина зависит от географической широты того места, в котором производится взвешивание, а также от высоты над уровнем моря. Больше всего вес тела на полюсах, меньше всего – на экваторе. Масса же является величиной постоянной.

Измерение массы тел производят путем взвешивания, в процессе которого выполняют хотя бы одну из четырех основных операций:

- а) определение неизвестной массы тела – операция «взвешивание»;
- б) отмеривание определенного количества массы – операция «отвешивание»;
- в) определение класса, к которому относится подлежащее взвешиванию тело – операция «сортировка»;
- г) взвешивание непрерывно протекающего материального потока.

В общих чертах можно определить четыре основных области применения весоизмерительных устройств:

- 1. Взвешивание при товарообороте как основа установления цены.
- 2. Взвешивание в целях определения, контроля и регулирования внутри-заводских материальных потоков.
- 3. Взвешивание в целях изготовления и поверки образцовых мер массы.
- 4. Взвешивание в целях анализа и синтеза веществ и их смесей.

Взвешивание основано на использовании закона всемирного тяготения, согласно которому гравитационное поле Земли притягивает массу с силой, пропорциональной этой массе. При этом сила притяжения может сравниваться с известной по величине силой, создаваемой различными способами:

- а) в качестве уравновешивающей силы используется груз известной массы; этот метод является классическим;
- б) уравновешивающее усилие возникает при растяжении слабой пружины;
- в) уравновешивающее усилие возникает при деформации достаточно жестких пружинных или иных элементов;
- г) уравновешивающее усилие создается пневматическим устройством; при этом мерой подлежащего взвешиванию груза является давление воздуха;
- д) уравновешивающее усилие создается гидравлическим устройством; при этом мерой подлежащего взвешиванию груза является давление жидкости;
- е) уравновешивающее усилие создается электродинамически при помощи соленоидной обмотки, находящейся в постоянном магнитном поле; при этом ток, протекающий по обмотке, является мерой подлежащего взвешиванию груза;
- ж) усилие возникает при погружении тела в жидкость; глубина погружения и, следовательно, изменяющаяся вместе с ней подъемная сила служат мерой подлежащего взвешиванию груза.

Следует отметить, что только в случаях «а» и «ж» непосредственно сравниваются веса двух тел. При использовании остальных методов следует в принципе учитывать различия значений ускорения силы тяжести в различных географических точках.

В общем случае наибольшая точность взвешивания достигается при помощи метода, указанного в пункте «а» и названного классическим.

Измерительные приборы, служащие для определения массы тел, называются *весами*. Соответственно указанным выше принципам взвешивания известные типы весов могут быть разделены на следующие группы:

1. Рычажные весы с уравниванием масс. Незвестная масса взвешиваемого груза определяется уравниванием крутящих моментов, развиваемых, с одной стороны, силой тяжести неизвестной массы (груза), а с другой – силой тяжести известной массы (гирь), приложенных к соответствующим плечам рычага.

2. Пружинные весы. Незвестная масса взвешиваемого груза определяется по деформации пружины.

3. Гидравлические весы. Усилие, развиваемое взвешиваемым грузом, определяется измерением давления, развиваемого этим грузом на поверхности жидкости.

4. Электромагнитные весы. Усилие, развиваемое взвешиваемым грузом, определяется по электромагнитной уравнивающей силе.

При взвешивании значительных по величине масс широко используется принцип преобразования развиваемой массой усилия в пропорциональный электрический, пневматический или гидравлический выходной сигнал, измеряемый соответствующим прибором. Устройства, осуществляющие такое преобразование и называемые *датчиками веса*, основаны на использовании различных физических явлений.

Для определения результата измерения в весах используются отсчетные устройства аналогового или цифрового типа. В аналоговых показывающих устройствах перемещается либо стрелка относительно неподвижной шкалы, либо шкала относительно неподвижных указателей. Циферблатные весы имеют шкалу в виде кругового сектора с углом не более 45° , называемую веерной, или круговую шкалу. Индикаторы цифрового типа применяют в весах с электрическим выходным сигналом.

Масса взвешиваемого груза равна показанию весов, скорректированному на величину их погрешности. При технических взвешиваниях отсчитываемые по шкале показания весов считают правильными и корректировку результатов взвешивания, учитывающую погрешность весов, обычно не производят, так как в большинстве случаев эта погрешность неизвестна.

Контроль нормированной точности весов реализуется в виде специальных технологических процедур метрологического обеспечения, одной из которых является градуировка.

Под *градуировкой* средства измерения в общем случае понимается процедура экспериментального определения его реальной передаточной характеристики $y = f(x)$, связывающей между собой входную x и выходную y величины. Для измерительных приборов, к которым относятся и весы, градуировка обычно сводится к установлению соответствия делений шкалы значениям измеряемой величины.

При проведении градуировки выполняют совместные измерения величин на входе и выходе средства измерений. Обычно измеряют несколько входных величин $x_1, \dots, x_n$ и соответствующие выходные величины $y_1, \dots, y_n$. По этим экспериментальным данным строят градуировочную характеристику $y = f(x)$ средства измерения, представляя ее в аналитическом виде (формулой) или в виде графика. В результате градуировки определяют значение погрешности средства измерения, степень ее соответствия нормированному значению, вариацию показаний и др.

Вариацией показаний называется наибольшая разность показаний прибора при одном и том же значении измеряемой величины и неизменных внешних условиях. Она характеризует степень устойчивости показаний прибора при одних и тех же условиях измерения одной и той же величины.

В данной работе предлагается выполнить градуировку одного из типов пружинных весов, действие которых основано на деформации слабой пружины. Такие весы в

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

3. По средним значениям показаний весов строят их градуировочную характеристику. Эти же значения используют для расчета погрешностей измерения и вариации показаний весов по формулам:

$$\Delta = A_x - A_0 ; \quad \delta = \pm \frac{\Delta}{A_0} \cdot 100 ; \quad \gamma = \frac{A_H - A_B}{A_0} \cdot 100 ,$$

где A_x и A_0 – соответственно измеренное и действительное значения массы; A_H и A_B – соответственно показания весов при подходе указателя «снизу вверх» (от меньших значений к большим) и «сверху вниз» (от больших значений к меньшим).

4. Сравнивая величины погрешностей измерения с их нормированными значениями, делают вывод о пригодности весов к применению.

Контрольные вопросы

1. Какой конструктивной особенностью обладают рычажные весы, предназначенные для измерения значительных по величине масс?
2. Какие причины обуславливают наличие вариации показаний весов?
3. Как выглядит градуировочная характеристика средства измерения при наличии вариации показаний?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Лабораторная работа №8

Градуировка и поверка манометра с трубчатой пружиной

Цель и содержание: целью данной работы является ознакомление с принципом действия и устройством манометра с трубчатой пружиной; ознакомление с устройством и работой грузопоршневого манометра, а также проведение поверки и градуировки манометра с трубчатой пружиной.

2 Теоретическое обоснование

Пружинные манометры являются наиболее распространенными приборами для измерения давления и разрежения в различных производственных процессах. Их широкое применение объясняется простотой устройства, надежностью в работе, компактностью, малой стоимостью и большим диапазоном измерения – от 0.02 до 1000 МПа. Принцип действия пружинных манометров основан на измерении величины упругой деформации пружины под действием давления.

Общий вид манометра и его устройство показан на рисунке 1.

Основной деталью манометра является трубчатая пружина 3, представляющая собой полую трубку. Трубка согнута по окружности в виде дуги с радиусами R и r (рисунок 2). В сечении трубка имеет форму эллипса или овала, малая ось которого равна $b = R - r$

к корпусу прибора. На плате 4 при помощи двух винтов укреплен передаточный механизм.

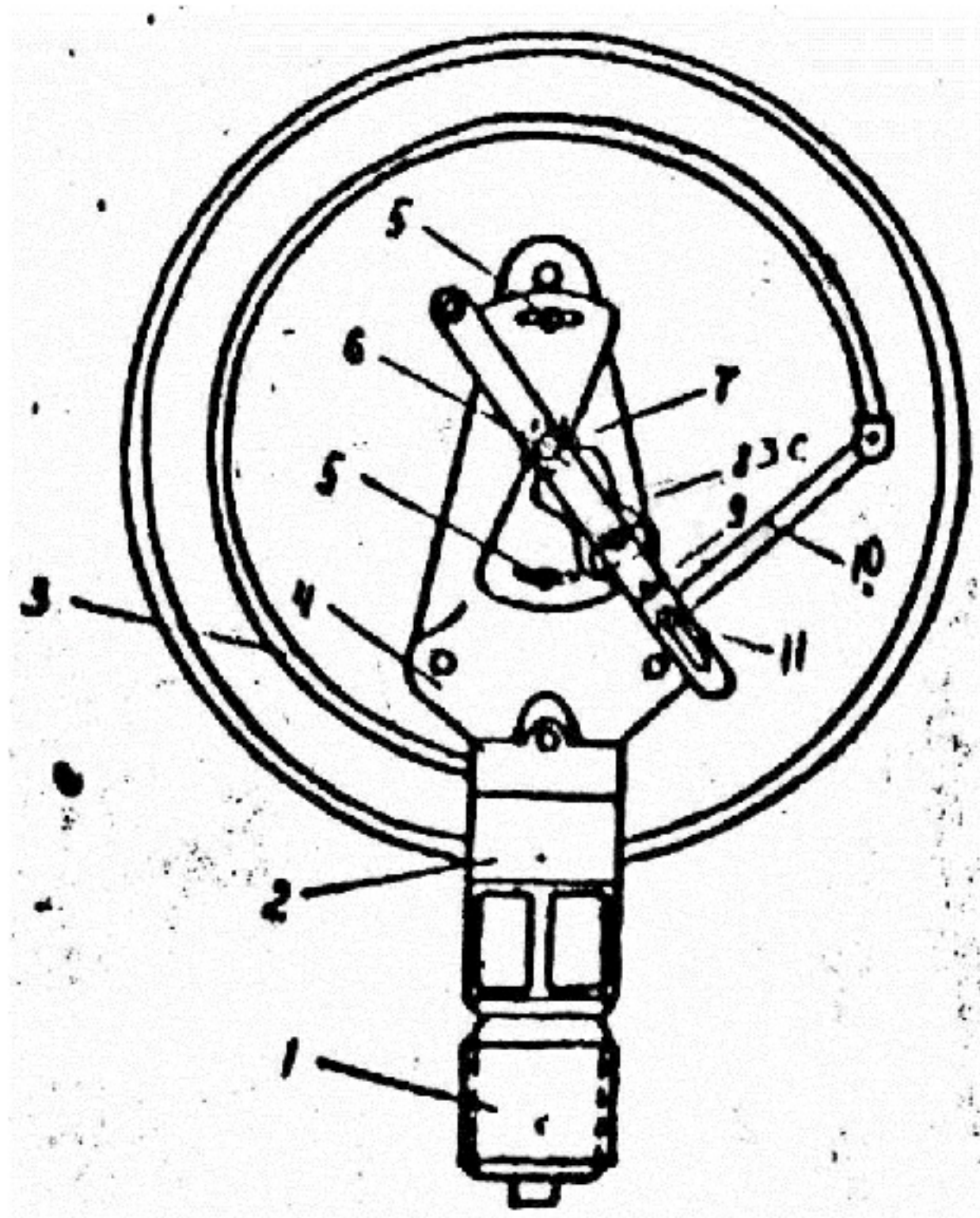


Рисунок 1 – Общий вид и устройство пружинного манометра

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

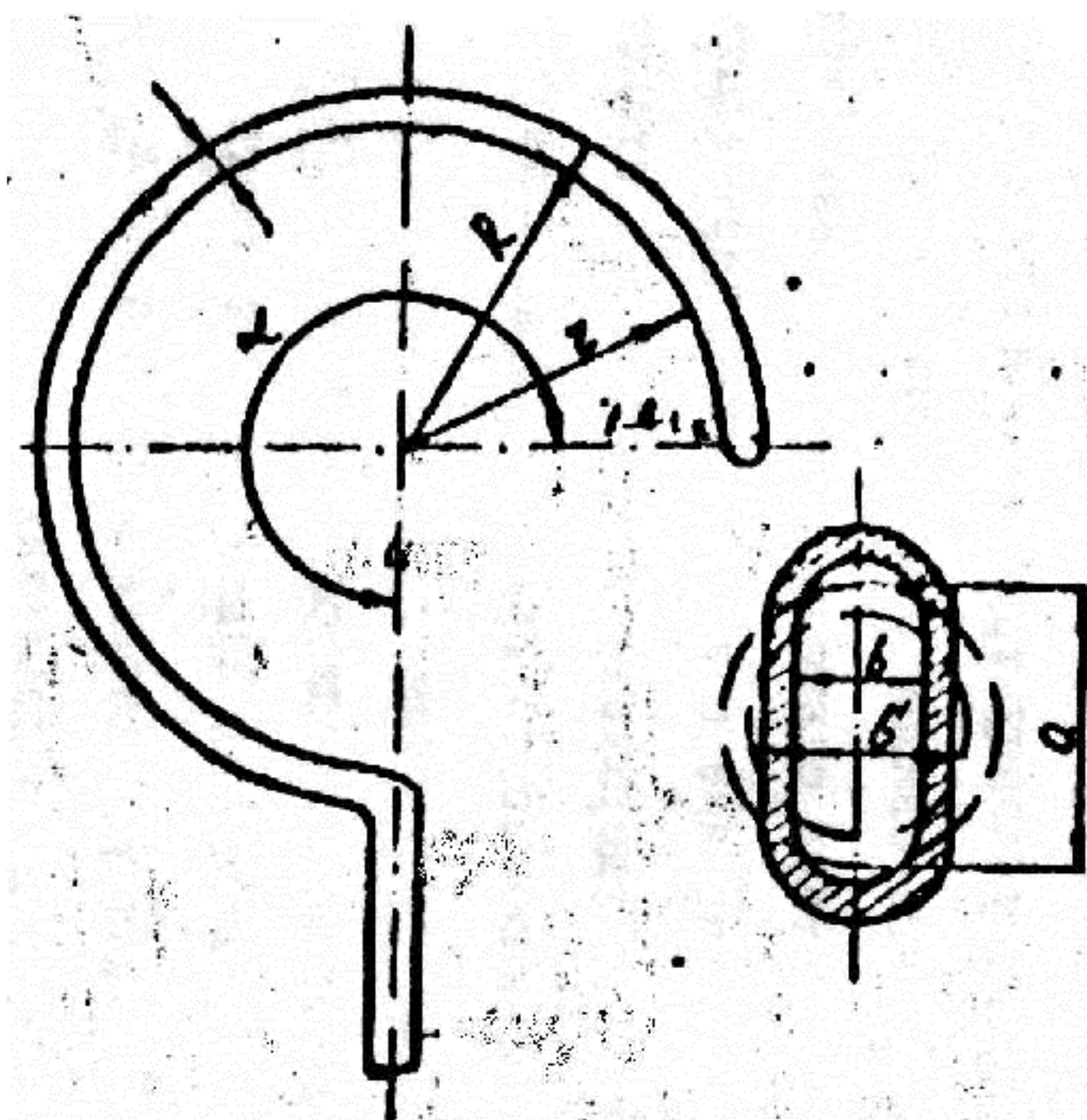


Рисунок 2 – Трубчатая пружина

К свободному концу трубки шарнирно присоединена тяга 10, второй конец тяги связан с хвостовиком зубчатого сектора 8. Хвостовик зубчатого сектора имеет прорезь (кулису) 11, вдоль которой при градуировке прибора можно перемещать конец тяги 10. Зубчатый сектор удерживается на оси 9 и входит в зацепление с шестерней 7, называемой трибкой. Трибка жестко насажена на ось стрелки.

К оси стрелки крепится конец упругого волоска 6. Другой конец волоска прикреплен к неподвижной части прибора. Упругий волосок 6 служит для устранения мертвого хода стрелки, вызванного наличием люфтов в соединениях.

Измеряемое давление подводится во внутрь трубки 3 через штуцер 1.

Под действием давления малая ось эллипса увеличивается на величину Δb , но и длина трубки, как до деформации, так и после деформации остается постоянной, поэтому уменьшается первоначальный угол дуги трубки на величину $\Delta\alpha$. Это можно доказать так.

Обозначим радиусы дуг до деформации R и r , а после деформации R' и r' , тогда будем иметь:

$$R\alpha = R'\alpha'$$

$$r\alpha = r'\alpha'$$

Вычитая из первого равенства второе, получим:

$$(R-r)\alpha = (R'-r')\alpha'$$

Учитывая, что $b = R-r$, а $b' = R'-r'$, то

$$b\alpha = b'\alpha'$$

Из этого выражения видно, что так как под действием давления увеличивается малая ось b , то $b < b'$, а, следовательно, $\alpha > \alpha'$ – это значит, что трубка будет раскручиваться, а первоначальный угол α – уменьшаться. Раскручивание трубки вызывает перемещение тяги 10, которая поворачивает зубчатый сектор и трубку, на оси которой насажена стрелка. Максимальный ход стрелки 270° при угле раскручивания

$\Delta\alpha$ ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Аналитическое выражение угла раскручивания $\Delta\alpha$ можно определить так:

Вместо b , запишем $b + \Delta b$ и вместо α запишем, $\alpha - \Delta\alpha$, тогда:

$$b\alpha = (b + \Delta b) \cdot (\alpha - \Delta\alpha)$$

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

откуда

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta b}{b + \Delta b} \cdot \alpha$$

Из полученного выражения видно, что $\Delta\alpha$ будет тем больше, чем меньше b и больше α .

Предел измерения манометра, его размер, форма сечения и выбор материала для изготовления трубчатой пружины зависят от предела пропорциональности. Пределом пропорциональности называется предельное значение давления, не вызывающего остаточной деформации пружины.

Для увеличения надежности манометра верхний предел измерения выбирается с двойным запасом.

Трубчатые пружины на малые давления изготавливают из латуни с толщиной стенки 0.3-0.5 мм. Для измерения высоких давлений применяются стальные трубчатые пружины или пружины, изготовленные из твердых сплавов.

Промышленностью выпускаются образцовые и рабочие манометры с трубчатой пружиной. Согласно *ГОСТ 6521-60* образцовые манометры выпускаются классом точности 0.16; 0.25; 0.4.

Для рабочих манометров согласно *ГОСТ 8625-65* установлены классы точности 0.5; 1; 1.5, 2.5 и 4.

Принципиальная схема грузопоршневого манометра показана на рисунке 3.

Грузопоршневой манометр состоит из грузовой измерительной головки 1, имеющей в центральной части цилиндрический полированный канал. В канале находится поршень 2, на конце которого находится тарелка. На тарелку укладываются калиброванные грузы 3. Канал колонки 1 соединен с гидропрессом и со штуцерами, служащими для присоединения поверяемого 16 и образцового 5 манометров. Каналы колонки и штуцеров имеют игольчатые вентили 4, 6 и 15.

Гидропресс состоит из цилиндра, внутри которого находится поршень с кожаным уплотнением. Поршень крепится к червяку 12, снаружи которого прикреплен маховик 11. При вращении маховика поршень перемещается по цилиндру.

Для создания предварительного давления в некоторых грузопоршневых манометрах предусмотрен ручной насос 8. Вентилем 7 ручной насос отключается от системы.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

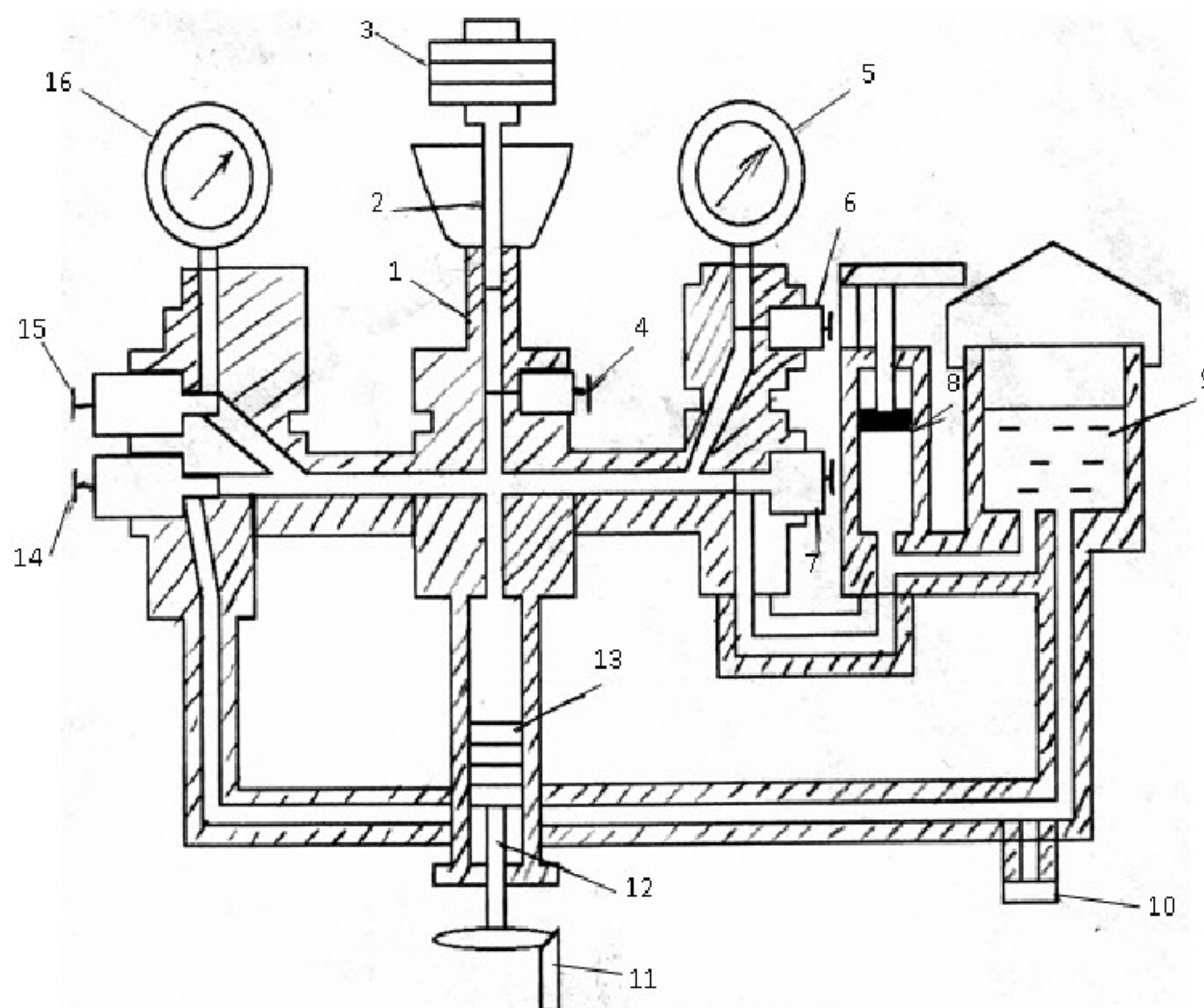


Рисунок 3 – Схема грузопоршневого манометра

Вся система грузопоршневых манометров с пределами измерения до 6 МПа заполняется трансформаторным маслом, а с пределами измерения до 250 МПа – касторовым маслом. Масло заливается в бачок 9. При работе бачок отключается от системы игольчатым вентилем 14.

Принцип действия грузопоршневого манометра основан на уравнивании измеряемого давления P , действующего на свободно перемещающийся в цилиндре поршень 2 силой G , создаваемой калиброванными грузами 3.

$$P = \frac{G}{S}$$

где P – измеряемое давление;

G – вес калиброванных грузов и поршня с тарелкой;

S – рабочая площадь поршня 2.

Грузопоршневые манометры относятся к числу наиболее точных приборов и применяются для градуировки и поверки образцовых и рабочих манометров.

3 Аппаратура, оборудование и материалы

Для проведения лабораторной работы используется следующее оборудование:

1. Грузопоршневой манометр
2. Калиброванные грузы

4 Методика и порядок выполнения работы

4.1 Порядок градуировки и поверки грузопоршневого манометра

1. Перед градуировкой манометра его подвергают внешнему осмотру. Манометр считается неисправным и градуировке не подлежит, если при осмотре будет обнаружена изношенность резьбы штуцера, ржавчина, разбитое стекло. 2. При помощи гаечных ключей устанавливают на грузопоршневом манометре образцовый 5 и рабочий 16 манометры. При этом их шкалы должны быть обращены к исполнителю работы.

3. Проверяют наличие масла в бачке 9. При необходимости масло добавляют.

4. Открывают вентили 14, 6 и 15.

5. Заполняют манометрическую систему маслом, перемещая поршень 13 вправо вращением маховика 11. После заполнения системы маслом вентиль 14 закрывают.

6. Снимают крышку с градуируемого прибора, предварительно вывернув крепящие винты. В том случае, когда стекло крепится зажимным кольцом, удаляют кольцо и снимают стекло.

7. При помощи струбцины удаляют стрелку, а затем снимают шкалу.

8. Производят внешний осмотр трубчатой пружины и передаточного механизма, выясняя, нет ли переломов и вмятин на упругой трубке 3, не вогнуты ли детали передаточного механизма, в хорошем ли состоянии упругий волосок, трибка, сектор и т.д.

9. Устанавливают тягу 10 в средней части прорези хвостовика зубчатого сектора.

10. Устанавливают вспомогательную регулировочную шкалу и приступают к градуировке манометра.

11. Градуировка по показаниям образцового пружинного манометра осуществляется в следующей последовательности.

12. Отключают измерительную колонку 1 (рисунок 3) и ручной насос 8, закрыв вентили 4, 7.

13. Проверяют угол между тягой 10 и хвостовиком зубчатого сектора 8 (рисунок 1), который должен составлять 90° .

Проверку угла ведут по 50% отметке, для чего вращением маховика 11 устанавливают стрелку образцового манометра 5 против отметки, соответствующей 50% номинального значения шкалы градуируемого манометра и угломером проверяют угол. При необходимости регулировки угла освобождают винты 5 (рисунок 1) и поворачивают передаточный механизм до необходимого положения. После чего винты 5 закрепляют.

14. Устанавливают стрелку образцового манометра на отметку, соответствующую 10% номинального значения шкалы градуируемого манометра. Стрелку градуируемого манометра закрепляют на оси трибки, против соответствующей отметки шкалы.

15. Устанавливают стрелку образцового манометра на отметку, соответствующую номинальному значению градуируемого манометра. Стрелка градуируемого манометра должна установиться против верхней отметки шкалы. В противном случае нижний конец тяги 10 перемещают по прорези сектора 8 настолько, чтобы стрелка градуируемого манометра установилась против верхней отметки.

Примечание: При выполнении этой операции необходимо левой рукой поддержать хвостовик сектора и помнить, что если стрелка не доходит до верхней отметки шкалы, тягу перемещают в сторону оси вращения сектора (увеличивают размах стрелки).

16. Операции пп. 3 и 4 повторяют до совпадения стрелки градуируемого манометра на нижней и верхней отметках шкалы в пределах половины допустимой погрешности.

17. Снимают регулировочную шкалу и устанавливают циферблат и стрелку. 18. Производят поверку всех оцифрованных точек шкалы рабочего манометра. При поверке вращением маховика 11 устанавливают стрелку поверяемого манометра точно против поверяемой отметки и записывают показания образцового манометра. Поверку производят при прямом и обратном ходах.

Результат поверки заносят в протокол работы.

При регулировке манометра по калиброванным грузам включают измерительную колонку 1 и ручной насос, открыв вентили 4 и 7. Градуировка манометра ведется в той же последовательности, что и при градуировке по образцовому пружинному манометру. Разница заключается только в том, что контрольными значениями для градуируемого манометра является вес калиброванных грузов, указанный на грузах в единицах давления. Градуировка при взвешенном состоянии поршня в пределах рабочего хода и при его вращении. Обычно добиваются погружения поршня от $1/2$ до $2/3$ своей длины. Угловая скорость вращения должна составлять от 30 до 120 об/мин в зависимости от нагрузки (чем больше нагрузка, тем меньше скорость вращения). Вращение создают от руки.

5 Содержание отчета, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Таблица 1-Характеристики поверяемого и образцового манометров

Приборы, применяемые при работе	Тип	Пределы измерения	Класс точности
Поверяемый манометр			
Образцовый манометр			

Таблица 2-Результаты поверки манометра

Поверяемые отметки градуируемого манометра, P_p	Показания образцового манометра, P_0		Абсолютная погрешность градуируемого манометра	
	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход

Максимальная приведенная погрешность поверяемого манометра:

$$\delta = \frac{P_p - P_0}{P_0} \cdot 100\%$$

Контрольные вопросы

1. Какие разновидности трубчатых пружин известны
2. На чём основан принцип действия грузопоршневого манометра
3. Назовите классы точности рабочих и образцовых манометров

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Лабораторная работа № 9

Градуировка технических термопар

Цель и содержание: Целью данной работы является ознакомление с принципом действия и устройством термопары, изготовление термопары, а также произвести градуировку термопары; построить графики зависимости ЭДС от температуры для градуируемой и образцовой термопар по экспериментальным данным.

Теоретическое обоснование

Замкнутая электрическая цепь, состоящая из двух разнородных проводников (электродов), образует термоэлемент, называемый термопарой (рисунок 1). Спаянный конец, помещенный в измеряемую среду, называется рабочим концом или горячим спаем, а другой – холодным спаем (t_0).

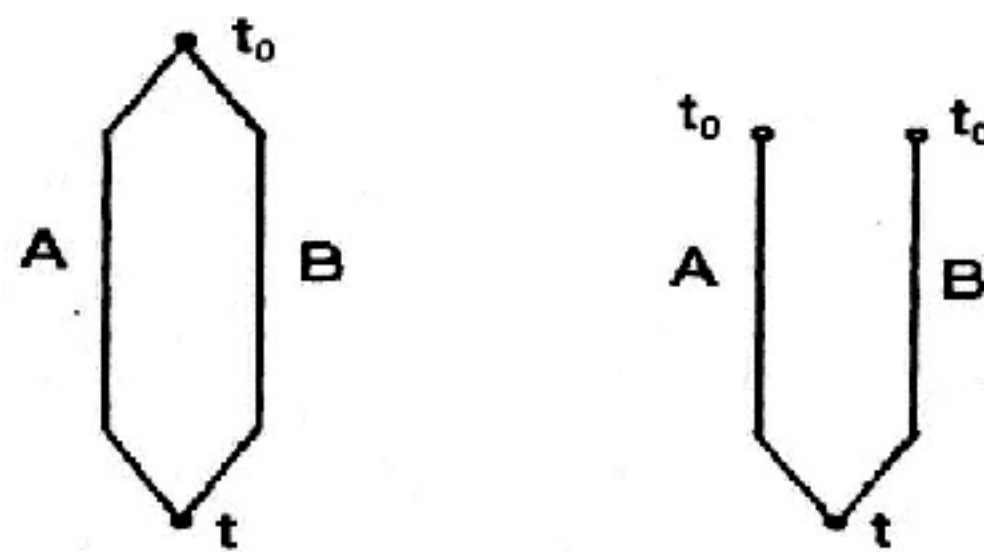


Рисунок 1- Схема термопары

Термопары можно изготавливать из любых разнородных металлов или их сплавов. Однако из-за высоких требований, предъявляемых к термопарам при измерении температуры, практическое применение получили платинородий-платиновые (ПП), хромель-алюмелевые (ХА) и хромель-копелевые (ХК) термопары.

Основные требования к термопарам:

- большая ЭДС, развиваемая термопарой;
- линейная зависимость ЭДС термопары от температуры;
- воспроизводимость термопары;
- неизменяемость характеристики;
- долговечность.

Возникновение ЭДС термопары объясняется так. Число свободных электронов, отнесенное к единице объема, неодинаково в разных металлах. При плотном соприкосновении электроны диффундируют из металла с большим их содержанием в металл с меньшим содержанием в большем количестве, чем в обратном направлении. При этом первый металл заряжается положительно, а второй – отрицательно. Возникающее в месте соприкосновения электрическое поле препятствует этой диффузии. При некотором значении электрического поля устанавливается динамическое равновесие, при котором скорости перехода электронов из одного металла в другой становятся равными. При таком установившемся состоянии в спае возникает разность потенциалов, называемая термоэлектродвижущей силой (ТЭДС). Для одной и той же пары термоэлектродов ТЭДС зависит от температуры.

Суммарная ТЭДС замкнутой цепи, составленной из термоэлектродов А и В, спаи которой имеют одинаковую температуру, например $t_0 = 0$.

ЭДС термопары, спаи которой имеют разную температуру t и t_0 , определяется из уравнения

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0), \quad (1)$$

или, изменяя порядок индексов второго члена правой части уравнения, получим:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) \quad (2)$$

Это и есть уравнение термопары. Или

$$E_{AB}(t, t_0) = f_1(t) - f_2(t_0) \quad (3)$$

При постоянном значении температуры холодного спая (t_0), ЭДС термопары зависит только от температуры горячего спая:

$$E_{AB}(t, t_0) = f(t) \quad (4)$$

Обычно температуру холодных спаев приводят к 0°C . Для измерения ЭДС термопары, измерительный прибор подключают к ее свободным концам (рисунок 2, а) или в разрыв одного из электродов при замкнутых свободных концах (рисунок 2, б).

Подключение прибора к термопаре можно рассматривать как включение третьего проводника в ее цепь.

При подключении прибора к свободным концам термопары (рисунок 2а) в цепи образуются три спая: один горячий 1 и два холодных 2 и 3.

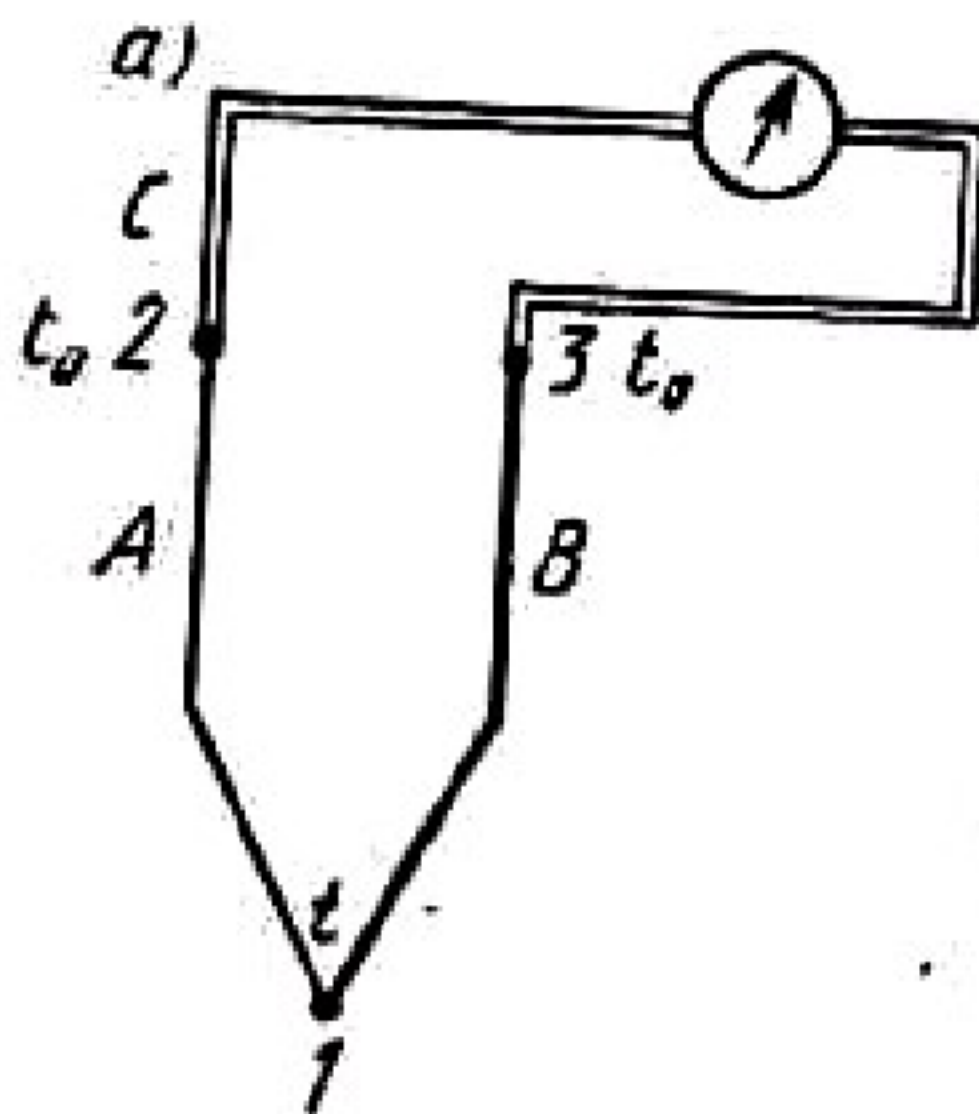


Рисунок 2а – Схема подсоединения измерительного прибора к свободным концам термопары

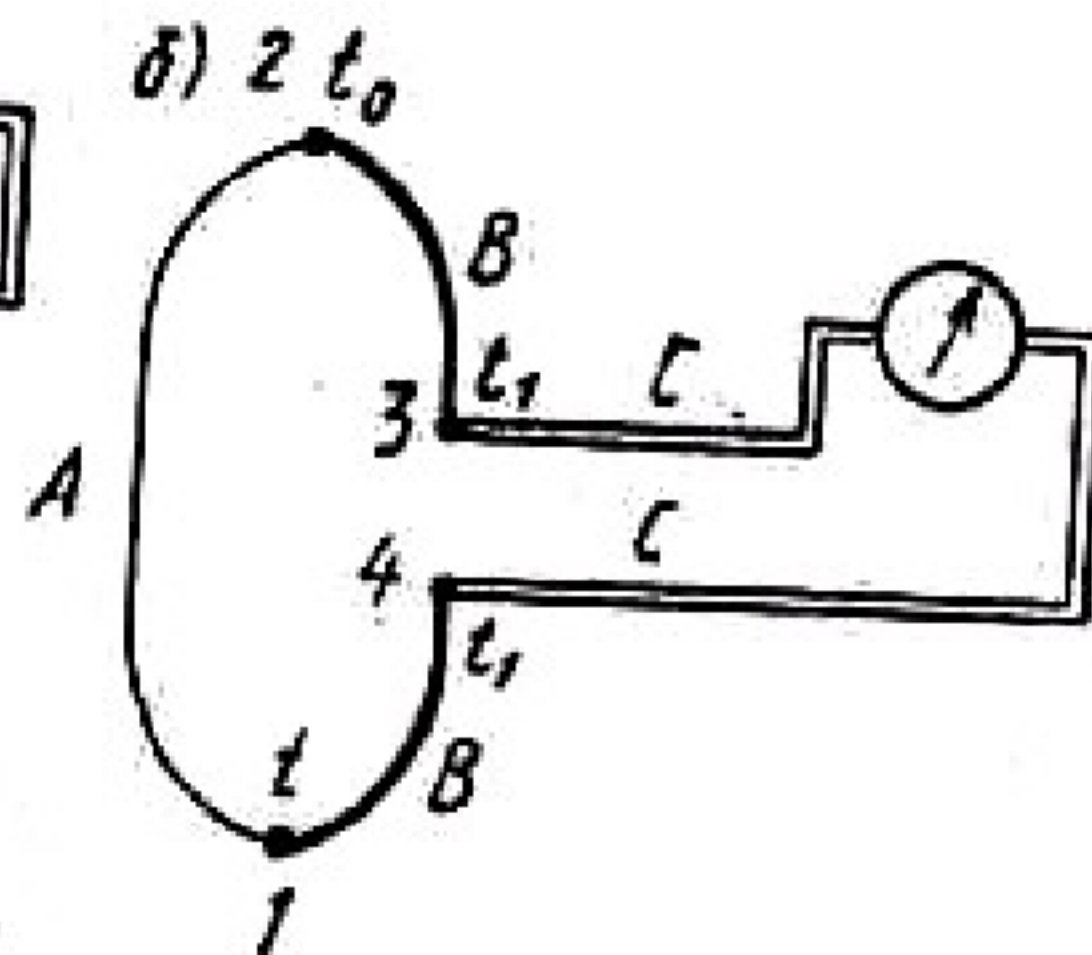


Рисунок 2б – Схема включения измерительного прибора в разрыв цепи термоэлектрического преобразователя

Принимая температуру холодных спаев одинаковой и равной t_0 , а температуру горячего спая 1, равной t , найдем, что суммарная ЭДС цепи равна:

$$E_{ABC}(t, t_0, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0) \quad (5)$$

Сумму $e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0)$ можно заменить на $-e_{AB}(t_0)$, так как ЭДС замкнутой цепи, состоящая из нескольких проводников и имеющих одинаковую температуру спаев, согласно закону Вольта, равна 0.

После замены получим:

$$E_{ABC}(t, t_0, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) = E(t, t_0) \quad (6)$$

что совпадает с уравнением термопары (2). Отсюда видно, что подключение измерительного прибора к свободным концам термопары не влияет на ее ЭДС, если температура этих концов одинакова.

ЭДС термопары не изменится и в том случае, если измерительный прибор включен в разрыв одного из электродов и точки подсоединения прибора имеют одинаковую температуру. Соединение термопары с измерительным прибором осуществляется

специальными проводами, называемыми компенсационными проводами.

Для цепи (рисунок 2, б) получим:

$$E_{ABC}(t_1 t_0) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_1) + e_{CB}(t_1) + e_{BA}(t_0) \quad (7)$$

Учитывая, что

$$e_{BC}(t_1) = -e_{CB}(t_1) \text{ и } e_{BA}(t_0) = -e_{AB}(t_0),$$

запишем:

$$E_{ABC}(t_1 t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) = E(t t_0) \quad (8)$$

т. е. уравнение (8) также совпадает с (2).

Таким образом, следствием совпадения уравнений (6) и (8) с (2) является то, что термо ЭДС *ТЭП* не изменяется от введения в его цепь третьего проводника при равенстве температур его концов. Этот вывод легко распространить на любое число проводников, подключаемых в контур *ТЭП*, при условии равенства температур концов этих проводников. Указанный вывод может быть отнесен также к подключаемому измерительному прибору.

Итак, подключение измерительного прибора в контур *ТЭП* по обеим схемам (рисунок 2, а, б) одинаково правомочно; при этом термо ЭДС, генерируемая в *ТЭП*, не искажается.

Измерительный прибор покажет истинную температуру только в том случае, если температура холодных спаев равна нулю. В действительности же на практике температура холодных спаев термопары отличается от 0°C, поэтому в показания прибора вводят поправку по уравнению:

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t_0') \pm E_{AB}(t_0', t_0) \quad (9)$$

где $E_{AB}(t, t_0)$ – ЭДС развиваемая термопарой при температуре горячего спая t и холодного спая $t_0 = 0^\circ\text{C}$;

$E_{AB}(t, t_0')$ – ЭДС, развиваемая этой же термопарой при температуре горячего спая t ,

$E_{AB}(t_0', t_0)$ – поправка на температуру холодного спая, определяемая как ЭДС термопары, развиваемая термопарой при температуре горячего спая t_0' и холодного спая $t_0 = 0^\circ\text{C}$.

Знак «+» ставится, когда действительная температура холодного спая (температура окружающей среды) выше нуля, а «-» – ниже нуля.

В промышленных приборах при измерении температуры при помощи термопар применяют компенсирующие устройства, которые автоматически вводят поправку на температуру холодного спая. Для правильного введения поправки необходимо, чтобы компенсирующее устройство и холодный спай термопары имели одинаковую температуру. Для этого холодный спай термопары при помощи компенсационных проводов переносится непосредственно к компенсирующему устройству. В большинстве случаев компенсирующее устройство помещается внутри корпуса измерительного прибора.

Компенсационные провода изготавливаются из таких же материалов, как и сама термопара, или же подбираются сплавы металлов которые в паре между собой развивают ЭДС при изменении температуры в пределах 0-100°C такую же, как и термопара, для которой эти провода подбираются.

2. Аппаратура, оборудование и материалы

1. Проволочные электроды диаметром от 0,5 до 3,3 мм
2. Ртутный термометр
3. Специальное устройство (рис 3)

Сертификат: 2C0900043E8AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

4. Металлический блок (рис.4)
5. Потенциометр

Порядок выполнения работы

Задание 1. Изготовление термопары.

Для изготовления термопары применяются проволочные электроды диаметром от 0,5 до 3,3 мм.

Берут два разнородных электрода, длина которых на 50-60 мм больше длины образцовой термопары.

Концы электродов, предназначенные для сварки, зачищают мелкой наждачной бумагой и туго скручивают в 5-6 витков. Последние два витка ножницами срезают.

Скрученный конец электродов сворачивают на специальном устройстве (рисунок 3). Подготовленный конец зажимают металлическими щипцами с изолированными ручками на расстоянии 30-40 мм от скрутки и включают напряжение. Скрутку опускают в угольный порошок на глубину 10-20 мм и выдерживают, примерно, 2-3 секунды до образования спая (шарика). После сварки термопару отжигают при температуре 500-600 °С, а затем электроды термопары изолируют фарфоровыми трубками. Определяют полярность термопары и подсоединяют ее к зажимам головки, соблюдая полярность, указанную на головке.

Задание 2. Градуировка термопары.

Градуировкой термопары называется экспериментальное нахождение зависимости ЭДС термопары от температуры ее горячего спая. Существуют два способа градуировки:

- по постоянным точкам – температурам равновесного состояния эталонных веществ, численные значения которых известны. Например, точка таяния льда, кипения воды, плавления серебра, золота, кипения кислорода, тройная точка водорода;
- по показаниям образцовой термопары.

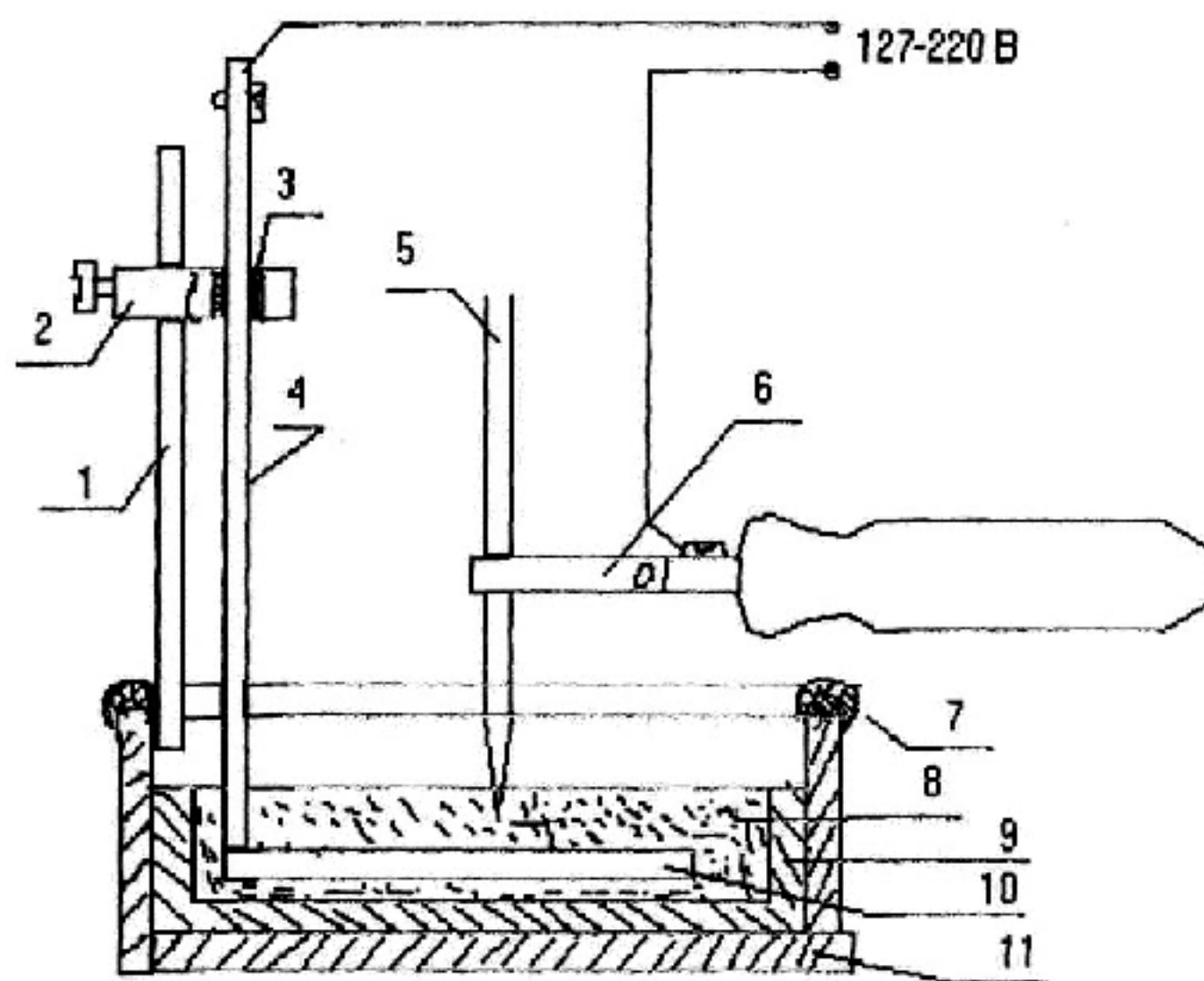


Рисунок 3 – Специальное устройство: 1 – кронштейн; 2 – зажим; 3 – электроизоляционная втулка; 4 – держатель-электрод; 5 – термопара; 6 – щипцы; 7 – резиновая накладка; 8 – порошок угля; 9 – тигель; 10 – пластинка-электрод; 11 – корпус устройства.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA800060000043E
Владелец: [неизвестно]
Действителен до: 11.05.2012 по [неизвестно]

Первый способ градуировки наиболее точен и применяется почти исключительно для проверки и градуировки эталонных термопар.

Градуировку по второму методу осуществляют по образцовой платинородий-платиновой термопаре второго разряда. Температура, определяемая по образцовой

термопаре, принимается за действительное значение температуры в печи.

Градуировка термопары по второму методу сводится к следующему:

Горячие спай образцовой и градуированной термопары вставляют в отверстия металлического блока 1 (рисунок 4), который помещается в среднюю часть электрической печи 2. Металлический блок служит для выравнивания температурного поля печи. Его изготавливают из жароупорной стали в виде цилиндра диаметром, равным приблизительно внутреннему диаметру керамической трубы печи, и длиной 80-100 мм.

Во избежание попадания холодного воздуха все отверстия печи тщательно закрываются. Холодные спай образцовой и градуированной термопар помещают в пробирки 4 и заливают сухим минеральным маслом на высоту 10-15 мм.

Заполняют сосуд Дьюара 5 мелкодробленым чистым льдом и заливают его водой так, чтобы уровень воды был несколько ниже уровня льда. В полученную водо-ледяную смесь погружают пробирки с холодными спаями и ртутный термометр 3. По ртутному термометру следят за температурой водо-ледяной смеси, которая должна быть равной нулю на весь период градуировки. Если температуру холодных спаев по каким-либо причинам невозможно поддерживать равной нулю, то градуировку можно осуществлять и по иной температуре холодного спая. При этом необходимо вводить поправку на температуру холодного спая. Температура холодного спая измеряется ртутным термометром с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$.

К контрольному прибору (потенциометру) 6 подключают соединительные провода от термопар, строго соблюдая полярность.

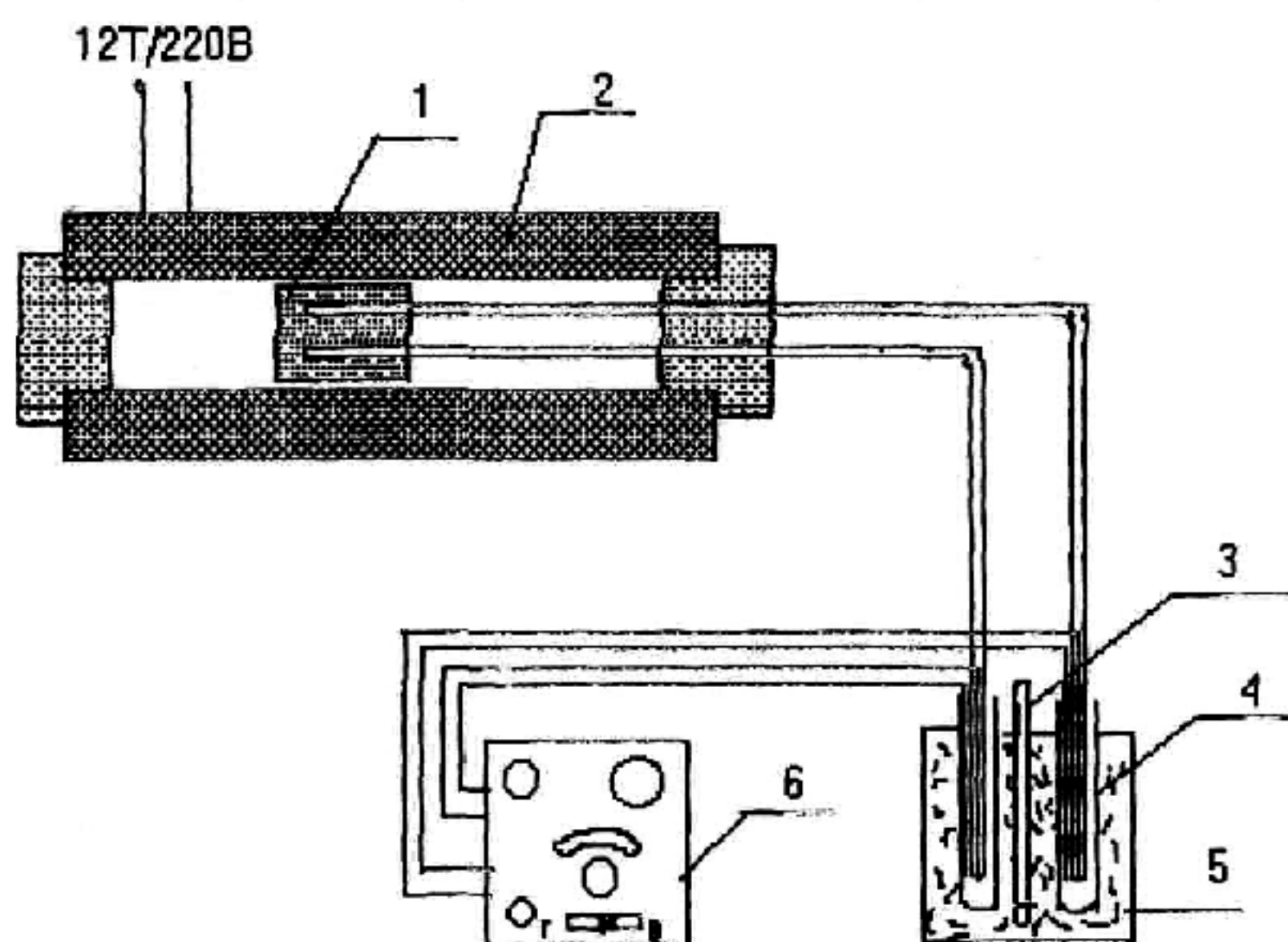


Рисунок 4 – Металлический блок: 1 – металлический блок; 2 – электрическая смесь; 3 – ртутный термометр; 4 – пробирка; 5 – сосуд Дьюара; 6 – контрольный потенциометр.

Подготавливают к работе контрольный потенциометр.

Подают напряжение к печи (127, 220В) и следят за показаниями контрольного потенциометра.

Снимают с контрольного потенциометра значения ЭДС образцовой и градуированной термопары не менее чем в 7-9 точках (заносят в таблицу 1), доводя температуру в печи до $500-550^{\circ}\text{C}$. Перед каждым измерением делают выдержку 10-15 минут.

Задание 3. По полученным данным строят графики зависимости ЭДС термопары от температуры. При этом по оси абсцисс откладывают действительные значения

температуры, определяемые по образцовой термопаре, а по оси ординат экспериментальные значения ЭДС образцовой и градуируемой термопар.

Определяют погрешности градуируемой термопары не менее чем в 5 точках, равномерно расположенных по кривой. За действительные значения принимают табличные значения ЭДС термопары. Погрешность не должна превышать $\pm 4^{\circ}\text{C}$ в интервале $0\text{-}300^{\circ}\text{C}$ и не превышать 1% при температурах.

Таблица 1.

Температура холодных спаев t°, C	Образцовая термопара				Градуируемая термопара				
	Показания прибора $E(t_0, t_0'), mV$	Поправка на температуру холодного спая $E(t_0, t_0'), mV$	Значение т.э.дс приведенное к 0°C $E(t, t_0), mV$	Истинная температура t°, C	Показания прибора $E(t, t_0), mV$	Поправка на температуру свободных концов $E(t_0, t_0'), mV$	Значение т.э.дс приведенное к 0°C $E(t, t_0), mV$	Табличное значение т.э.дс $E_T(t, t_0), mV$	Погрешность $\Delta E = E(t, t_0) - E_T(t, t_0)$

Контрольные вопросы

1. Назовите разновидности термопар
2. Какие требования предъявляются к термопарам
3. Как возникает ЭДС термопары
4. Приведите схемы включения измерительного прибора в цепь термоэлектрического преобразователя и выведите для них уравнение термопары
5. Почему термо ЭДС ТЭП не изменяется от введения в его цепь третьего проводника
6. Для чего вводится поправка на температуру свободных концов термоэлектрического преобразователя.

Лабораторная работа 10.

Измерение сопротивления электрической цепи постоянному току

Цель работы: изучить и экспериментально проверить основные способы измерения сопротивления электрической цепи постоянному току. Определить значения методической и инструментальной погрешностей измерения.

Теоретическая часть

Сопротивление электрическому току – один из основных параметров, характеризующих любую электрическую цепь. Сопротивление – параметр пассивный и в процессе экспериментального определения обязательно преобразуется в активную электрическую величину, значение которой затем измеряется. Таким образом, способы измерения сопротивления относятся к числу косвенных, при которых значение измеряемой физической величины (в данном случае – сопротивления) определяется по результатам прямых измерений, связанных с искомой величиной известной функциональной зависимостью.

Для экспериментального определения электрического сопротивления используют несколько способов.

Способ амперметра и вольтметра основан на раздельном измерении тока I в цепи измеряемого сопротивления R_x и напряжения U на его зажимах и последующего вычисления значения R по показаниям измерительных приборов в соответствии с законом Ома:

$$R_x = \frac{U}{I} \quad (1)$$

Обычно ток I измеряют амперметром, а напряжение U – вольтметром, этим объясняется название способа. При измерении больших сопротивлений (например, сопротивления изоляции) величина тока I мала и ее измеряют миллиамперметром, микроамперметром или гальванометром. При измерении малых сопротивлений (например, сопротивления куска провода) оказывается малым значение U , и для его измерения применяют милливольтметры, микровольтметры или гальванометры. Однако, во всех этих случаях способ сохраняет свое наименование – способ амперметра и вольтметра.

Достоинство способа заключается в простоте его реализации, недостаток – в сравнительно невысокой точности результата измерения, которая ограничена классом точности применяемых измерительных приборов и методической погрешностью. Последняя обусловлена влиянием мощности, потребляемой измерительными приборами в процессе измерения, другими словами – конечными значениями собственных сопротивлений амперметра R_A и вольтметра R_V , что можно пояснить следующим образом.

Экспериментальное определение значения сопротивления цепи производится при помощи схем, показанных на рисунке 1.

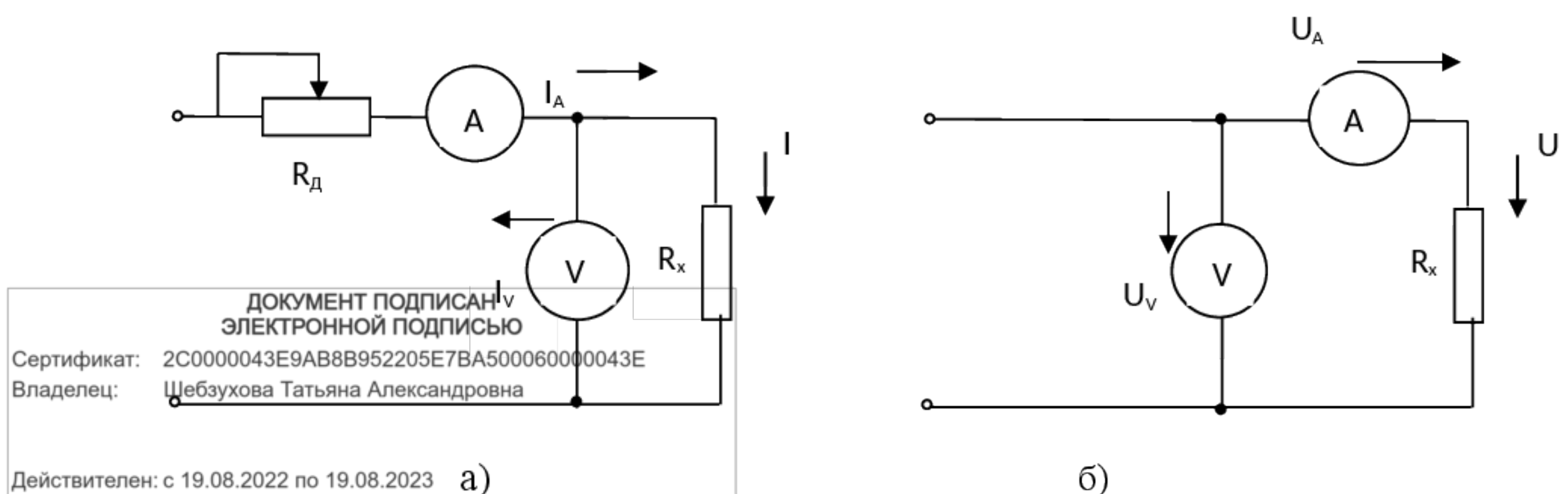


Рисунок 1 – Схемы измерения электрического сопротивления методом амперметра и вольтметра

В схеме рисунка 1,а вольтметр показывает значение напряжения на зажимах R_X , а амперметр – не ток I , протекающий по сопротивлению R_X , а сумму токов $I + I_V$ (здесь I_V – ток, протекающий через вольтметр). Следовательно, результат измерения R , вычисленный по показаниям приборов, будет отличаться от R_X :

$$R = \frac{U}{I + I_V} = \frac{U}{\frac{U}{R_X} + \frac{U}{R_V}} = \frac{R_X}{1 + \frac{R_X}{R_V}} \quad (2)$$

Относительная погрешность измерения в процентах будет равна:

$$\delta = \frac{R - R_X}{R_X} \cdot 100 = - \frac{\frac{R_X}{R_V}}{1 + \frac{R_X}{R_V}} \cdot 100 \approx - \frac{R_X}{R_V} \cdot 100 \quad (3)$$

Как видно, погрешность тем меньше, чем больше сопротивление вольтметра: при $R_V \rightarrow \infty \Delta R = (R - R_X) \rightarrow 0$. Таким образом, для правильной организации эксперимента необходимо выполнение неравенства $R_V \gg R_X$.

В схеме рисунка 1,б амперметр показывает значение тока в цепи с R_X , а вольтметр – сумму падений напряжений U на R_X и U_A на амперметре с сопротивлением R_A . Учитывая это, можно по показаниям приборов вычислить результат измерения:

$$\frac{U + U_A}{I_A} = \frac{I_A R_X + I_A R_A}{I_A} = R_X + R_A \quad (4)$$

Относительная погрешность измерения в процентах в данном случае будет равна:

$$\delta = \frac{R - R_X}{R_X} \cdot 100 = \frac{R_A}{R_X} \cdot 100 \quad (5)$$

и тем меньше, чем меньше сопротивление амперметра R_A по сравнению с R_X . (При $R_A \rightarrow 0 \Delta R \rightarrow 0$). Таким образом, для уменьшения методической погрешности в процессе эксперимента необходимо выполнение неравенства $R_A \ll R_X$.

В общем случае при практическом использовании данного способа можно рекомендовать правило: измерение малых сопротивлений следует производить по схеме рисунка 1,а; при измерении больших сопротивлений предпочтение следует отдавать схеме рисунка 1,б.

Выражения (2) – (5) фактически характеризуют суммарное значение методической и инструментальной погрешностей измерения. Методическую погрешность можно исключить путем введения соответствующих поправок, но для этого необходимо знать значения R_A и R_V . Если они известны, то из результата измерения по схеме рисунка 1,б следует вычесть значение R_A . В схеме рисунка 1, а результат измерения отражает параллельное соединение сопротивлений R_X и R_V , поэтому значение R_X вычисляют по формуле:

$$R_x = \frac{R}{1 - \frac{R}{R_V}} \quad (6)$$

Если при данном способе измерения сопротивления применить источник питания с заранее известным напряжением, то необходимость измерения напряжения вольтметром отпадает, а шкалу амперметра можно сразу отградуировать в значениях измеряемого сопротивления. На этом принципе основано действие многих моделей промышленных аналоговых омметров непосредственной оценки. Если источник питания обладает э.д.с. E , то под действие тока, протекающего по измерительной цепи, указатель амперметра отклонится на a делений шкалы:

$$a = \frac{E}{C} \cdot \frac{1}{R_D + R_A + R_X}, \quad (7)$$

где C – цена деления (постоянная) амперметра.

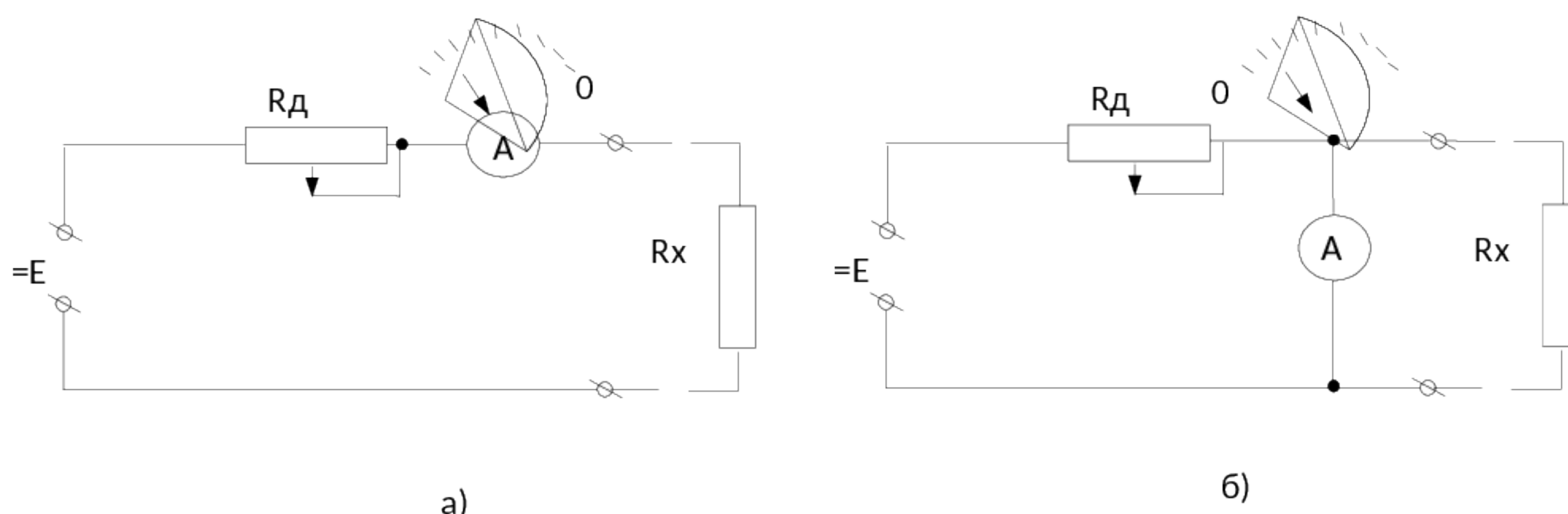


Рисунок 2 – Принципиальная схема омметра с последовательным (а) и параллельным (б) подключением измеряемого сопротивления

Как видно из выражения (7), шкала такого омметра нелинейна. Стабильность градуировочной характеристики требует обеспечения стабильности величин, входящих в уравнение. Между тем, в качестве источника питания в таких приборах обычно используется сухой элемент напряжения, э.д.с. которого падает по мере его разрядки. Внести поправку на изменение E , как видно из уравнения (7), можно путем соответствующей регулировки R_D .

Возможен другой способ подключения измеряемого сопротивления – не последовательно с амперметром, а параллельно ему. Зависимость между R_X и углом отклонения подвижной части в данном случае также нелинейная, однако нулевая отметка на шкале расположена слева, а не справа, как это имело место в предыдущем варианте. Такой способ подключения R_X применяется только при измерении малых сопротивлений.

Помимо аналоговых омметров в измерительной практике широко используются цифровые омметры, в которых результаты измерения представляются в цифровой форме на специальном табло.

Омметры обычно входят в состав комбинированных измерительных приборов (ампервольтметров, мультиметров), обеспечивающих помимо измерения сопротивления измерение электрического напряжения и тока.

При измерении сопротивления одинарным мостом реализуется нулевой метод сравнения, при котором происходит сопоставление измеряемой величины с величиной, воспроизводимой образцовой мерой, выполняемое вручную или автоматически. Мостовые схемы обладают большой точностью, высокой чувствительностью, широким диапазоном измерения.

Одинарный мост постоянного тока (рисунок 3) содержит четыре резистора R_1 , R_2 , R_3 и R_4 , которые соединены в кольцевой замкнутый контур и называются *плечами моста*. Цепи, соединяющие противоположные вершины, называют *диагоналями*. Диагональ ab содержит источник электропитания и называется *диагональю питания*. Диагональ cd , в которую включен индикатор Γ , называется *измерительной диагональю*. В мостах постоянного тока в качестве индикатора обычно используют гальванометр.

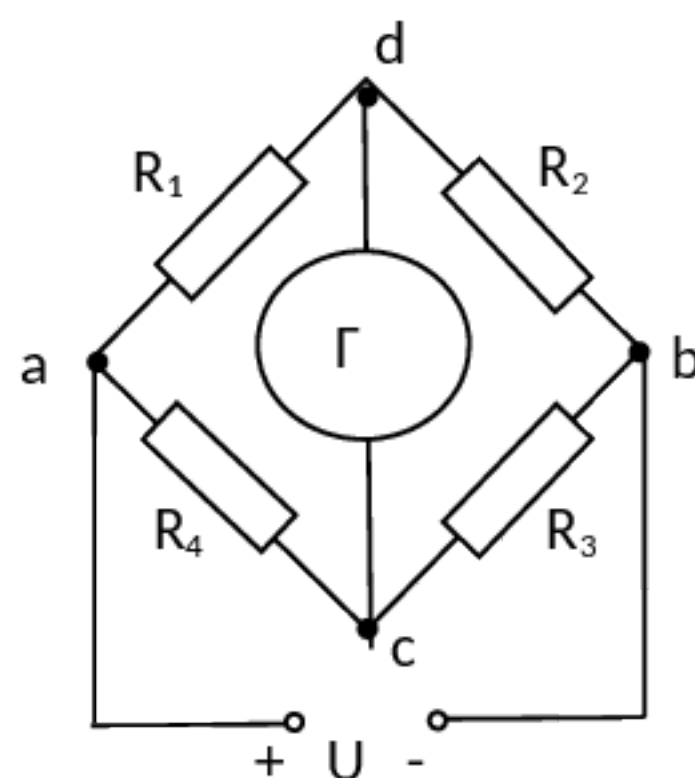


Рисунок 3 – Одинарный мост постоянного тока

В общем случае зависимость протекающего через гальванометр тока I_Γ от сопротивления плеч, сопротивления гальванометра R_Γ и напряжения питания U имеет вид:

$$I_\Gamma = \frac{U(R_1 R_3 - R_2 R_4)}{R_\Gamma(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2(R_3 + R_4) + R_3 R_4(R_1 + R_2)} \quad (8)$$

Измерение сопротивления может производиться в одном из режимов работы моста: уравновешенном либо неуравновешенном. Мост называется *уравновешенным*, если разность потенциалов между вершинами c и d равна нулю, а, следовательно, и ток через гальванометр равен нулю.

Из (8) следует, что $I_\Gamma = 0$ при

$$R_1 R_3 - R_2 R_4 = 0 \quad (9)$$

Это *условие равновесия одинарного моста* (9) можно сформулировать следующим образом: для того чтобы мост был уравновешен, произведения сопротивлений противолежащих плеч моста должны быть равны. Если сопротивление одного из плеч моста (например, R_4) неизвестно, то, уравнеся мост путем подбора сопротивлений плеч R_1 , R_2 и R_3 , из условия равновесия находим:

$$R_4 = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3 \quad (10)$$

выполняется в виде магазина сопротивлений с декадами « $\times 1000 \Omega$ », « $\times 100 \Omega$ », « $\times 10 \Omega$ », « $\times 1 \Omega$ », « $\times 0,1 \Omega$ » и « $\times 0,01 \Omega$ ».

В состоянии равновесия моста ток через гальванометр равен нулю и, следовательно, колебания напряжения питания и сопротивление гальванометра на результат измерения не оказывают влияния (важно лишь, чтобы чувствительность гальванометра была достаточной для надежной фиксации состояния равновесия). Поэтому основная погрешность уравновешенного моста определяется чувствительностью гальванометра, чувствительностью схемы, погрешностью сопротивлений плеч, а также сопротивления монтажных проводов и контактов. При измерении малых сопротивлений существенным источником погрешности может явиться сопротивление проводов, с помощью которых измеряемый резистор подключается к входным зажимам моста, так как оно полностью входит в результат измерения. Поэтому нижний предел измерения одинарного моста постоянного тока ограничен значениями сопротивления порядка 1 Ом. Верхний же предел измерения $10^6 \dots 10^8$ Ом ограничивается чувствительностью гальванометра: при больших значениях измеряемого сопротивления токи в плечах моста очень малы и чувствительности гальванометра недостаточно для четкой фиксации равновесия.

В режиме *неуравновешенного* моста измерение сопротивления производится по показаниям гальванометра, предварительно в комплекте с мостовой схемой отградуированного в единицах сопротивления. Неуравновешенные мосты часто применяют в устройствах для отбраковки изделий по сопротивлению (резисторов, обмоток реле и др.). Так, если при изготовлении резисторов необходимо отобрать из партии резисторы с сопротивлением $R = R_{ном} \pm \Delta R$, то, уравновесив предварительно мост с помощью образцового магазина сопротивления при $R = R_{ном}$, изменяют сопротивление магазина на $\pm \Delta R$ и фиксируют соответствующие отклонения стрелки гальванометра $\pm \Delta a$ (гальванометр с нулем посередине шкалы). Затем вместо магазина сопротивления ко входу моста подключаются контролируемые резисторы, и если стрелка гальванометра выходит за допустимые пределы, резистор бракуется.

Неуравновешенные мосты по точности значительно уступают уравновешенным, так как на результат измерения кроме факторов, указанных для уравновешенных мостов, оказывают влияние колебания напряжения питания и сопротивление гальванометра.

Поскольку способ измерения сопротивления с помощью одинарного моста обладает более высокой точностью, полученные с его помощью результаты могут послужить критерием для оценки погрешности измерения сопротивления другими способами.

Оборудование и материалы

Для выполнения лабораторной работы предусмотрены компьютерные классы, оснащенные ПК, а также системное программное обеспечение – ОС MS Windows 7 и приложения Office (Excel Word, Access и т.п.).

Указания по технике безопасности

Лабораторная работа проводится на ПЭВМ. Запрещается прикасаться к задней панели системного блока при включенном питании, переключать разъемы интерфейсных кабелей периферийных устройств, загромождать верхние панели устройств бумагами и посторонними предметами, допускать попадание влаги на поверхность системного блока, монитора, клавиатуры и других устройств.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Измерение сопротивления при помощи амперметра и вольтметра.

Собирают схему, показанную на рисунке 1, а. Устанавливая при помощи регулятора выходного напряжения источника питания БПС-2 несколько (не менее 3-х) значений тока

I_i в цепи резистора R_X в пределах 5-20 мА, измеряют соответствующие значения напряжения U_i . Результаты записывают в таблицу 1.

Собирают схему, показанную на рисунке 1,б. Устанавливая при помощи регулятора выходного напряжения источника питания БПС-2 несколько (не менее 3-х) значений напряжения U_i в цепи резистора R_X в пределах 5-10 В, измеряют соответствующие значения напряжения I_i . Результаты записывают в таблицу 1. По результатам измерений U_i и I_i рассчитывают значения R_{X_i} , из которых определяют $R_{X_{CP}}$, принимая его в качестве результата измерения R_X .

Задание 2. Измерение сопротивления при помощи аналогового омметра (комбинированного прибора Ц4313).

Подготавливают прибор Ц4313 для измерения в режиме омметра, для чего:

1. Подключают измерительные щупы к клеммам «*» и « U, I, r_X » прибора.
 2. Включают кнопку « r_X » и устанавливают переключатель диапазонов измерения в сектор измерения сопротивления на предел измерения, соответствующий номинальному значению сопротивления измеряемого резистора.
 3. Корректируют показания омметра, для чего замыкают накоротко зажимы прибора, к которым подключается R_X , и регулировкой сопротивления « $U_{ст. 0}$ » добиваются установки указателя прибора на нулевую отметку шкалы (располагается на крайней правой точке шкалы).
 4. Подключают измерительные щупы к подлежащему измерению резистору и определяют значение его сопротивления, пользуясь соответствующей шкалой прибора.
- Результаты измерений записывают в таблицу 1.

Таблица 1

№ резистора	Способ измерения													
	Аналоговый омметр		Цифровый омметр		Амперметром и вольтметром								Измерительным мостом	
					Рис. 1,а				Рис. 2,б					
	R_X <i>Ом</i>	δ %,	R_X <i>Ом</i>	δ %,	U <i>В</i>	I <i>А</i>	R_X <i>Ом</i>	δ %,	U <i>В</i>	I <i>А</i>	R_X <i>Ом</i>	δ %,	R_X <i>Ом</i>	δ %,
1														
2														
3														
4														
5														

Задание 3. Измерение сопротивления при помощи цифрового омметра (комбинированного прибора M830B).

1. Подготавливают прибор для измерения в режиме омметра, для чего подключают красный щуп к гнезду « U, Ω, mA », а черный – к гнезду « $c, Ом$ » и устанавливают переключатель режимов работы в сектор « Ω » на предел измерения, соответствующий номинальному значению сопротивления измеряемого резистора. Замкнув накоротко щупы, проверяют нулевые показания прибора (или отличие этих показаний от 0).

2. Подсоединяют щупы к выводам измеряемого резистора. Значение сопротивления, отображаемое на цифровом табло измерительного прибора (при необходимости скорректированное по отклонению от нулевых показаний), записывают в таблицу 1.

Задание 4. Измерение сопротивления при помощи одинарного моста.

1. Подготавливают универсальный измерительный прибор УПИП-60М для работы в режиме одинарного моста, для чего:

документ подписан
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0060043E5A30B352205E1B7A0C000000043E
Владелец: Шебухов Александр Иванович
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

2. Соединяют перемычками зажимы $T1$ и $П1$, $T2$ и $П2$ и подключают измеряемый резистор к зажимам $П1$ и $П2$ (двухзажимная схема подключения резистора).
3. Переключатель «*Род работы*» устанавливают в положение «*Мост 2з*».
4. Пользуясь ручками управления УПИП-60М, устанавливают такие значения плеча соотношения N и плеча сравнения R_3 , которые бы соответствовали номинальному значению измеряемого сопротивления R_x .
5. Включают питание моста тумблером «*Питание вкл.*» и уравнивают мост путем изменения сопротивления плеча сравнения R_3 . Контроль положения равновесия производят по показаниям гальванометра при нажатии кнопок «*Грубо*» и «*Точно*».
6. Уравновесив мост, определяют сопротивление резистора

$$R_x = N \cdot R_3 \quad (11)$$

Задание 5. Определяют погрешность измерения сопротивления различными способами по формуле:

$$\delta = \frac{R_x - R_M}{R_M} \quad (12)$$

где R_M – результат измерения сопротивления с помощью одинарного моста;
 R_x – значение сопротивления, полученное другим способом.

Значения рассчитанных погрешностей записывают в таблицу 1.

Контрольные вопросы

1. Какой из способов измерения сопротивления обеспечивает наименьшую погрешность измерения и почему?
2. Какие методы измерения реализуются в процессе измерения сопротивления различными способами?
3. Каковы особенности измерения больших и малых сопротивлений?

Лабораторная работа 11. Метрологическая поверка вольтметра.

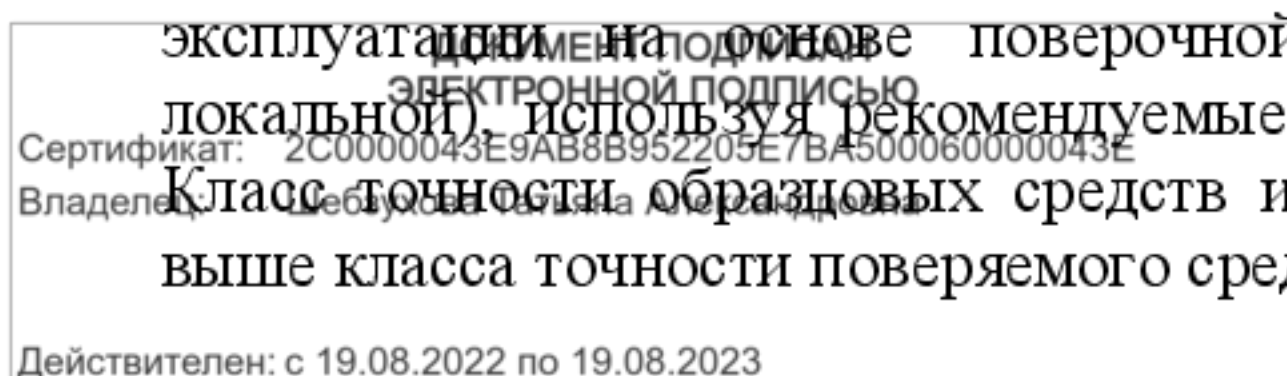
Цель работы

Освоить методику поверки средств измерения на примере вольтметра. Приобрести навыки оценки погрешностей вольтметра и установления его класса точности по экспериментальным данным.

Теоретическая часть

Поверкой средства измерения называют совокупность действий, выполняемых для определения его метрологических характеристик и оценки погрешностей. Основная цель поверки – выяснить, соответствуют ли точностные характеристики средства измерения регламентированным значениям и пригодно ли оно к применению.

Поверку средства измерения производят при нормальных условиях его эксплуатации на основе поверочной схемы (государственной, ведомственной или локальной), используя рекомендуемые в ней методы и образцовые средства измерения. Класс точности образцовых средств измерения должен быть не менее чем на порядок выше класса точности поверяемого средства измерения.



К числу метрологических характеристик, контролируемых в процессе поверки, относятся чувствительность и рабочий диапазон средства измерения, вариация показаний, значения составляющих его основной погрешности, а при необходимости – дополнительных погрешностей.

Чувствительность средства измерения отражает его способность реагировать на изменение входной величины и имеет размерность, зависящую от характера последней (например, чувствительность к току, чувствительность к напряжению и др.). Численное значение чувствительности определяется как:

$$S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \Delta Y / \Delta X, \quad (1)$$

где ΔY – приращение выходной величины;

ΔX – приращение входной величины.

Вычисления погрешностей средства измерения производят, пользуясь следующими формулами:

$$\Delta = A_X - A_O; \quad \delta = \pm \frac{\Delta}{A_O} \cdot 100\%; \quad \gamma = \pm \frac{\Delta}{A_N} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где A_X – измеренное значение физической величины;

A_O – действительное значение физической величины;

A_N – нормирующее значение физической величины;

Δ – абсолютная погрешность;

δ – относительная погрешность, %;

γ – приведенная (относительная приведенная) погрешность, %.

В качестве действительного значения физической величины принимают показания образцового средства измерения, а в качестве нормирующего – конечное значение диапазона измерения (шкалы) поверяемого средства измерения.

Вариация показаний средства измерения (обычно определяется для измерительных приборов) рассчитывается по формуле:

$$\gamma_B = \frac{A_H - A_B}{A_N} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где A_H и A_B – показания поверяемого средства измерения при подходе указателя «снизу вверх» (от меньших значений к большим) и «сверху вниз» (от больших значений к меньшим).

Класс точности – это обобщенная характеристика точности средств измерения данного типа, определяемая пределами допускаемой основной погрешности. Классы точности присваивают средствам измерений при их разработке на основании исследований и испытаний представительной партии средств измерения данного типа. При этом пределы допускаемых погрешностей нормируют и выражают в форме абсолютных, относительных или приведенных погрешностей в пределах диапазона измерений.

Чтобы отличить относительную погрешность от приведенной, обозначение класса точности в виде относительной погрешности обводят кружком, например, $\textcircled{2,5}$

В общем случае абсолютная погрешность средства измерения определяется выражением

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен до 19.08.2023

$$\Delta = a \pm b \cdot A_0, \quad (4)$$

где a и b – положительные числа, не зависящие от A_0 .

В выражении (4) a представляет собой *аддитивную*, а $b \cdot A_0$ – *мультипликативную* составляющие абсолютной погрешности.

Если аддитивная составляющая погрешности преобладает над мультипликативной, то пределы допускаемой абсолютной погрешности устанавливают по формуле:

$$\Delta = \pm a. \quad (5)$$

Поскольку нормирование по абсолютной погрешности не позволяет сравнивать средства измерения с разными диапазонами измерения по точности, принято нормировать приведенную погрешность. Пределы допускаемой приведенной основной погрешности определяют по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_N} \cdot 100 = \pm p, \quad (6)$$

где p – отвлеченное положительное число, выбираемое из стандартизованного ряда значений ($1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; ..., $5 \cdot 10^n$; ..., где $n = 1, 0, -1, -2$ и т.д.).

Если мультипликативная погрешность преобладает над аддитивной, то нормируется предел допускаемой относительной погрешности, т.к. последняя постоянна по диапазону измерения и выражается одним числом:

$$\delta = \frac{\Delta}{A_0} \cdot 100 = \pm q, \quad (7)$$

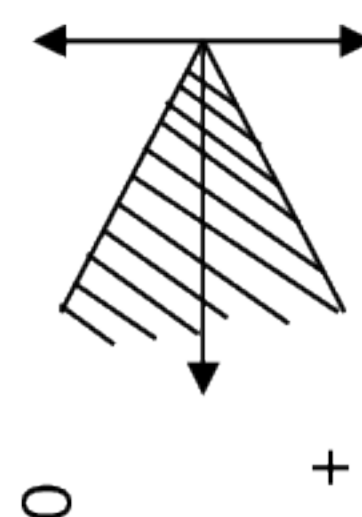
где q – отвлеченное положительное число, выбираемое из того же ряда, что и p .

Погрешности средств измерений при нормировании округляют до двух значащих цифр.

Классы точности средств измерений обозначаются условными знаками (буквами, цифрами). Для средств измерений, пределы допускаемой основной погрешности которых выражают в форме приведенной погрешности или относительной погрешности в соответствии с (6) и (7), классы точности обозначаются числами, равными этим пределам в процентах.

Для определения класса точности конкретного средства измерения необходимо построить график распределения значений абсолютной погрешности измерения Δ (рисунок 1), ограничив полосу распределения значений Δ линиями, отражающими предельное значение погрешности, после чего, в зависимости от преобладания аддитивной или мультипликативной составляющей, воспользоваться формулой (6) или (7).

В данной работе предлагается выполнить основные операции по метрологической поверке вольтметров постоянного и переменного тока.



а) б)
Рисунок 1 – Аддитивная (а) и мультипликативная (б) составляющие погрешности измерения (заштрихованы полосы распределения Δ)

Оборудование и материалы

Для выполнения лабораторной работы предусмотрены компьютерные классы, оснащенные ПК, а также системное программное обеспечение – ОС MS Windows 7 и приложения Office (Excel Word, Access и т.п.).

Указания по технике безопасности

Лабораторная работа проводится на ПЭВМ. Запрещается прикасаться к задней панели системного блока при включенном питании, переключать разъемы интерфейсных кабелей периферийных устройств, загромождать верхние панели устройств бумагами и посторонними предметами, допускать попадание влаги на поверхность системного блока, монитора, клавиатуры и других устройств.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Поверку вольтметра переменного тока, проводят согласно схеме рисунка 2.

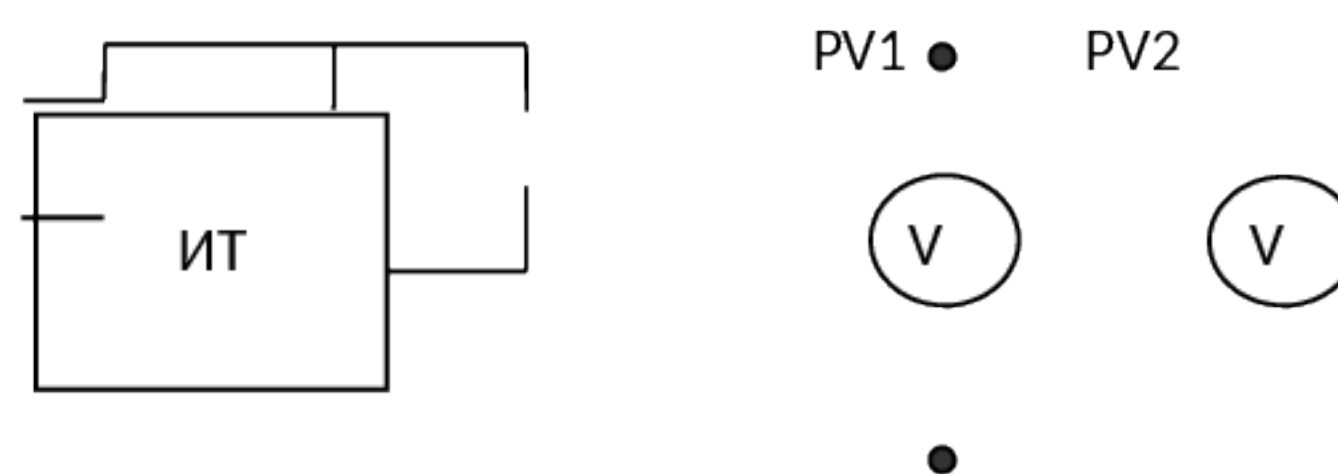


Рисунок 2 – Схема поверки вольтметра

ИТ – источник тока; PV1 – поверяемый вольтметр; PV2 – образцовый вольтметр

Изменяя значение измеряемого напряжения при помощи регулятора, указатель поверяемого вольтметра *PV1* устанавливают последовательно на все числовые отметки шкалы сначала при возрастании напряжения от нуля до наибольшего значения (ход указателя «снизу вверх»), а затем при убывании от наибольшего значения до нуля (ход указателя «сверху вниз»). При выполнении измерений необходимо следить за тем, чтобы указатель прибора подходил к числовой отметке с одной стороны. Действительные значения измеряемой величины определяют по образцовому вольтметру *PV2*. По указанию преподавателя производят ряд повторных измерений. Результаты измерений заносят в таблицу 1.

Задание 2. Рассчитывают значения погрешностей и вариации показаний поверяемого вольтметра, по формулам (2) и (3), используя в качестве A и A_0 значения U и U_0 , записывая их в таблицу 1.

Задание 3. По данным таблицы 1 строят график распределения погрешности Δ в функции измеряемого напряжения и выявляют вид доминирующей составляющей погрешности вольтметра (рисунок 1).

Показания вольтметра					Погрешности				Вариация показаний $\gamma_B, \%$
Образцового $U_0, В$	Поверяемого				Абсолютная, Δ		Относи тельная $\delta, \%$	Привед енная $\gamma, \%$	
	Ход указателя				Ход указателя				
	Вверх		Вниз		Вверх	Вниз			
	Дел. n	U, В	Дел. n	U, В					

Задание 4. Определяют класс точности вольтметра по формулам (6) или (7).

Задание 5. Построение графика зависимости $n = f(U_0)$, по которому, используя формулу (1), определяют значение чувствительности вольтметра.

Контрольные вопросы

1. Что такое «класс точности» средства измерения?
2. Что такое «поправка к показаниям средства измерения», как она определяется?
3. В чем разница между «поверочной схемой» и «схемой поверки» средства измерения?

Лабораторная работа № 12 Измерение гидростатического давления

Цель и содержание Целью данной работы является изучение устройства и принципа действия жидкостных приборов для измерения давления, приобретение навыков по измерению гидростатического давления жидкостными приборами.

2. Теоретическое обоснование

Гидростатическим давлением называют нормальное сжимающее напряжение в неподвижной жидкости, то есть силу, действующую на единицу площади поверхности, нормально ориентированной к этой силе.

За единицу давления в Международной системе единиц (СИ) принят паскаль (Па) – давление, вызываемое силой 1Н, равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1 м², то есть 1 Па = 1 Н/м².

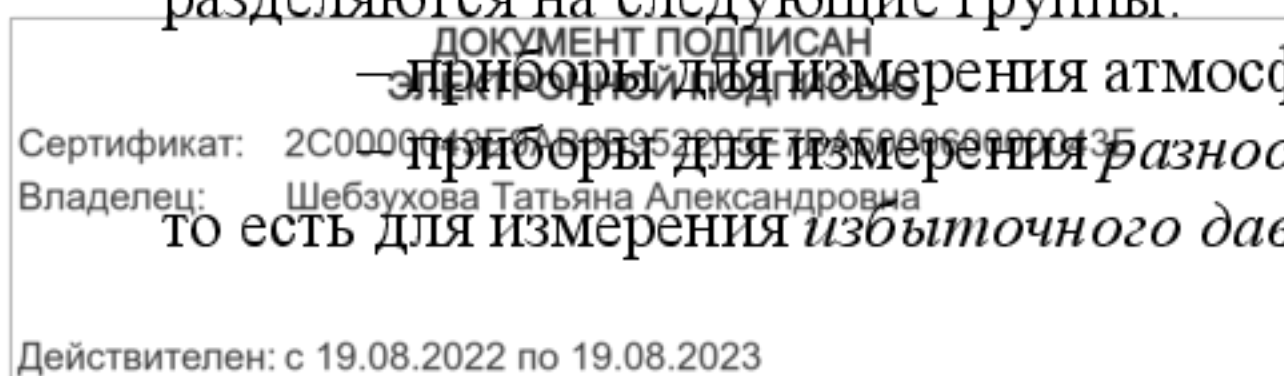
Для практических вычислений и измерений эта единица может быть неудобна, поэтому чаще применяют кратные единицы – килопаскаль (кПа) и мегапаскаль (МПа): 1 кПа = 10³ Па; 1 МПа = 10⁶ Па.

В зависимости от способа отсчета различают *абсолютное, избыточное (манометрическое) и вакуумметрическое* давление.

Абсолютное (полное) давление P отсчитывается от абсолютного вакуума. Атмосферное давление P_A создаётся силой тяжести воздуха атмосферы и принимается в обычных условиях равным 101325 Па или 760 мм.рт.ст. Избыток давления над атмосферным называют манометрическим давлением ($P_M = P - P_A$), а недостаток до атмосферного давления – *вакуумметрическим давлением* ($p_v = p_a - p$). На рисунке 1 показано соотношение давлений в различных системах отсчета.

Приборы для измерения давления весьма разнообразны. Они классифицируются по различным признакам. По характеру измеряемой величины давления приборы разделяются на следующие группы:

- приборы для измерения атмосферного давления p_{atm} – *барометры*;
- приборы для измерения разности абсолютного p_a и атмосферного давлений p_{atm} , то есть для измерения *избыточного давления* p_n – *манометры* и вакуума p_v –



вакуумметры. Приборы, измеряющие избыточное давление и вакуум называются *мановакуумметрами*;

– приборы для измерения абсолютного давления p_a – *манометры абсолютного давления* (если измеряемое давление больше атмосферного, то абсолютное давление можно измерять с помощью *барометра* и *манометра*; если меньше атмосферного – с помощью *барометра* и *вакуумметра*);

– приборы для измерения разности давлений – *дифференциальные манометры*;

– приборы для измерения малого избыточного давления и вакуума – *микроманометры*.

По принципу действия различают приборы жидкостные, механические, электрические, комбинированные.

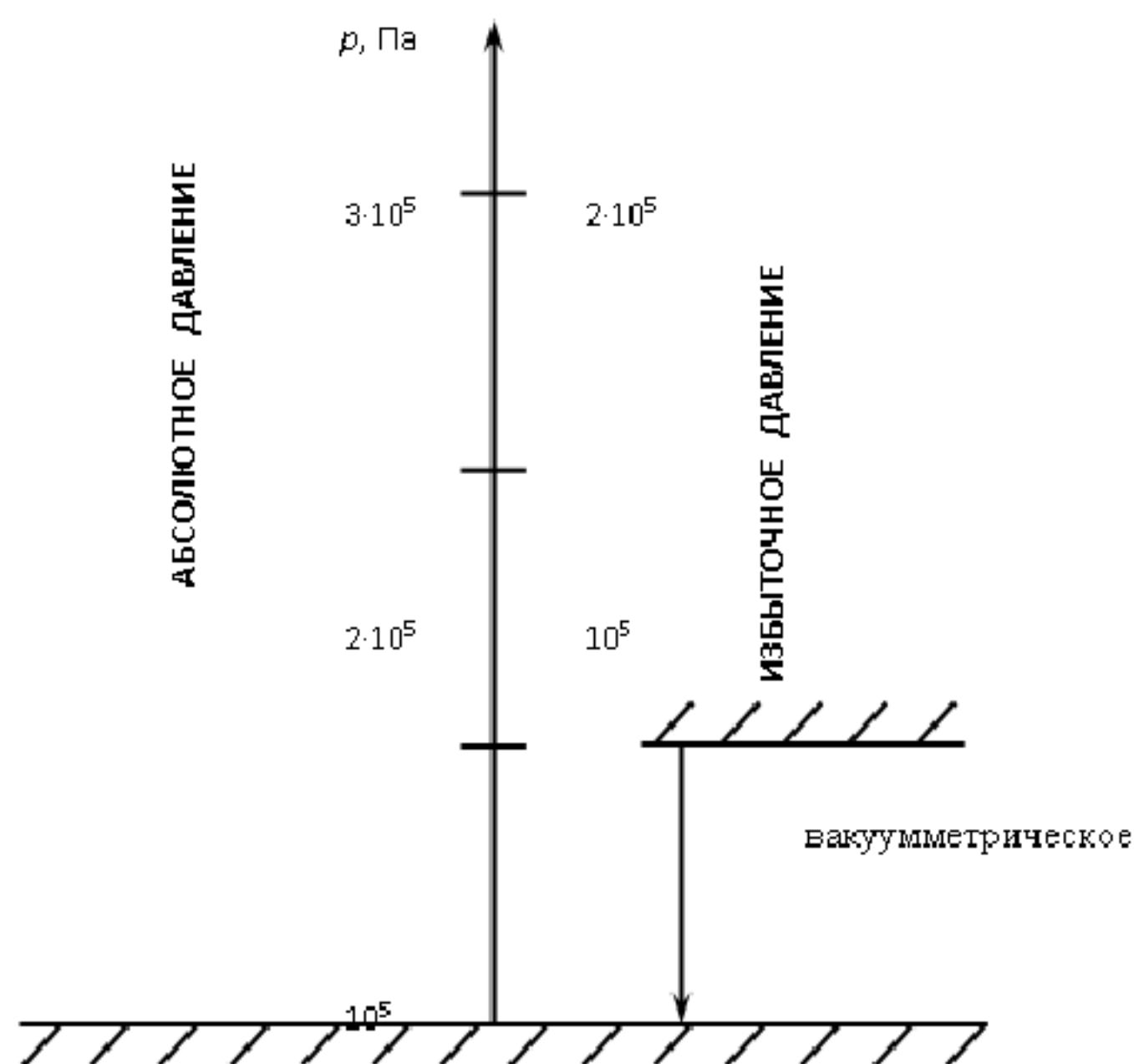


Рисунок 1 – Системы отсчета давлений

К *жидкостным* относятся приборы, основанные принципе уравнивания измеряемого давления p силой тяжести столба жидкости высотой h в приборе:

$$P = \rho \cdot G \cdot H, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости [кг/м³]; g – ускорение свободного падения [м/с²].

Преимуществами жидкостных приборов являются простота конструкции и высокая точность, однако они удобны только при измерении небольших давлений.

В **механических приборах** измеряемое давление деформирует упругий элемент прибора – пружину, которая может представлять собой полую трубку, мембрану, сильфон и т.п. Деформация упругого элемента, вызванная давлением, по закону Гука пропорциональна давлению и служит его мерой. Преимуществом механических приборов является их компактность и большой диапазон измеряемых давлений.

В **электрических приборах** воспринимаемое чувствительным элементом давление преобразуется в электрический сигнал, который регистрируется показывающим (вольтметр, амперметр) или пишущим (самописец, осциллограф) приборами. Важным преимуществом этих приборов является то, что с их помощью можно фиксировать давление при быстротекущих процессах.

К **комбинированным** относятся приборы, принцип действия которых носит смешанный характер (например, **электромеханические приборы**).

Абсолютное давление в любой точке покоящейся жидкости определяется по основному закону гидростатики

$$P_A = P_0 + \rho \cdot G \cdot H, \quad (2)$$

где p_0 – абсолютное давление на свободной поверхности, [па]; ρ – плотность жидкости, [кг/м³]; g – ускорение свободного падения [м/с²]; h – глубина погружения точки под свободной поверхностью, [м].

Оборудование и материалы

Ртутный барометр состоит вертикальной стеклянной трубки с миллиметровой шкалой и закрытым верхним концом, которая заполнена ртутью, и чаши с ртутью, в которую опущена трубка нижним концом. Таким прибором впервые было измерено атмосферное давление итальянским ученым Э. Торричелли в 1642 г.

Для демонстрации служит прибор (рисунок 2), который выполнен прозрачным и имеет полость 1, в которой всегда сохраняется атмосферное давление, и резервуар 2, частично заполненный водой. Для измерения давления и уровня жидкости в резервуаре 2 служат жидкостные приборы 3, 4 и 5. Они представляют собой прозрачные вертикальные каналы со шкалами, размеченными в единицах длины.

Однотрубный манометр (пьезометр) 3 сообщается верхним концом с атмосферой, а нижним – с резервуаром 2. Им определяется манометрическое давление $p_m = \rho \cdot g \cdot h_n$ на дне резервуара.

Уровнемер 4 соединен обоими концами с резервуаром и служит для измерения уровня жидкости h в нем.

Мановакуумметр 5 представляет собой U-образный канал, частично заполненный жидкостью. Левым коленом он подключен к резервуару 2, а правым – к полости 1 и предназначен для определения манометрического $p_{м0} = \rho \cdot g \cdot h_m$ (рисунок 2, а) или вакуумметрического $p_{в0} = \rho \cdot g \cdot h_v$ (рисунок 3, б) давлений над свободной поверхностью жидкости в резервуаре 2. Давление в резервуаре можно изменять путем наклона устройства.

При повороте устройства в его плоскости на 180° против часовой стрелки (рисунок 2, в) канал 4 остается уровнемером, колено мановакуумметра 5 преобразуется в **пьезометр** 6, а пьезометр 3 – в **вакуумметр** 7 (обратный пьезометр), служащий для определения вакуума $p_{в0} = \rho \cdot g \cdot h_v$ над свободной поверхностью жидкости в резервуаре 2.

4. Методика и порядок выполнения работы

При выполнении данной лабораторной работы необходимо вычислить давление в заданной точке (например, на дне резервуара) через показания различных приборов, а затем сравнить результаты, полученные двумя путями.

1. В резервуаре 2 над жидкостью создать давление выше атмосферного ($p_0 > p_{ат}$), о чем свидетельствует превышение уровня жидкости в пьезометре 3 над уровнем в резервуаре и прямой перепад уровней в мановакуумметре 5 (рисунок 2, а). Для этого устройство поставить на правую сторону, а затем, повернув его против часовой стрелки, отлить часть жидкости из левого колена мановакуумметра 5 в резервуар 2.

2. Снять показания h_n , уровнемера h и мановакуумметра h_m .

а)

б)

в)

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

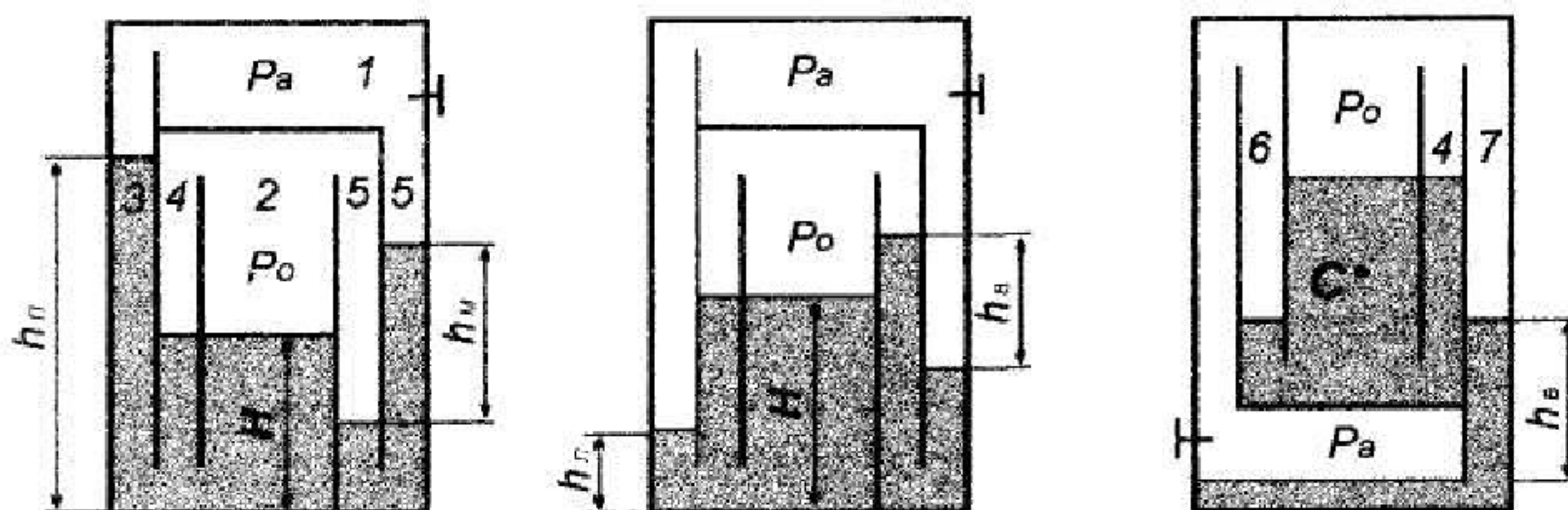


Рисунок 2 – Схема прибора: 1 – полость с атмосферным давлением; 2 – опытный резервуар; 3 – пьезометр; 4 – уровнемер; 5 – мановакуумметр; 6 – пьезометр; 7 – вакуумметр

3. Вычислить абсолютное давление на дне резервуара через показания пьезометра, а затем – через величины, измеренные уровнемером и мановакуумметром. Для оценки сопоставимости результатов определения давления на дне резервуара двумя путями найти относительную погрешность δ .

4. Над свободной поверхностью в резервуаре 2 создать вакуум ($p_o < p_{atm}$), когда уровень жидкости в пьезометре 3 становится ниже, чем в резервуаре, а на мановакуумметре 5 появляется обратный перепад h_v (рисунок 2, б). Для этого устройство поставить на левую сторону, а затем наклоном вправо перелить часть жидкости из резервуара 2 в левое колено мановакуумметра 5. Далее выполнить операции по п.п. 2 и 3.

5. Перевернуть устройство против часовой стрелки (рисунок 2, в) и определить манометрическое и вакуумметрическое давление в заданной преподавателем точке С через показания пьезометра 6, а затем с целью проверки найти его через показания обратного пьезометра 1 и уровнемера 4. Данные опытов занести в таблицу 1

Таблица 1

№ п/п	Наименование величин, размерность	Обозначения, формулы	Условия опыта	
			$p_o > p_{atm}$	$p_o < p_{atm}$
1	Пьезометрическая высота, м	h_{π}		
2	Уровень жидкости в резервуаре, м	h		
3	Манометрическая высота, м	h_m		_____
4	Вакуумметрическая высота, м	h_v	_____	
5	Абсолютное давление на дне резервуара по показанию пьезометра, Па	$p = p_{atm} + \rho \cdot g \cdot h_{\pi}$		
6	Абсолютное давление в резервуаре над жидкостью, Па	$p_o = p_{atm} + \rho \cdot g \cdot h_m$ $p_o = p_{atm} - \rho \cdot g \cdot h_v$	_____	_____
7	Абсолютное давление на дне резервуара через показания мановакуумметра и уровнемера, Па	$p^* = p_o + \rho \cdot g \cdot h$		
8	Относительная погрешность результатов определения давления на дне резервуара, %	$\delta_p = 100(p - p^*)/p$		

Сертификат:
Владелец:

2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Шебзухов Татяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Принять атмосферное давление $P_{AT} = 101325$ Па, плотность воды $\rho = 1000$ кг/м³

Контрольные вопросы

1. Что называется гидростатическим давлением? В каких единицах оно измеряется?
2. Что такое абсолютное давление? Какая связь между абсолютным, избыточным и вакуумметрическим давлениями?
3. Какие приборы используют для измерения давления?
4. Как определить абсолютное давление в сосуде?
5. Что выражает основное уравнение гидростатики?
6. Как рассчитать силу давления на дно сосуда и плоскую стенку?

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

для обучающихся по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ»
для студентов направления подготовки 10.03.01 Информационная
безопасность
направленность (профиль) Безопасность компьютерных систем

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Пятигорск, 2023

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения	3
2. Цель и задачи самостоятельной работы	4
3. Технологическая карта самостоятельной работы студента	5
4. Порядок выполнения самостоятельной работы студентом	5
<i>4.1. Методические рекомендации по работе с учебной литературой</i>	5
<i>4.2. Методические рекомендации по подготовке к практическим и лабораторным занятиям</i>	7
<i>4.3. Методические рекомендации по самопроверке знаний</i>	7
<i>4.4. Методические рекомендации по написанию научных текстов (докладов, докладов, эссе, научных статей и т.д.)</i>	7
<i>4.5. Методические рекомендации по выполнению исследовательских проектов</i>	10
<i>4.6. Методические рекомендации по подготовке к экзаменам и зачетам</i>	13
5. Контроль самостоятельной работы студентов	14
6. Список литературы для выполнения СРС	14

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

1. Общие положения

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов (СРС) в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения.

К основным видам самостоятельной работы студентов относятся:

- формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);
- написание докладов;
- подготовка к семинарам, практическим и лабораторным работам, их оформление;
- составление аннотированного списка статей из соответствующих журналов по отраслям знаний (педагогических, психологических, методических и др.);
- выполнение учебно-исследовательских работ, проектная деятельность;
- подготовка практических разработок и рекомендаций по решению проблемной ситуации;
- выполнение домашних заданий в виде решения отдельных задач, проведения типовых расчетов, расчетно-компьютерных и индивидуальных работ по отдельным разделам содержания дисциплин и т.д.;
- компьютерный текущий самоконтроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов;
- выполнение курсовых работ (проектов) в рамках дисциплин;
- выполнение выпускной квалификационной работы и др.

Методика организации самостоятельной работы студентов зависит от структуры, характера и особенностей изучаемой дисциплины, объема часов на ее изучение, вида заданий для самостоятельной работы студентов, индивидуальных качеств студентов и условий учебной деятельности.

Процесс организации самостоятельной работы студентов включает в себя следующие этапы:

- подготовительный (определение целей, составление программы, подготовка методического обеспечения, подготовка оборудования);
- основной (реализация программы, использование приемов поиска информации, усвоения, переработки, применения, передачи знаний, фиксирование результатов, самоорганизация процесса работы);
- заключительный (оценка значимости и анализ результатов, их систематизация, оценка эффективности программы и приемов работы, выводы о направлениях оптимизации труда).

Самостоятельная работа по дисциплине «МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ» направлена на формирование следующих **компетенций**:

Сертификат: Владелец:	Документ подписан Электронной подписью Код, формулировка компетенции 2C000010E9A5B5C42E05E7BA500060000043E Шебзухова Татьяна Александровна	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023			

ПК-8	ное изучение литературы и источников		ние,			
ПК-8	Подготовка к лабораторным работам	Отчет по ЛР	Защита ЛР	7,29	0,81	8,1
ПК-8	Подготовка к лекционным занятиям	Собеседовани е	Опрос	1,215	0,135	1,35
Итого за 5 семестр				12,15	1,35	13,5
Итого				12,15	1,35	13,5

4. Порядок выполнения самостоятельной работы студентом

4.1. Методические рекомендации по работе с учебной литературой

При работе с книгой необходимо подобрать литературу, научиться правильно ее читать, вести записи. Для подбора литературы в библиотеке используются алфавитный и систематический каталоги.

Важно помнить, что рациональные навыки работы с книгой - это всегда большая экономия времени и сил.

Правильный подбор учебников рекомендуется преподавателем, читающим лекционный курс. Необходимая литература может быть также указана в методических разработках по данному курсу.

Изучая материал по учебнику, следует переходить к следующему вопросу только после правильного уяснения предыдущего, описывая на бумаге все выкладки и вычисления (в том числе те, которые в учебнике опущены или на лекции даны для самостоятельного вывода).

При изучении любой дисциплины большую и важную роль играет самостоятельная индивидуальная работа.

Особое внимание следует обратить на определение основных понятий курса. Студент должен подробно разбирать примеры, которые поясняют такие определения, и уметь строить аналогичные примеры самостоятельно. Нужно добиваться точного представления о том, что изучаешь. Полезно составлять опорные конспекты. При изучении материала по учебнику полезно в тетради (на специально отведенных полях) дополнять конспект лекций. Там же следует отмечать вопросы, выделенные студентом для консультации с преподавателем.

Выводы, полученные в результате изучения, рекомендуется в конспекте выделять, чтобы они при перечитывании записей лучше запоминались.

Опыт показывает, что многим студентам помогает составление листа опорных сигналов, содержащего важнейшие и наиболее часто употребляемые формулы и понятия. Такой лист помогает запомнить формулы, основные положения лекции, а также может служить постоянным справочником для студента.

Чтение научного текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации. От того на сколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия.

Выделяют четыре основные установки в чтении научного текста:

информационно-поисковый (задача – найти, выделить искомую информацию)

усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений)

аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему)

творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения;

Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала;

Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала;

Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора;

Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного.

Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Методические рекомендации по составлению конспекта:

1. Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта;

2. Выделите главное, составьте план;

3. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора;

4. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно.

5. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли.

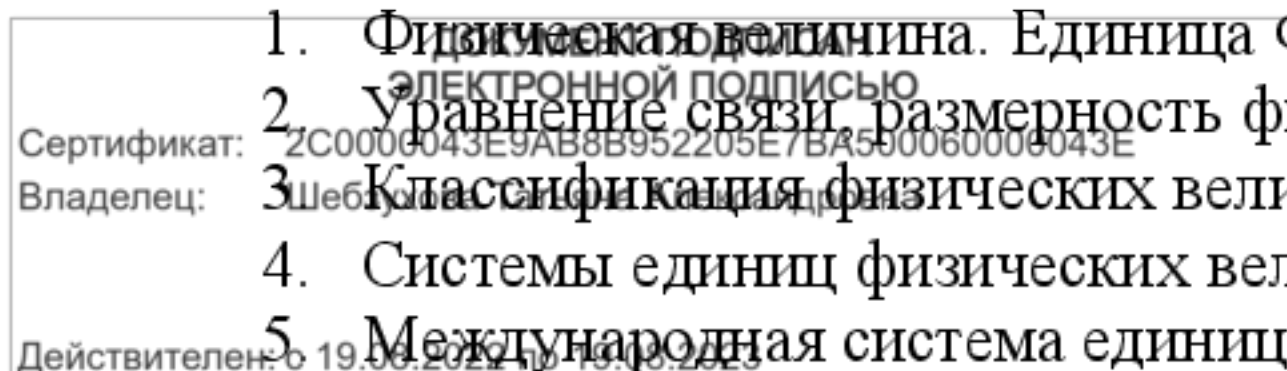
В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы.

Вопросы для собеседования

Базовый уровень

1. Физическая величина. Единица ФВ.
2. Уравнение связи, размерность физических величин.
3. Классификация физических величин.
4. Системы единиц физических величин.
5. Международная система единиц СИ.



6. Шкалы ФВ.
7. Измерение. Элементы процесса измерений.
8. Случайная погрешность. Точечные и интервальные оценки случайной погрешности.
9. Систематические погрешности. Способы выявления и исключения систематических погрешностей.
10. Точечная и интервальная оценка систематической погрешности.
11. Грубая погрешность. Критерии оценки.
12. Неопределенность результата измерений.
13. Обработка результатов измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями.
14. Обработка результатов измерений. Косвенные измерения
15. Обработка результатов измерений. Серии результатов измерений
16. Назначение и функциональные возможности аналоговых и ЦО
17. Четыре составляющие погрешности аналог и цифровых вольтметров.
18. Относительная и абсолютная погрешность измерений, получаемых с помощью вольтметра. Класс точности вольтметра.
19. Структурные схемы электромеханических вольтметров постоянного и переменного токов, выполненных на основе микроамперметра.
20. Структурные схемы аналоговых электронных вольтметров постоянного и переменного токов.
21. Влияние формы сигнала на показание вольтметров.

Повышенный уровень

1. Условия измерений.
2. Точность результата измерений.
3. Классификация измерений.
4. Методы измерений.
5. Погрешность результата и средства измерений.
6. Классификация погрешностей.
7. Систематическая погрешность. Основные понятия.
8. Грубая погрешность Основные понятия.
9. Оценка неопределенности измерений.
10. Классификация СИ.
11. Эталоны.
12. Метрологические характеристики СИ.
13. Класс точности СИ.
14. Классификация измерительных приборов.
15. Значения, характеризующие электрические сигналы различной формы
16. Система обеспечения единства измерений.
17. Организационная структура системы обеспечения единства измерений.
18. Метрологический контроль.
19. Утверждение типа СИ.
20. Метрологическая аттестация СИ.
21. Поверка СИ.
22. Калибровка СИ.
23. Методы и методики поверки и калибровки.
24. Государственный метрологический надзор.
25. Международная организация мер и весов, Международная организация законодательной метрологии.

Сертификат:
Владелец:

законотворительной м
Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

4.2. Методические рекомендации по подготовке к практическим и лабораторным занятиям

Для того чтобы практические и лабораторные занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнение и решение задач проводятся по вычитанному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться на практических занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций, задач. При этих условиях студент не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении задач нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если студент видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы (задачи). Решение проблемных задач или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждой учебной задачи должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с выводом. Полученный ответ следует проверить способами, вытекающими из существа данной задачи. Полезно также (если возможно) решать несколькими способами и сравнить полученные результаты. Решение задач данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

4.3. Методические рекомендации по самопроверке знаний

После изучения определенной темы по записям в конспекте и учебнику, а также решения достаточного количества соответствующих задач на практических занятиях и самостоятельно студенту рекомендуется, провести самопроверку усвоенных знаний, ответив на контрольные вопросы по изученной теме.

В случае необходимости нужно еще раз внимательно разобраться в материале.

Иногда недостаточность усвоения того или иного вопроса выясняется только при изучении дальнейшего материала. В этом случае надо вернуться назад и повторить плохо усвоенный материал. Важный критерий усвоения теоретического материала - умение решать задачи или пройти тестирование по пройденному материалу. Однако следует помнить, что правильное решение задачи может получиться в результате применения механически заученных формул без понимания сущности теоретических положений.

4.4. Методические рекомендации по написанию научных текстов (докладов, докладов, эссе, научных статей и т.д.)

Перед тем, как приступить к написанию научного текста, важно разобраться, какова истинная цель вашего научного текста - это поможет вам разумно распределить свои силы и время.

Во-первых, сначала нужно определиться с идеей научного текста, а для этого необходимо научиться либо относиться к разным явлениям и фактам несколько критически (своя идея - как иная точка зрения), либо научиться увлекаться какими-то известными идеями, которые нуждаются в доработке (идея - как оптимистическая позиция и направленность на дальнейшее совершенствование уже известного). Во-вторых, научиться организовывать свое время, ведь, как известно, свободное (от всяких глупостей) время - важнейшее условие настоящего творчества, для него наконец-то

исходя из интересов студента (в рамках изучаемой дисциплины). Выбранную тему необходимо согласовать с преподавателем.

Доклад должен быть написан научным языком.

Объем доклада должен составлять 20-25 стр.

Структура доклада:

● Введение (не более 3-4 страниц). Во введении необходимо обосновать выбор темы, ее актуальность, очертить область исследования, объект исследования, основные цели и задачи исследования.

● Основная часть состоит из 2-3 разделов. В них раскрывается суть исследуемой проблемы, проводится обзор мировой литературы и источников Интернет по предмету исследования, в котором дается характеристика степени разработанности проблемы и авторская аналитическая оценка основных теоретических подходов к ее решению. Изложение материала не должно ограничиваться лишь описательным подходом к раскрытию выбранной темы. Оно также должно содержать собственное видение рассматриваемой проблемы и изложение собственной точки зрения на возможные пути ее решения.

● Заключение (1-2 страницы). В заключении кратко излагаются достигнутые при изучении проблемы цели, перспективы развития исследуемого вопроса

● Список использованной литературы (не меньше 10 источников), в алфавитном порядке, оформленный в соответствии с принятыми правилами. В список использованной литературы рекомендуется включать работы отечественных и зарубежных авторов, в том числе статьи, опубликованные в научных журналах в течение последних 3-х лет и ссылки на ресурсы сети Интернет.

● Приложение (при необходимости).

Требования к оформлению:

- текст с одной стороны листа;
- шрифт Times New Roman;
- кегль шрифта 14;
- межстрочное расстояние 1,5;
- поля: сверху 2,5 см, снизу – 2,5 см, слева - 3 см, справа 1,5 см;
- доклад должен быть представлен в сброшюрованном виде.

Порядок защиты доклада:

Защита доклада проводится на практических занятиях, после окончания работы студента над ним и исправления всех недочетов, выявленных преподавателем в ходе консультаций. На защиту доклада отводится 5-7 минут времени, в ходе которого студент должен показать свободное владение материалом по заявленной теме. При защите доклада приветствуется использование мультимедиа-презентации.

Оценка доклада

Доклад оценивается по следующим критериям:

- соблюдение требований к его оформлению;
- необходимость и достаточность для раскрытия темы приведенной в тексте доклада информации;
- умение студента свободно излагать основные идеи, отраженные в докладе;
- способность студента понять суть задаваемых преподавателем и сокурсниками вопросов и сформулировать точные ответы на них.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется студенту, если в докладе студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует для написания доклада современные научные материалы; анализирует полученную информацию; проявляет самостоятельность при написании доклада.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если качество выполнения доклада достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопросы по теме доклада.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если материал доклада излагается частично, но пробелы не носят существенного характера, студент допускает неточности и ошибки при защите доклада, дает недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении материала.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не подготовил доклад или допустил существенные ошибки. Студент неуверенно излагает материал доклада, не отвечает на вопросы преподавателя.

Описание шкалы оценивания

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Темы докладов

Базовый уровень

1. Абсолютные и относительные погрешности измерений.
2. Систематические, случайные, грубые погрешности измерений и промахи.
3. Объективные и субъективные погрешности.
4. Методическая, инструментальная погрешности.
5. Погрешности средств измерений.
6. Точность, правильность средства измерений.
7. Измерение плотности.
8. Измерение температуры.
9. Вязкость жидкости.
10. Приборы и устройства для измерения уровня жидкости.
11. Краткие сведения о приборах и установках для измерения гидромеханических сил и моментов.

Повышенный уровень

1. Метрологические характеристики средств измерений
2. Измерительный прибор.
3. Измерительный преобразователь.
4. Измерительная установка.
5. Измерительные системы.
6. Информационно-измерительные технологии.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023	

4.5. Методические рекомендации по подготовке к экзаменам и зачетам

Изучение многих общепрофессиональных и специальных дисциплин завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На экзамене студент демонстрирует то, что он приобрел в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

Экзаменационная сессия - это серия экзаменов, установленных учебным планом. Между экзаменами интервал 3-4 дня. Не следует думать, что 3-4 дня достаточно для успешной подготовки к экзаменам.

В эти 3-4 дня нужно систематизировать уже имеющиеся знания. На консультации перед экзаменом студентов познакомят с основными требованиями, ответят на возникшие у них вопросы. Поэтому посещение консультаций обязательно.

Требования к организации подготовки к экзаменам те же, что и при занятиях в течение семестра, но соблюдаться они должны более строго. Во-первых, очень важно соблюдение режима дня; сон не менее 8 часов в сутки, занятия заканчиваются не позднее, чем за 2-3 часа до сна. Оптимальное время занятий - утренние и дневные часы. В перерывах между занятиями рекомендуются прогулки на свежем воздухе, неустойчивые занятия спортом. Во-вторых, наличие хороших собственных конспектов лекций. Даже в том случае, если была пропущена какая-либо лекция, необходимо во время ее восстановить (переписать ее на кафедре), обдумать, снять возникшие вопросы для того, чтобы запоминание материала было осознанным. В-третьих, при подготовке к экзаменам у студента должен быть хороший учебник или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра. Здесь можно эффективно использовать листы опорных сигналов.

Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения, используя при этом листы опорных сигналов.

Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний.

5. Контроль самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы проводится преподавателем в аудитории.

Предусмотрены следующие виды контроля: собеседование, оценка доклада, оценка презентации, оценка участия в круглом столе, оценка выполнения проекта.

Подробные критерии оценивания компетенций приведены в Фонде оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации.

6. Список литературы для выполнения СРС

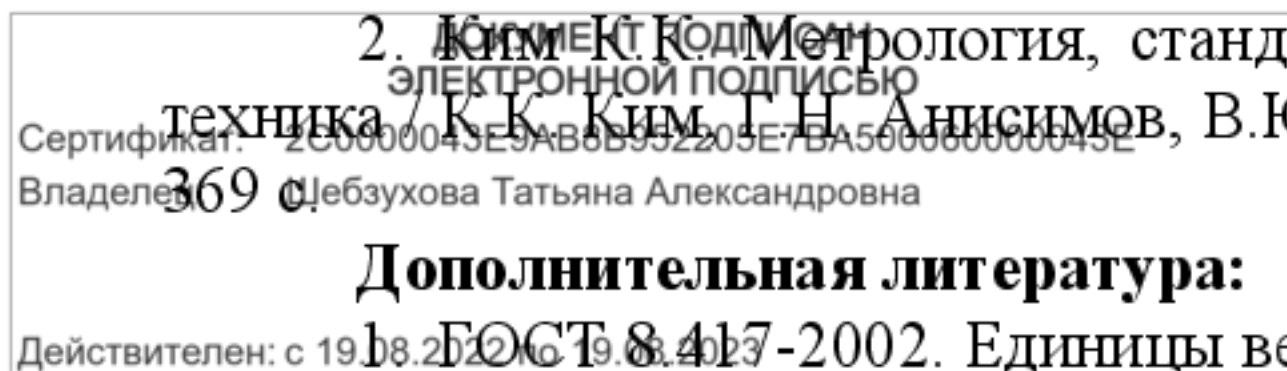
Основная литература:

1. Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для вузов/ Я.М. Радкевич, А.Г.Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2011. – 790 с.

2. Ким К.К. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника / К.К. Ким, Т.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович, Б.Я. Литвинов. – М.: Питер, 2012. – 369 с.

Дополнительная литература:

1. ГОСТ 8.417-2002. Единицы величин.



2. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. 3 изд. М.: Дрофа, 2005. 415 с.

Методическая литература:

1. Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по дисциплине " Метрология, стандартизация, сертификация ".

2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине " Метрология, стандартизация, сертификация ".

Интернет-ресурсы:

1. <http://el.ncfu.ru/> – система управления обучением ФГАОУ ВО СКФУ. Дистанционная поддержка дисциплины «Метрология, стандартизация, сертификация»

2. <http://www.un.org> - Сайт ООН Информационно-коммуникационные технологии

3. <http://www.intuit.ru> – Интернет-Университет Компьютерных технологий.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023