

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Фурсов Владимир Александрович

Должность: И.о. директора Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского

федерального университета

Дата подписания: 05.06.2026 10:08:51

Уникальный программный ключ:

1c378726a41fd0143ae5bccc8ba818c0b0b0aa62

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**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 И СЕРТИФИКАЦИЯ»

для студентов направления подготовки

23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Пятигорск 2026 г.

## 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                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-3 Способен в сфере своей профессиональной деятельности проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные и результаты испытаний | ИД-1 <sub>ОПК-3</sub> Знать способы измерения и наблюдения, обработки и представления экспериментальных данных и результатов испытаний.<br>ИД-2 <sub>ОПК-3</sub> Уметь проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные и результаты испытаний.<br>ИД-3 <sub>ОПК-3</sub> Владеть навыками проведения измерений и наблюдений, обработки и представления экспериментальных данных и результатов испытаний в профессиональной деятельности. | <b>Знать:</b> методы и оценку метрологических характеристик средства измерения (испытания)<br><b>Уметь:</b> применять методы и оценку метрологических характеристик средства измерения (испытания)<br><b>Владеть:</b> способностью оценивать методы и оценку метрологических характеристик средства измерения (испытания) |
| ОПК-6 Способен участвовать в разработке технической документации с                                                                                                       | ИД-1 <sub>ОПК-6</sub> Знать стандарты, нормы и правила при разработке технической документации<br>ИД-2 <sub>ОПК-6</sub> Уметь участвовать в                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Знать:</b> нормативно-правовые и нормативно-технические документы, регламентирующие                                                                                                                                                                                                                                    |

|                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>использованием стандартов, норм и правил, связанных с профессиональной деятельностью</p> | <p>разработке технической документации с использованием стандартов, норм и правил, связанных с профессиональной деятельностью</p> <p>ИД-Зопк-6 Владеть навыками разработки технической документации с использованием стандартов, норм и правил, связанных с профессиональной деятельностью</p> | <p>требования к качеству продукции и процедуру его оценки</p> <p><b>Уметь:</b> применять нормативно-правовые и нормативно-технические документы, регламентирующие требования к качеству продукции и процедуру его оценки.</p> <p><b>Владеть:</b> нормативно-правовые и нормативно-технические документы, регламентирующие требования к качеству продукции и процедуру его оценки.</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## НАИМЕНОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

| №<br>Темы<br>дисци-<br>плин<br>ы | Наименование тем дисциплины, их<br>краткое содержание                                                                  | Объем часов | Из них практическая<br>подготовка, часов |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|
| <u>3 семестр</u>                 |                                                                                                                        |             |                                          |
| 2                                | Определение погрешности изготовления и метрологических параметров партии резисторов                                    |             |                                          |
| 3                                | Измерение линейных размеров с помощью штангенинструментов и обработка измерений с многократными наблюдениями           | 4           |                                          |
| 3                                | Измерение линейных размеров с помощью микрометрических инструментов и обработка измерений с многократными наблюдениями | 4           |                                          |
| 5                                | Исследование лабораторных весов: определение точности и места расположения взвешиваемого предмета                      |             |                                          |
| 6                                | Освоение методики поверки лабораторных весов                                                                           |             |                                          |
| 6                                | Градуировка пружинных весов                                                                                            |             |                                          |
| 6                                | Градуировка и поверка манометра с трубчатой пружиной                                                                   |             |                                          |
| 6                                | Градуировка технических термопар                                                                                       |             |                                          |
| 3                                | Измерение гидростатического давления                                                                                   |             |                                          |
|                                  | <b>Итого</b>                                                                                                           | <b>8</b>    |                                          |

# 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  $\bar{x}$ ,:

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

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

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

- 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<br>4 | 1,7<br>10 | 1,91<br>7 | 2,06<br>7 | 2,18<br>2 | 2,27<br>3 | 2,34<br>9 | 2,41<br>4 | 2,34<br>9 | 2,41<br>4 | 2,67<br>0 | 2,7<br>8 |
| 0,99 | 1,41<br>4 | 1,7<br>28 | 1,97<br>2 | 2,16<br>1 | 2,31<br>0 | 2,43<br>1 | 2,53<br>2 | 2,61<br>6 | 2,75<br>3 | 2,85<br>5 | 2,94<br>6 | 3,0<br>8 |

Если  $z < z_T$ , то результат наблюдений  $x_n$  не является промахом. Если  $z_T > z$ , 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  $S(\bar{x})$ :

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

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

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

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

Таблица 2

Значения коэффициента Стьюдента

| $p$ | $n$ |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
|     |     | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 15 |

|      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,95 | 12,70 | 4,303 | 3,182 | 2,776 | 2,571 | 2,447 | 2,365 | 2,306 | 2,262 | 2,145 |
| 0,99 | 63,65 | 9,925 | 5,841 | 4,604 | 4,032 | 3,707 | 3,499 | 3,355 | 3,250 | 2,977 |

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;  $\theta_j$  – границы  $j$  й 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:

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  $\Delta = \varepsilon$ .

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  $\Delta = \theta$ .

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

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

где  $K$  - коэффициент, зависящий от соотношения случайной и не исключённой систематической погрешности;  $S_{\Sigma}$  - 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,  $A' \pm 0,01$  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 [9]**

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

### Измерение линейных размеров с помощью штангенинструментов и обработка измерений с многократными наблюдениями

**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 [9, 10]

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.

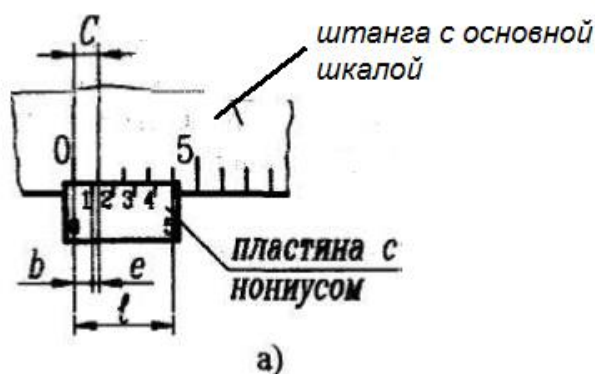


Рис. 1. Нониусное отсчетное устройство.

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.

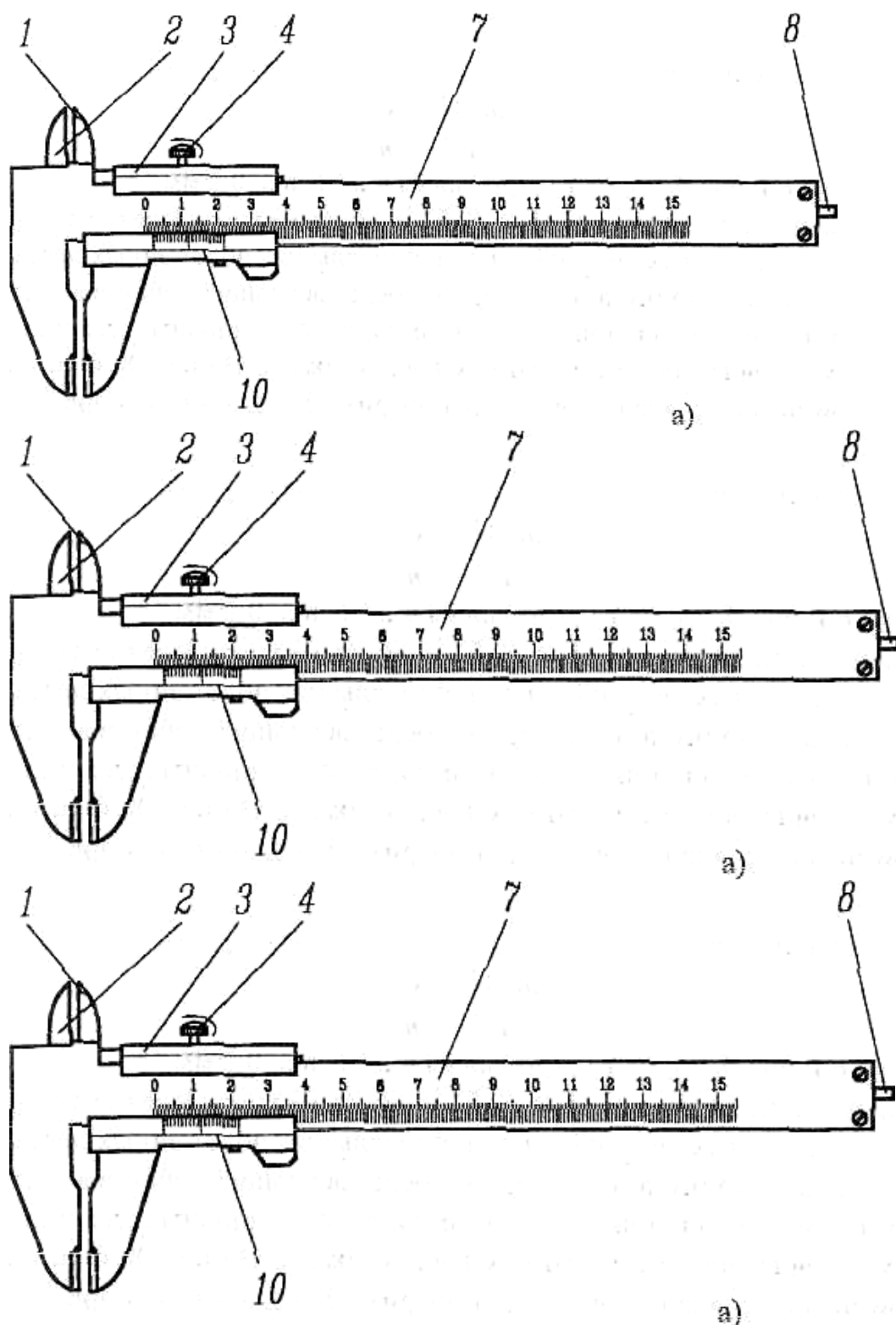


Рис. 2. Штангенциркули: а - ШЦ I; б - ШЦ II; в - ШЦ III; 1 - неподвижные губки; 2 - подвижные губки; 3 - рамка; 4 - зажим рамки; 5 - зажим рамки микрометрической подачи; 6 - рамка микрометрической подачи; 7 - штанга; 8 - линейка глубиномера, 9 - винт и гайка микрометрической подачи; 10 - нониус

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.

Точность показаний штангенциркуля зависит от правильности его установки на изделия.

Для измерения изделия штангенциркулем необходимо:

- открепить рамки 3 и 6, передвинуть их вдоль штанги и расположить рамку 3 так, чтобы измеряемое изделие можно было установить между измерительными плоскостями губок;
- с помощью микровинта передвинуть рамку 3 до получения плотного прилегания поверхностей обеих губок к поверхностям измеряемого изделия;
- закрепить стопорный винт 4;
- сняв инструмент с изделия, считать показания по шкале штанги и по нониусу.

При измерении внутренних размеров необходимо учесть толщину губок штангенциркуля.

### **2.3. Особенности устройства и применения штангенглубиномеров**

Штангенглубиномер предназначен для измерения выточек, отверстий, канавок, уступов и т. п. Штангенглубиномер отличается от штангенциркуля тем, что не имеет на штанге неподвижных губок, а подвижные губки на рамке выполнены в виде опорного основания с плоскостью, расположенной перпендикулярно к направлению штанги. Этой плоскостью штангенглубиномер устанавливают на измеряемый объект. Измеряемый размер заключается между двумя поверхностями, одной из которых является торец самой штанги, а другой – поверхность основания.

#### **Порядок применения штангенглубиномера**

Измерение штангенглубиномером необходимо осуществлять в следующем порядке:

- наложить штангенглубиномер на плоскость измеряемого изделия;
- открепив рамки 3 и 5, продвинуть штангу до тех пор, пока она не коснется своим торцом плоскости или выступа измеряемого изделия;
- закрепить стопорный винт 2;
- сняв штангенглубиномер с изделия, считать показания.

### **2.4 Обработка результатов измерения штангенциркулем с многократными наблюдениями**

Измерение 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. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений, выполняют следующие операции согласно методике, изложенной в разделе 3:

- исключают известные систематические погрешности из результатов наблюдений;
- 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.

Известные систематические погрешности исключают введением в результаты наблюдений соответствующих поправок.

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.

### Оборудование и материалы.

штангенциркуль ПШЦ-1, детали для исследования

### Указания по технике безопасности

Соответствуют технике безопасности по

### 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 ПШЦ-1,

### **. Порядок выполнения работы**

- 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  $\bar{X} = x \pm (\Delta x)\Sigma$ ,  $P$  ( $P$  – 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  $\theta$ , = 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:

$$(15,00+14,90+14,85+14,75+15,00+14,90+14,95+14,70+14,95+14,85+15,00+14,50)/12 = 14,8625 \approx 14,86 \text{ мм.}$$

2. Среднее квадратичное отклонение:

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

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

При числе измерений  $n < 20$  и нормальном распределении результатов измерений целесообразно применять критерий Романовского (раздел 3). При  $n=12$  получаем  $z_{\text{т}} = 2,52$ , соответственно  $z$ , при этом вычисляют как

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

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

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

6. Так как отношение  $\frac{\theta}{S(x)} = \frac{0,002}{0,057} < 0,8$ , 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<br>Xi, мм | Хср, мм | Результат измерения, Мм |
|------------------------|-----------------------|--------|-------------------------|--------------|---------------------------------|---------|-------------------------|
| обозначение размера    | предельные отклонения |        | предельные раз меры, мм | допуск Т, мм |                                 |         |                         |
|                        | E1(a)                 | E3(ea) |                         |              |                                 |         |                         |
| 15 h14                 | 0                     | 0,43   | 15,00;<br>14,430        | 0,430        | 15,00                           | 14,86   | 14,86 ± 0,14            |
|                        |                       |        |                         |              | 14,90                           |         |                         |
|                        |                       |        |                         |              | 14,85                           |         |                         |
|                        |                       |        |                         |              | 14,75                           |         |                         |
|                        |                       |        |                         |              | 15,00                           |         |                         |
|                        |                       |        |                         |              | 14,90                           |         |                         |
|                        |                       |        |                         |              | 14,95                           |         |                         |
|                        |                       |        |                         |              | 14,70                           |         |                         |
|                        |                       |        |                         |              | 14,95                           |         |                         |
|                        |                       |        |                         |              | 14,85                           |         |                         |
|                        |                       |        |                         |              | 15,00                           |         |                         |
|                        |                       |        |                         |              | 14,50                           |         |                         |
|                        |                       |        |                         |              | 14,90                           |         |                         |

Заключение о годности детали

**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?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

#### 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 [9, 10]

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 стебель 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 стебель нанесены две миллиметровые шкалы, из которых одна расположена над продольной чертой стебля, 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.

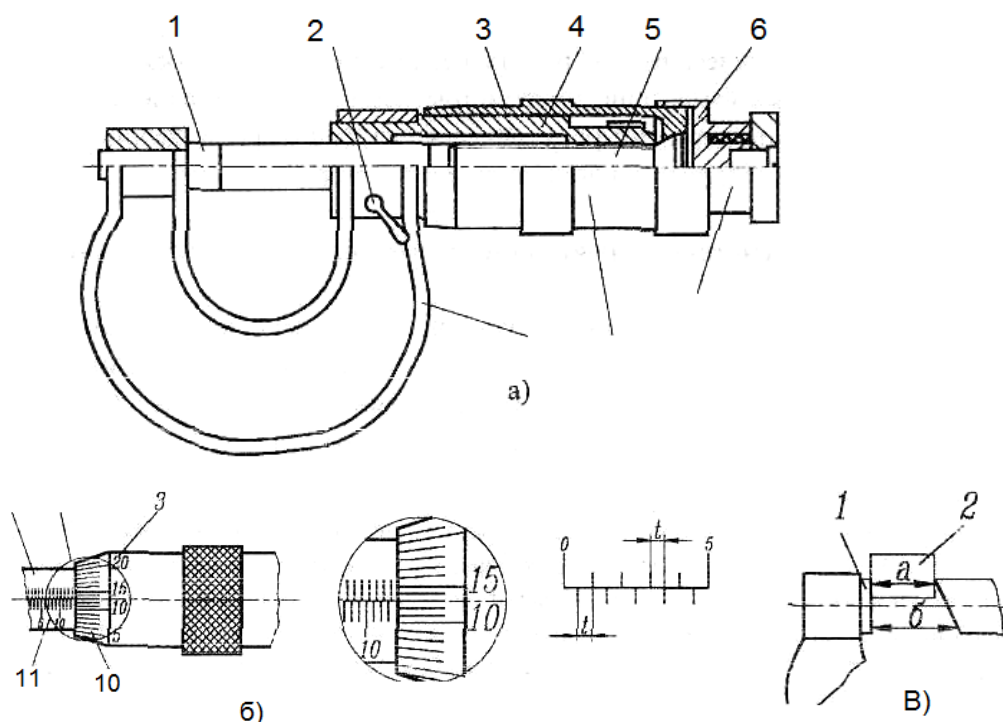


Рис. Микрометр: 1 - пятка, 2 - стопорное устройство; 3 - барабан; 4 - стебель; 5 - микрометрический винт; 6 - установочный колпачок; 7 - трещоточное устройство, 8 - микрометрическая головка; 9 - скоба; 10, 11 - шкалы микрометра

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.

### 3.2. Порядок измерения микрометром [9, 10]

При правильной установке микрометра нулевой штрих барабана совпадает с продольным отсчетным штрихом на стебле, 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 стебля 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.

При измерении микрометр осторожно устанавливают на изделие и, вращая микровинт за трещотку, зажимают изделие между измерительными поверхностями. После того как трещотка прекратит проворачиваться, снимают показания.

#### **Задание:**

- с помощью микрометра измерить заданный преподавателем размер детали измерить заданный преподавателем размер детали несколько раз (по указанию преподавателя, результаты записать в таблицу.
- выполнить обработку многократных измерений сделанных с помощью микрометра и дать заключение о годности детали.

#### **Оборудование и материалы.**

Микрометр гладкий МК25-1, микрометр гладкий МК50-2, объект измерения и его чертёж (выдаёт преподаватель).

### **3.3. Порядок выполнения работы**

- Изучают инструкцию по технике безопасности при выполнении лабораторных работ.
- 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. 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  $S_{\bar{x}}$  ;
- 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  $X = \bar{x} \pm (\Delta x)_{\Sigma}$  ,  $P$  ( $P$  – доверительная вероятность);
- дают заключение о годности детали по заданному размеру.

### **3.3. Обработка результатов измерения микрометром с многократными наблюдениями**

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:

- исключают известные систематические погрешности из результатов наблюдений;
- 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 Ø 15-0,027 микрометром, получены следующие результаты: 5\*15,00, 5\*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  $z$ :

$z = (x_{\text{п}} - \bar{x}) / S = 14,95 - 14,988 / 0,054 = 0,038 / 0,054 \approx 0,703$ , 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)

$$\varepsilon = \pm t S(\bar{x}),$$

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

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

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

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 наблюдений<br>Xi, мм | Хср, мм | Результат измерения, Мм |
|------------------------|-----------------------|---------|-------------------------|--------------|---------------------------------|---------|-------------------------|
| обозначение размера    | предельные отклонения |         | предельные раз меры, мм | допуск Т, мм |                                 |         |                         |
|                        | E1(a)                 | E3(ea)  |                         |              |                                 |         |                         |
| Ø 15-0,027             | 0                     | - 0,027 | Ø 15-0,027              | 0,027        | 15,00                           | 14,988  | 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 № 4.

### 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 |
|         |        |        |                       |                                                   |                |

### **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  $2^\circ \text{C}$ ;
- 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 разгрузке 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 ТАРА;
- 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.

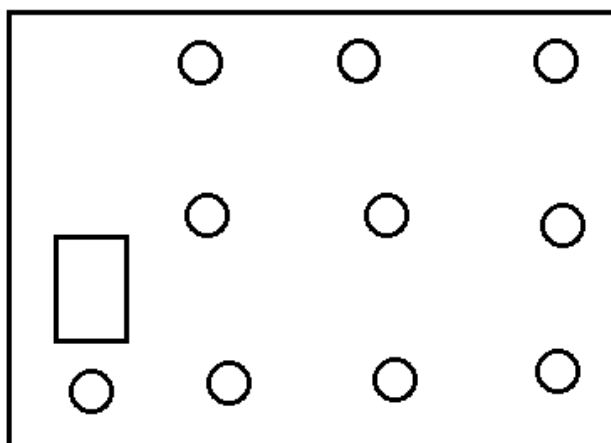


Рисунок 3.1. Расположение мест измерения веса.

3.1.2. Погрешность весов при каждом  $i$ -м измерении ( $\Delta i$ ) определяют по формуле:

$$\Delta i = Li - mi, (1)$$

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

5.3.1.3. Погрешность весов при каждом  $i$ -м измерении не должна превышать пределов допускаемой погрешности в интервалах взвешивания, указанных в таблице 2.

Форма протокола определения погрешности весов приведена в приложение А.

3.2. Определение среднего квадратического отклонения показаний весов

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

- устанавливают нулевые показания весов нажатием клавиши ТАРА;
- помещают гирю (гири) в центр чашки весов;
- после появления символа единицы измерения снимают первое показание весов  $L_{p1}$ ;
- снимают гирю (гири) с чашки весов;
- вновь помещают гирю (гири) в центр чашки весов;
- после появления символа единицы измерения снимают второе показание весов  $L_{p2}$ ;
- операции повторяют до получения пяти показаний весов.

Вычисляют наибольшую разность между показаниями весов:

$$\Delta i = L_{p \max} - L_{p \min}, (2)$$

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

Вычисляют СКО показаний весов:

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

3.2.2. Среднее квадратическое отклонение показаний весов не должно превышать значений, приведённых в таблице 2.

3.2.3. Форма протокола определения СКО приведена в приложении Б.

#### 4.6. Оформление результатов поверки

Положительные результаты поверки должны оформляться:

- при выпуске из производства – записью в «Руководстве по эксплуатации»,
- удостоверенной поверителем;

2,326

$p$  □

□ □ .

- после ремонта и при периодической поверке – выдачей свидетельства о поверке по форме, установленной правилами ПР 50.2.006-94 «Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения».

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.

**Задание:**

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

**Оборудование и материалы.**

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

**Порядок выполнения работы**

1. С помощью уровня определить горизонтальность расположения измерительного стола.
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?

## Лабораторная работа №5.

### 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<br>НПВ (наибольший предел взвешивания), г |      | Значения меры |
| Цена поверочного деления $e$ ,                                                    |      |               |
| Предел допускаемой погрешности $\Delta$ , 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*

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

| № измерения | Наименование                                   | Работоспособность<br>(раб/ не раб.) |
|-------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1           | Кнопка <b>ВКЛ/ТАРА</b>                         |                                     |
| 2           | Кнопка <b>Ф</b>                                |                                     |
| 3           | Кнопка <b>ВЫКЛ</b>                             |                                     |
| 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 показаний ненагруженных весов

| № измерения | Масса начальной гири допуска, кг | Измеряемая масса, при нажатии рукой, кг | Масса гирь-допуска для компенсации непостоянства измерений<br>(+ добавлена/<br>– убрана), кг |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1           |                                  |                                         |                                                                                              |
| 2           |                                  |                                         |                                                                                              |
| 3           |                                  |                                         |                                                                                              |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 4 |  |  |  |
| 5 |  |  |  |

**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 раз-грузка +/- | 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 |  |  |
| 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 е, 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-допуски, 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.

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 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?

## **Лабораторная работа №6.**

### **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 уравнивающей силы используется груз известной массы; этот метод является классическим;
- б) уравнивающее усилие возникает при растяжении слабой пружины;
- в) уравнивающее усилие возникает при деформации достаточно жестких пружинных или иных элементов;
- г) уравнивающее усилие создается пневматическим устройством; при этом мерой подлежащего взвешиванию груза является давление воздуха;
- д) уравнивающее усилие создается гидравлическим устройством; при этом мерой подлежащего взвешиванию груза является давление жидкости;
- е) уравнивающее 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. Неизвестная 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. Неизвестная 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  $45^\circ$ , 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

последнее время получили весьма широкое распространение в измерительной практике благодаря следующим достоинствам:

- они относительно нечувствительны к толчкам и ударам при нагрузке и разгрузке, поэтому особенно пригодны для тяжёлых условий эксплуатации;
- время установления равновесного положения пружинных весов примерно вдвое меньше, чем рычажных;
- после проведения регулировки пружинные весы сохраняют заданный диапазон погрешностей дольше, чем рычажные.

Для обеспечения нормированной точности в заданном диапазоне измерений пружина, предназначенная для весов, должна обладать следующими свойствами:

- характеристика пружины должны быть линейна во всем диапазоне измерения;
- жёсткость пружины, т.е. отношение её растяжения к действующей нагрузке, должна при изменении температуры по возможности оставаться постоянной;
- гистерезис, т.е. расхождение возрастающей и убывающей ветвей характеристики пружины (при возрастании и убывании нагрузки), должен быть по возможности мал;
- в материале для изготовления пружин не должны возникать явления усталости.

В качестве материалов для изготовления весовых пружин обычно применяют железоникелевые сплавы с высоким содержанием никеля и присадками хрома, марганца, молибдена, титана и бериллия.

В зависимости от способа представления результата измерения различают пружинные весы:

- с механическим указателем;
- с электрическим измерением деформации;
- с электрическим измерением собственной частоты натянутых струн, нагружаемых массой взвешиваемого груза.

Следует иметь в виду, что поскольку пружинные весы являются силоизмерительными приборами, калибруемыми в единицах массы, то результаты их градуировки будут применимы лишь для места её проведения.

#### **Оборудование и материалы.**

1. Весы пружинные.
2. Набор разновесов.

#### **4.УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ**

При выполнении лабораторной работы необходимо соблюдать меры безопасности, предусмотренные «Инструкцией по технике безопасности при работе в лаборатории».

#### **Порядок выполнения работы**

1. При помощи регулировочного устройства устанавливают указатель ненагруженных весов на ноль.
2. Помещая в грузоприемное устройство весов гири известной массы, отсчитывают соответствующие показания по шкале.

Для определения вариации показаний весов измерения проводят дважды: постепенно увеличивая подлежащую измерению массу и постепенно уменьшая ее. Действовать необходимо тщательно, обеспечивая подход указателя весов к соответствующему значению по шкале с нужной стороны.

Диапазон измерения и частота снятия отсчетов указываются преподавателем.

Результаты измерений заносят в таблицу:

| № п/п | Масса, г | Показания весов, г   |                      |                  | Погрешность измерения |                    | Вариация, γ, % |
|-------|----------|----------------------|----------------------|------------------|-----------------------|--------------------|----------------|
|       |          | При увеличении массы | При уменьшении массы | Среднее значение | Абсолютная Δ, г       | Относительная δ, % |                |
| 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.

#### **6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА**

По результатам работы составляют краткий отчет, который должен содержать:

1. Цель и теоретическое обоснование работы.
2. Таблицу с результатами эксперимента и расчетов.
3. Градуировочную характеристику весов.
4. Выводы, вытекающие из результатов работы.

#### **5. 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?

**Лабораторная работа №7.**  
**Градуировка и поверка манометра с трубчатой пружиной**  
**1 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 разряжения 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.

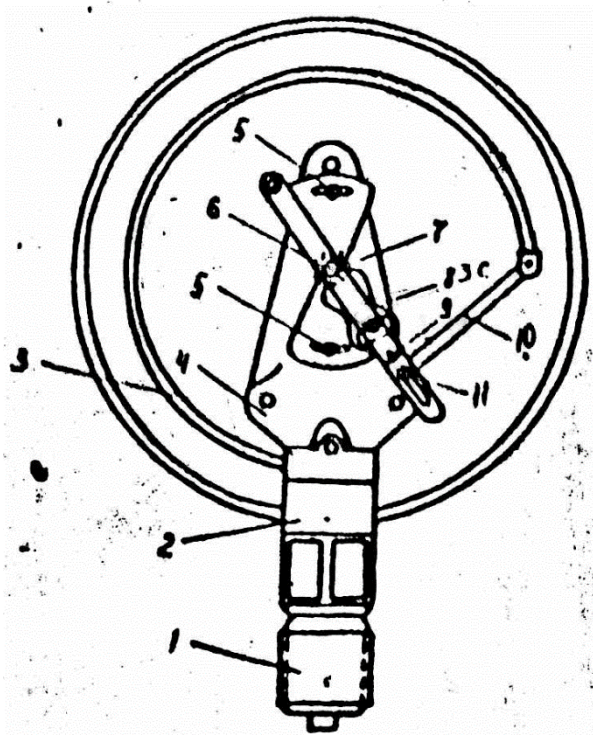


Рисунок 1 – Общий вид и устройство пружинного манометра

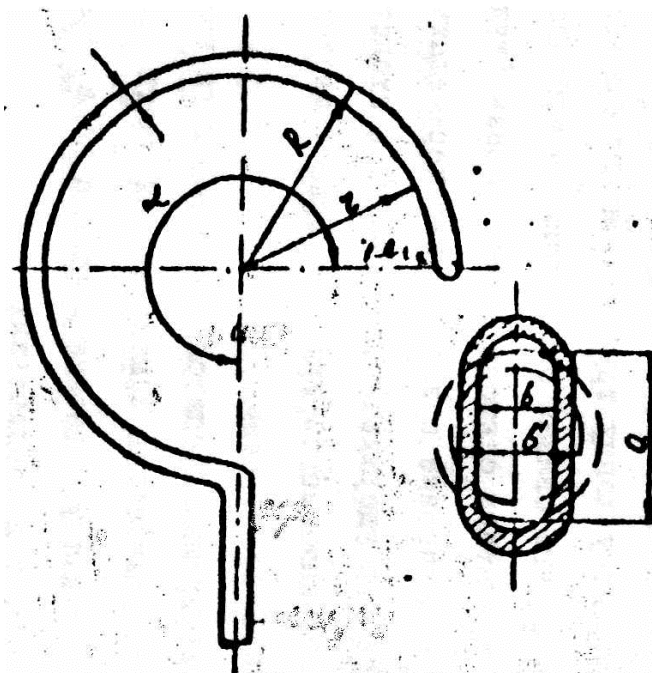


Рисунок 2 – Трубчатая пружина

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  $\Delta b$ , 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:

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

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  $\alpha$  – уменьшаться. Раскручивание трубки вызывает перемещение тяги 10, которая поворачивает зубчатый сектор и трубку, на оси которой насажена стрелка. Максимальный ход стрелки  $270^\circ \text{С}$  при угле раскручивания  $\Delta \alpha$ .

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

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

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

откуда

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

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. 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  $90^\circ$ .

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 регулируемого манометра установилась против верхней отметки.

*Примечание:* При выполнении этой операции необходимо левой рукой поддерживать 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 регулируемого 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 нанос, 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 регулируемого 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, $P_{II}$ | Показания образцового манометра, $P_0$ |              | Абсолютная погрешность градуируемого манометра |              |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------|------------------------------------------------|--------------|
|                                                      | Прямой ход                             | Обратный ход | Прямой ход                                     | Обратный ход |

Максимальная приведенная погрешность поверяемого манометра:

$$\delta = \frac{P_{II} - P_0}{P_0} \cdot 100\%.$$

## 6 Вопросы для защиты работы

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

## Лабораторная работа № 8

### Градуировка технических термопар

#### 1 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.

#### 2 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 ( $t_0$ ).

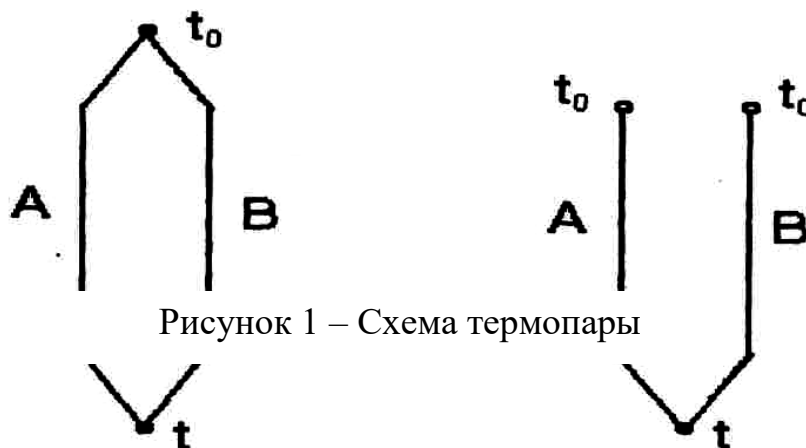


Рисунок 1 – Схема термопары

Рис 2.1

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  $0^\circ\text{C}$ . 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.

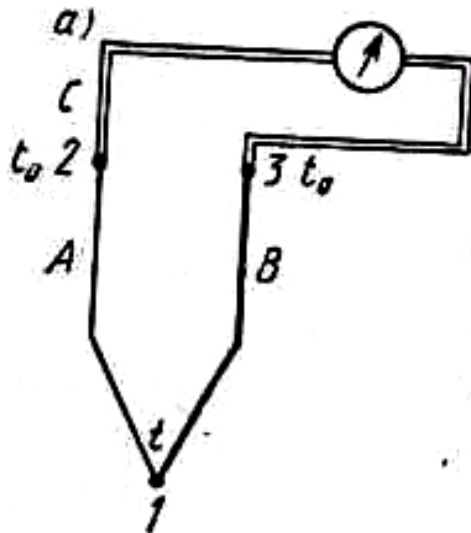


Рисунок 2а – Схема подсоединения измерительного прибора к свободным концам термопары

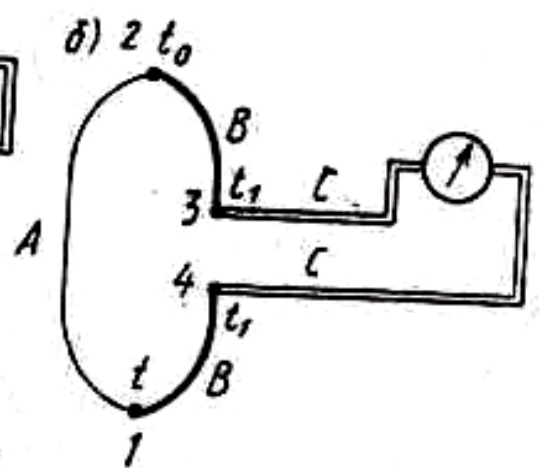


Рисунок 2б – Схема включения измерительного прибора в разрыв цепи термоэлектрического преобразователя

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 Вольты, 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:

$$E_{ABC}(tt_0) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_1) + e_{CB}(t_1) + e_{BA}(t_0). \quad (7)$$

Учитывая, что

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

запишем:

$$E_{ABC}(tt_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) = E(tt_0) \quad (8)$$

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  $0^\circ\text{C}$ , 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  $0-100^\circ\text{C}$  такую же, как и термопара, для которой эти провода подбираются.

### 3 Аппаратура, оборудование и материалы

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

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

#### **4   Методика и порядок выполнения работы**

##### **4.1 Изготовление термопары**

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

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

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

3. Скрученный конец электродов сворачивают на специальном устройстве (рисунок 3.1). 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).

*Примечание:*

Сварочную операцию необходимо проводить с соблюдением техники безопасности.

4. После сварки термопару отжигают при температуре 500-600 °С, а затем электроды термопары изолируют фарфоровыми трубками.

5. Определяют полярность термопары и подсоединяют ее к зажимам головки, соблюдая полярность, указанную на головке.

##### **4.2 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.

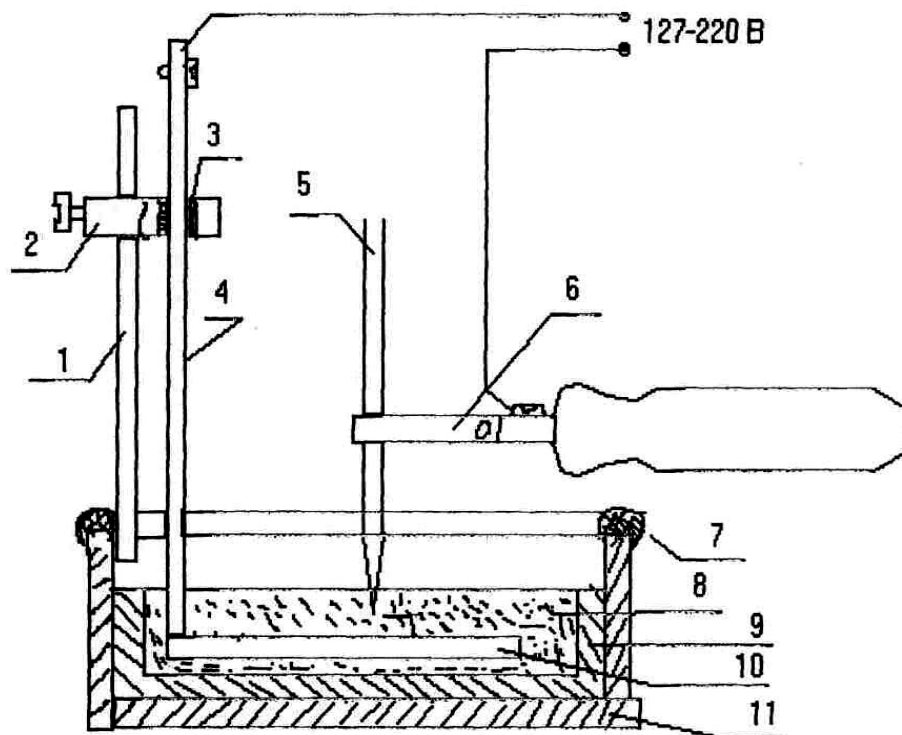


Рисунок 3 – Специальное устройство

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.

Первый способ градуировки наиболее точен и применяется почти исключительно для поверки 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:

1. Горячие спаи 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.

2. Во избежание попадания холодного воздуха все отверстия печи тщательно закрываются.

3. Холодные спаи образцовой и градуированной термопар помещают в пробирки 4 и заливают сухим минеральным маслом на высоту 10-15 мм.

4. 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  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

5. К контрольному прибору (потенциометру) 6 подключают соединительные

провода от термопар, строго соблюдая полярность.

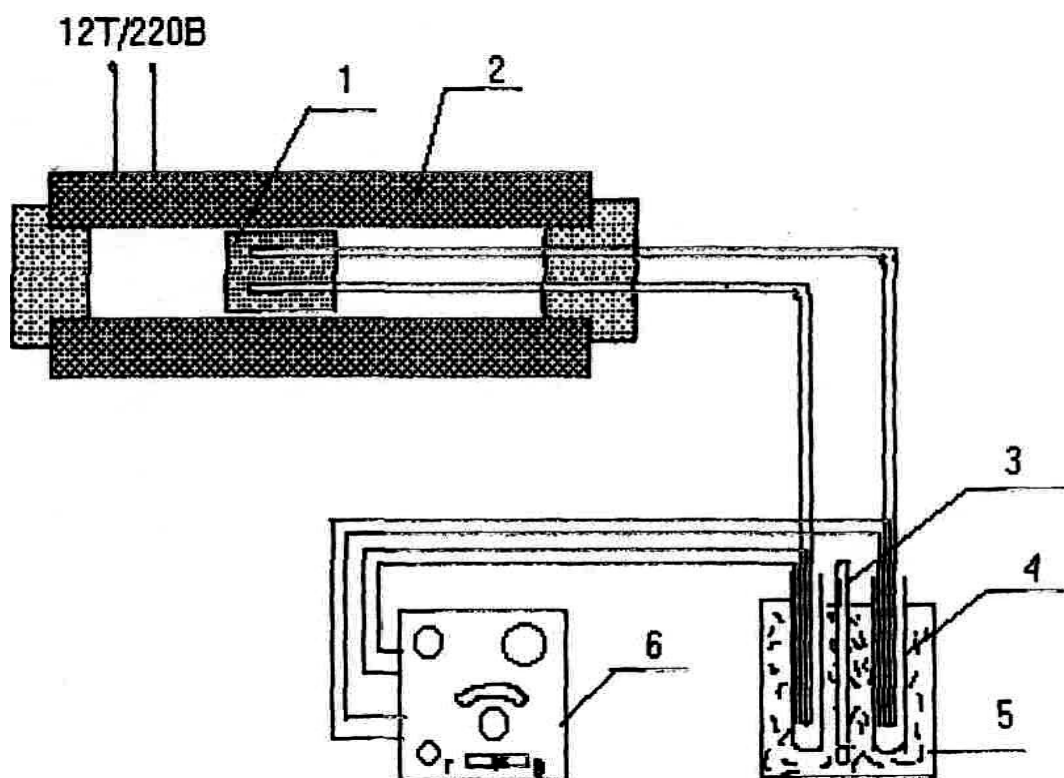


Рисунок 4 – Металлический блок

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

6. Подготавливают к работе контрольный потенциометр.

|  | Образцовая термопара | Градуируемая термопара |
|--|----------------------|------------------------|
|--|----------------------|------------------------|

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

8. 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°C. Перед каждым измерением делают выдержку 10-15 минут.

9. 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.

10. 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 0-300°C и не превышать 1% при температурах.

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

Таблица 1 – Результаты градуировки технической термопары

|                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Температура холодных спаев $t^{\circ}, C$                                                                                                                    |
| Показания прибора $E(t^{\circ}, t^{\circ}), mv$                                                                                                              |
| Поправка на температуру холодного спая $E(t^{\circ}, t^{\circ}, t^{\circ}, t^{\circ}, t^{\circ}, t^{\circ}, t^{\circ}, t^{\circ}, t^{\circ}, t^{\circ}), mv$ |
| Значение т.э.дс приведенное к $0^{\circ}C$ $E(t, t_0), mv$                                                                                                   |
| Истинная температура $t^{\circ}, C$                                                                                                                          |
| Показания прибора $E(t, t_0), mv$                                                                                                                            |
| Поправка на температуру свободных концов $E(t_0, t_0), mv$                                                                                                   |
| Значение т.э.дс приведенное к $0^{\circ}C$ $E(t, t_0), mv$                                                                                                   |
| Табличное значение т.э.дс $E_T(t, t_0), mv$                                                                                                                  |
| Погрешность $\Delta E = E(t, t_0) - E_T(t, t_0)$                                                                                                             |

### 6 Вопросы для защиты работы

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 № 9

### Измерение гидростатического давления

1. **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 м<sup>2</sup>, то есть 1 Па = 1 Н/м<sup>2</sup>.

Для практических вычислений и измерений эта единица может быть неудобна, поэтому чаще применяют кратные единицы – килопаскаль (кПа) и мегапаскаль (МПа): 1 кПа = 10<sup>3</sup> Па; 1 МПа = 10<sup>6</sup> 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  $p_{at}$  – *барометры*;
- приборы для измерения *разности абсолютного  $p_a$  и атмосферного давлений  $p_{at}$* , 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.

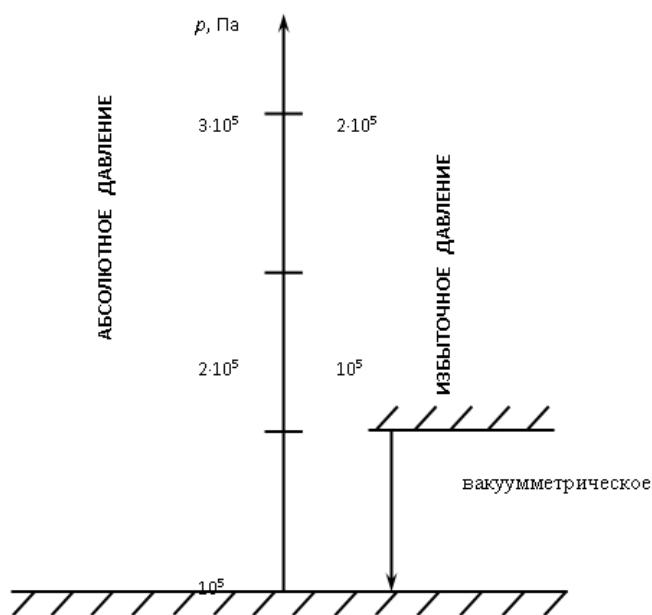


Рисунок 1 – Системы отсчета давлений

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  $\rho$  – плотность жидкости [кг/м<sup>3</sup>];  $g$  – ускорение свободного падения [м/с<sup>2</sup>].

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];  $\rho$  – плотность жидкости, [кг/м<sup>3</sup>];  $g$  – ускорение свободного падения [м/с<sup>2</sup>];  $h$  – глубина погружения точки под свободной поверхностью, [м].

### 3. Аппаратура 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  $p_{mo} = \rho \cdot g \cdot h_m$  (рисунок 2, а) или вакуумметрического  $p_{vo} = \rho \cdot g \cdot h_v$  (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  $180^\circ$  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  $p_{vo} = \rho \cdot g \cdot h_v$  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 ( $p_o > p_{atm}$ ), 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  $h_m$ .

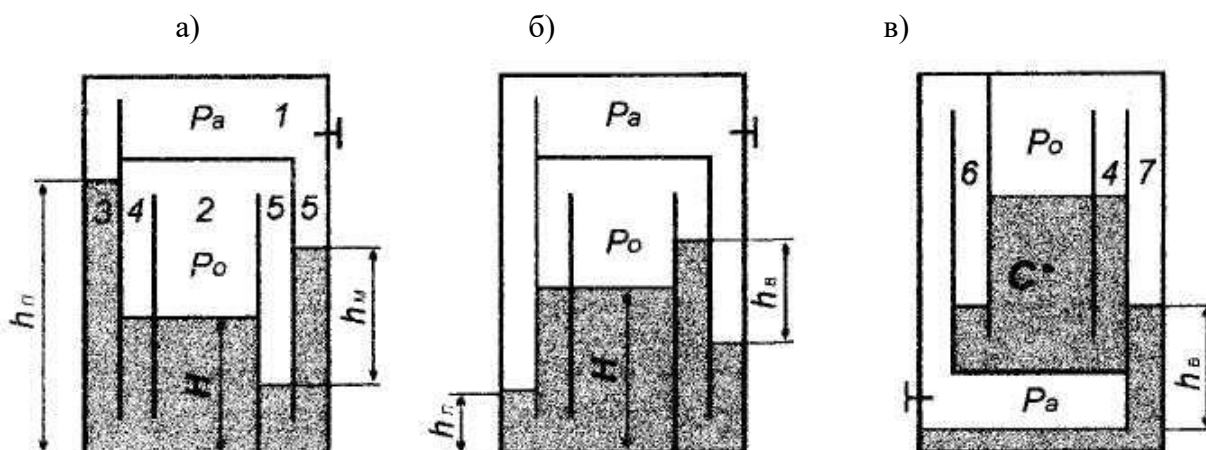


Рисунок 2 – Схема прибора: 1 – полость с атмосферным давлением; 2 – опытный резервуар; 3 – пьезометр; 4 – уровнемер; 5 – мановакуумметр; 6 – пьезометр; 7 – вакуумметр

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  $\delta$ .

4. Над свободной поверхностью в резервуаре 2 создать вакуум ( $p_o < p_{am}$ ), когда уровень жидкости в пьезометре 3 становится ниже, чем в резервуаре, а на мановакуумметре 5 появляется обратный перепад  $h_b$  (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  |                |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
|       |                                                                                        |                                                                                    | $p_o > p_{am}$ | $p_o < p_{am}$ |
| 1     | Пьезометрическая высота, м                                                             | $h_{\pi}$                                                                          |                |                |
| 2     | Уровень жидкости в резервуаре, м                                                       | $h$                                                                                |                |                |
| 3     | Манометрическая высота, м                                                              | $h_m$                                                                              |                | _____          |
| 4     | Вакуумметрическая высота, м                                                            | $h_b$                                                                              | _____          |                |
| 5     | Абсолютное давление на дне резервуара по показанию пьезометра, Па                      | $p = p_{am} + \rho \cdot g \cdot h_{\pi}$                                          |                |                |
| 6     | Абсолютное давление в резервуаре над жидкостью, Па                                     | $p_o = p_{am} + \rho \cdot g \cdot h_m$<br>$p_o = p_{am} - \rho \cdot g \cdot h_b$ | _____          | _____          |
| 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, %        | $\delta_p = 100(p - p^*)/p$                                                        |                |                |

Принять атмосферное давление  $P_{AT} = 101325$  Па, плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>

## 5. Содержание отчета и его форма

Отчет должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема и описание прибора.
4. Расчеты по обработке опытных данных.
5. Результаты измерений и обработки опытных данных в форме таблицы 1.
6. Вывод.

## 6 Вопросы для защиты работы

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 РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
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 И СЕРТИФИКАЦИЯ»  
для студентов направления подготовки  
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Пятигорск 2026 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. <u>Общие положения</u> .....                                                                                             | 55 |
| 2. <u>Цель и задачи самостоятельной работы</u> .....                                                                        | 56 |
| 3. <u>Технологическая карта самостоятельной работы студента</u> .....                                                       | 57 |
| 4. <u>Порядок выполнения самостоятельной работы студентом</u> .....                                                         | 57 |
| 4.1. <u>Методические рекомендации по работе с учебной литературой</u> .....                                                 | 57 |
| 4.2. <u>Методические рекомендации по подготовке к практическим и лабораторным занятиям</u><br>.....                         | 60 |
| 4.3. <u>Методические рекомендации по самопроверке знаний</u> .....                                                          | 60 |
| 4.4. <u>Методические рекомендации по написанию научных текстов (докладов, рефератов, эссе, научных статей и т.д.)</u> ..... | 61 |
| 4.5. <u>Методические рекомендации по подготовке к экзаменам и зачетам</u> .....                                             | 64 |
| 5. <u>Контроль самостоятельной работы студентов</u> .....                                                                   | 64 |
| 6. <u>Список литературы для выполнения СРС</u> .....                                                                        | 65 |

## 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 и сертификация» направлена на формирование следующих **компетенций**:

| Код, формулировка компетенции                                        | Код, формулировка индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-3 Способен в сфере своей профессиональной деятельности проводить |                              | <b>Знать:</b> методы и оценку метрологических характеристик средства                                                |

|                                                                                                                                                                              |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| измерения и наблюдения,<br>обрабатывать и<br>представлять<br>экспериментальные<br>данные и результаты<br>испытаний                                                           |  | измерения (испытания)<br><b>Уметь:</b> применять методы<br>и оценку метрологических<br>характеристик средства<br>измерения (испытания)<br><b>Владеть:</b> способностью<br>оценивать методы и оценку<br>метрологических<br>характеристик средства<br>измерения (испытания)                                                                                                                                                                                                                                                  |
| ОПК-6 Способен<br>участвовать в разработке<br>технической документации<br>с использованием<br>стандартов, норм и правил,<br>связанных с<br>профессиональной<br>деятельностью |  | <b>Знать:</b> нормативно-<br>правовые и нормативно-<br>технические документы,<br>регламентирующие<br>требования к качеству<br>продукции и процедуру его<br>оценки<br><b>Уметь:</b> применять<br>нормативно-правовые и<br>нормативно-технические<br>документы,<br>регламентирующие<br>требования к качеству<br>продукции и процедуру его<br>оценки.<br><b>Владеть:</b> нормативно-<br>правовые и нормативно-<br>технические документы,<br>регламентирующие<br>требования к качеству<br>продукции и процедуру его<br>оценки. |

## 2. Цель и задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРС совпадает с целью обучения студента – формирование набора общенаучных, профессиональных и специальных компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки 08.03.01 Строительство.

При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности. Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Задачами СРС являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;

- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

### 3. Технологическая карта самостоятельной работы студента

| Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов) | Вид деятельности студентов        | Средства и технологии оценки | Объем часов, в том числе |                                    |       |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------|
|                                              |                                   |                              | СРС                      | Контактная работа с преподавателям | Всего |
| 3 семестр                                    |                                   |                              |                          |                                    |       |
| ОПК-3<br>ОПК-6                               | Подготовка к лабораторным работам | Собеседование                | 1,62                     | 0,18                               | 1,8   |
|                                              | Подготовка к лекционным занятиям  | Собеседование                | 0,27                     | 0,03                               | 0,3   |
|                                              | Подготовка доклада                | Доклад                       | 83,11                    | 11,79                              | 94,9  |
| Итого за 3 семестр                           |                                   |                              | 84                       | 12                                 | 96    |
| Итого                                        |                                   |                              | 84                       | 12                                 | 96    |

### 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 связанное 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.

#### *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, рефератов, 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 появляется время. Иногда именно на организацию такого времени уходит немалая часть сил и талантов.

Писать следует ясно и понятно, стараясь основные положения формулировать четко и недвусмысленно (чтобы и самому понятно было), а также стремясь структурировать свой текст. Каждый раз надо представлять, что ваш текст будет кто-то читать и ему захочется сориентироваться в нем, быстро находить ответы на интересующие вопросы (заодно представьте себя на месте такого человека). Понятно, что работа, написанная «сплошным текстом» (без заголовков, без выделения крупным шрифтом наиболее важных мест и т. п.), у культурного читателя должна вызывать брезгливость и даже жалость к автору (исключения составляют некоторые древние тексты, когда и жанр был иной и к текстам относились иначе, да и самих текстов было гораздо меньше – не то, что в эпоху «информационного взрыва» и соответствующего «информационного мусора»).

Объем текста и различные оформительские требования во многом зависят от принятых в конкретном учебном заведении порядков.

Реферат (доклад) - это самостоятельное исследование студентом определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов.

Реферат не должна составляться из фрагментов статей, монографий, пособий. Кроме простого изложения фактов и цитат, в реферате должно проявляться авторское видение проблемы и ее решения.

Рассмотрим основные этапы подготовки реферата студентом.

Выполнение реферата начинается с выбора темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов избранной темы;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана.

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания реферата.

Конспектируя первоисточники, необходимо отразить основную идею автора и его позицию по исследуемому вопросу, выявить проблемы и наметить задачи для дальнейшего изучения данных проблем.

Систематизация и анализ изученной литературы по проблеме исследования позволяют студенту написать работу.

Рабочий вариант текста реферата предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление. После доработки реферат сдается на кафедру для его оценивания руководителем.

#### *Требования к написанию реферата*

Написание 1 реферата является обязательным условием выполнения плана СРС по любой дисциплине профессионального цикла.

Тема реферата может быть выбрана студентом из предложенных в рабочей программе или фонде оценочных средств дисциплины, либо определена самостоятельно, исходя из интересов студента (в рамках изучаемой дисциплины). Выбранную тему необходимо согласовать с преподавателем.

Реферат должен быть написан научным языком.

Объем реферата должен составлять 20-25 стр.

#### *Структура реферата:*

- 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;
- реферат должен быть представлен в сброшюрованном виде.

#### *Порядок защиты реферата:*

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

#### *Оценка реферата*

Реферат оценивается по следующим критериям:

- соблюдение требований к его оформлению;
- необходимость и достаточность для раскрытия темы приведенной в тексте реферата информации;
- умение студента свободно излагать основные идеи, отраженные в реферате;
- 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:

| <b>Уровень выполнения контрольного задания</b> | <b>Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)</b> |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 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.

#### *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 реферата, 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, Г.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 указания к практическим занятиям
2. Методические указания к самостоятельной работе

### **Интернет-ресурсы:**

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии - Режим доступа: <http://www/gost/ru>