

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского

федерального университета

Дата подписания: 11.09.2023 17:43:02

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
ИНСТИТУТ СЕРВИСА, ТУРИЗМА И ДИЗАЙНА
(филиал) СКФУ в г. Пятигорске

Методические указания
по выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества»
для студентов направления подготовки 08.03.01 Строительство,
направленность (профиль) Строительство зданий и сооружений

Пятигорск 2021

Содержание

С

Введение	3
1. Лабораторная работа №1 Определение погрешности изготовления и метрологических параметров партии резисторов	4
2. Лабораторная работа №2 Измерение линейных размеров с помощью штангенинструментов и обработка измерений с многократными наблюдениями	12
3. Лабораторная работа №3. Измерение линейных размеров с помощью штангенинструментов и обработка измерений с многократными наблюдениями	20
4. Лабораторная работа №4. Исследование лабораторных весов. определение точности и места расположения взвешиваемого предмета	
5. Лабораторная работа №5 Освоение методики поверки лабораторных весов	34
6. Лабораторная № 6 Градуировка пружинных весов	41
7. Лабораторная № 7 Градуировка и поверка манометра с трубчатой пружиной	48
8. Лабораторная работа № 8 Градуировка технических термомпар	56

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 08.03.01 Строительство, направленность (профиль) Строительство зданий и сооружений. В лабораторный практикум по дисциплине «Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества» включены лабораторные работы по основным разделам этой дисциплины. Лабораторные работы ориентированы на приобретение навыков студентами построения систем управления с использованием коммутационного оборудования и электропривода. Лабораторный курс ориентирован на получение практических навыков по работе с аналоговыми и цифровыми интегральными микросхемами. В работах используется лабораторный комплекс Учебный лабораторный стенд «Электротехника и основы электроники НТЦ-01.100, лабораторный стенд "Основы электроники» НТЦ-58.00 исполнение настольное. Приведён список рекомендуемой литературы. В приложении дан необходимый справочный материал.

Содержащиеся в практикуме сведения теории, методические указания и рекомендации по выполнению лабораторных работ позволяют использовать его в качестве дополнительного пособия для закрепления курса лекций.

Целью данного лабораторного практикума является поэтапное формирование у студентов знаний, умений и навыков создания систем управления с использованием электроники.

Практикум предназначен для студентов Северо - Кавказского федерального университета и может быть полезным для всех желающих основами ознакомиться с основами электроники.

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 неисключенной систематической погрешности результата измерения $\pm \theta$;
- 9) вычисляют доверительные границы погрешности результата измерения $\pm (\Delta x)_\Sigma$;
- 10) представляют результат измерения в виде $X = \bar{x} \pm (\Delta x)_\Sigma$, P (P – доверительная вероятность).

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

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

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

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

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

- вычисляют оценку среднего квадратического отклонения S результата измерений:

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

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

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

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

где x_n – результат, вызывающий сомнение;

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

Таблица 1

Значения $z_T (P, n)$

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

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

За результат измерения A принимают среднее арифметическое x результатов наблюдений, оставшихся после исключения промахов.

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

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

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

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

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; b) – границы y и z 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 $A = \varepsilon$.

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

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

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

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

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

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

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

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 $S_x = 0,5$; если при $n = 10$, $S_x = 0,253$, оставляем значение $S_x = 0,25$. 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

Измерений 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.

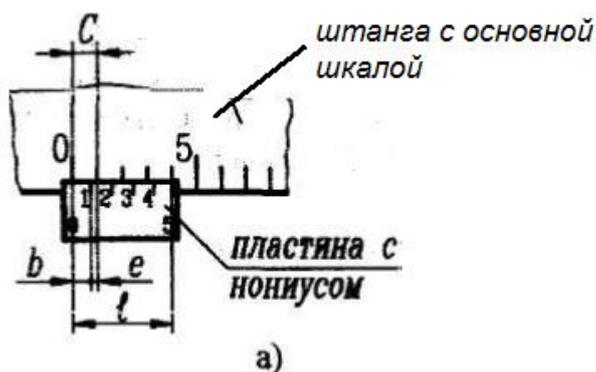


Рис. 1. Нониусное отсчетное устройство.

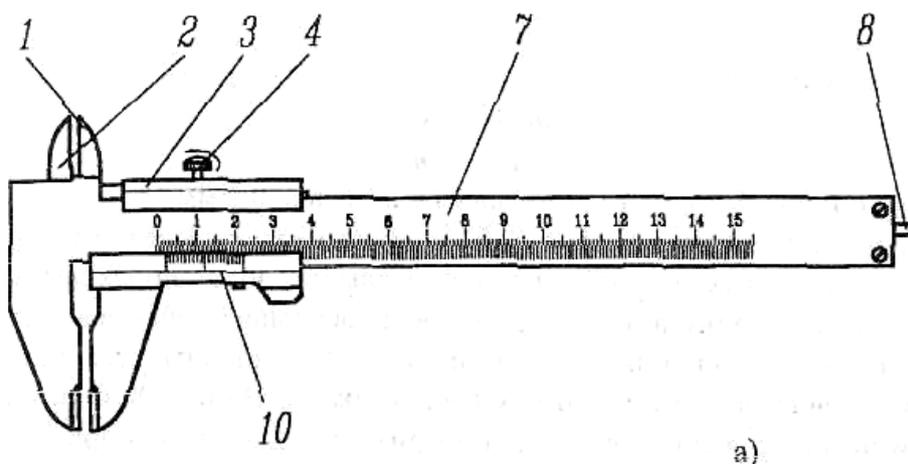
Отсчёт по нониусу определяется из уравнения $e = c - b$, подставив значение b , получим:

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

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.



а)

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 изделии.

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 неучтённой 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 ПЩ-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 ПЩ-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 $\pm \varepsilon$;
- -вычисляют доверительные границы неисключенной систематической погрешности результата измерения $\pm \theta$;
- вычисляют доверительные границы погрешности результата измерения $\pm (\Delta x)\Sigma$;
- представляют результат измерения в виде $X = x \pm (\Delta x)\Sigma$, P (P – доверительная вероятность);
- дают заключение о годности детали по заданному размеру.

Пример 1: при многократном измерении диаметра вала $\varnothing 15$ h14 (-0,430) штангенциркулем, получены следующие результаты: 15,00, 14,90, 14,85, 14,75, 15,00, 14,90, 14,95, 14,70, 14,95, 14,85, 15,00, 14,60. Неучтенная систематическая погрешность результата измерения, вызванная отклонением температуры вала от нормальной $\theta = 2$ 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:

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

3. Определим наличие (отсутствие) предполагаемого промаха x_n от \bar{x}

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

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

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

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

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 X_i , мм	Хср, мм	Результат измерения, Мм
обозначение размера	предельные отклонения	предельные раз	допуск Т, мм			

	E1(a)	E3(ea)	меры, мм				
15 h14	0	0,43	15,00; 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

Измерений линейных размеров с помощью штангенинструментов и обработка измерений с многократными наблюдениями

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

Теоретическая часть

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 угольных 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 стембель 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 стембель нанесены две миллиметровые шкалы, из которых одна расположена над продольной чертой стембля, 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 пята) 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.

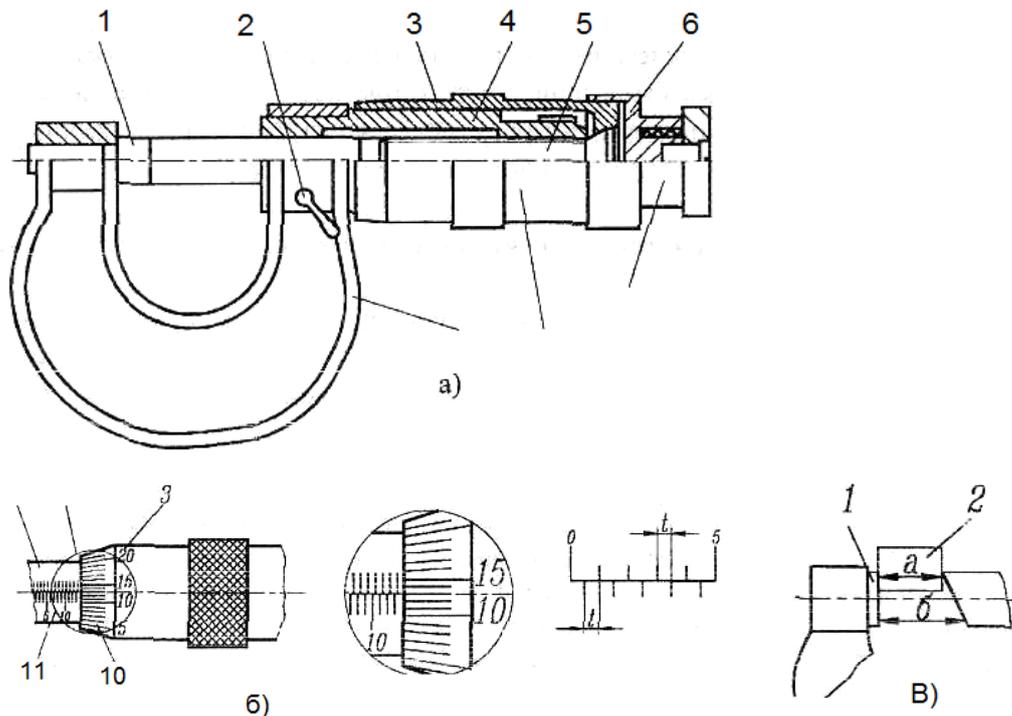


Рис. Микрометр: 1 - пятка, 2 - стопорное устройство; 3 - барабан; 4 - стембель; 5 - микрометрический винт; 6 - установочный колпачок; 7 - трещоточное устройство, 8 - микрометрическая головка; 9- скоба; 10, 11 - шкалы микрометра

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.

2. Порядок измерения микрометром [9, 10]

При правильной установке микрометра нулевой штрих барабана совпадает с продольным отсчетным штрихом на стембле, 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 стембля 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. 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_i ;
- 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.

4. 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 $\varnothing 15-0,027$ микрометром, получены следующие результаты: $5 \cdot 15,00$, $5 \cdot 14,98$, $14,95$, $15,01$. Неучтенная систематическая погрешность результата измерения, вызванная отклонением температуры вала от нормальной $\theta_s = 2$ мкм. Определить θ_{Σ} , 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:

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

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 :

$z = \frac{x_{\text{пр}} - \bar{x}}{S} = \frac{14,95 - 14,988}{0,054} = 0,038 / 0,054 \approx 0,703$, 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 $S_{\bar{x}} = \frac{0,054}{\sqrt{11}} \approx 0,016$ мм.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

9. Результаты наблюдений и вычислений заносятся в таблицу.

Таблица

Характеристика размера				Результаты наблюдений X_i , мм	Хср, мм	Результат измерения, Мм
обозначение размера	предельные отклонения		допуск T , мм			
	E1(a)	E3(ea)		предельные размеры, мм		
$\varnothing 15-0,027$	0	-0,027	$\varnothing 15-0,027$	15,00	14,988	14,988 \pm 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.

Теоретическая часть

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.

1 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

2. 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° С;
- относительная влажность воздуха от 30 до 80 %.

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

3 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. Проведение поверки

1. Внешний осмотр

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

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

2. Опробование

2.1. После прогрева в течение 30 минут весы приводятся в рабочее состояние. Изображение цифр на индикаторе должно быть чётким.

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

3. Определение метрологических характеристик

3.1. Определение погрешности весов

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

- установить нулевые показания весов, нажав клавишу ТАРА;
- поместить гирю (гири) в центр чашки весов;
- снять показания весов после их установления;
- снять гирю (гири) с чашки, дождаться установления показаний;
- 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.

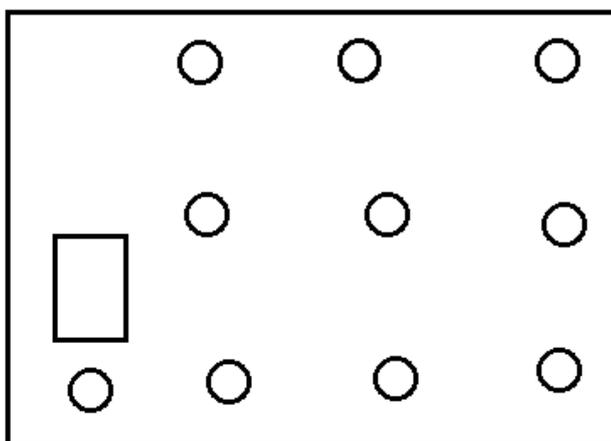


Рисунок 3.1. Расположение мест измерения веса.

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

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

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

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:

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

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. Оформление результатов поверки

Положительные результаты поверки должны оформляться:

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

Цель работы: выполнить поверку весов, сделать вывод об их пригодности для измерений. Определить порядок и условия проведения поверки, изучив нормативно-техническую документацию. Провести внешний осмотр. Выполнить опробование. Определить метрологические параметры. Оформить результаты поверки

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 ВСП-2/0.5-1	Набор гирь
НмПВ (наименьший предел взвешивания), г НПВ (наибольший предел взвешивания), г		Значения меры
Цена поверочного деления е, г		
Предел допускаемой погрешности Δ_{\max} , 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 закрепленной на весах, или непосредственно на весах.

Отразите в протоколе характер основных обозначений: четкие/нечеткие, 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 (раб/ не раб.)
1	Кнопка ВКЛ/ТАРА	
2	Кнопка Ф	
3	Кнопка ВЫКЛ	
4	Дисплей	
5	Режим установок	
6	Автоматическое отключение	
7	Выбор единиц измерения (граммы, унции, караты)	
	Счётный режим работы	
	Режим тарирования	

6.3 Определение метрологических параметров

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

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

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

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

Таблица 11 – Непостоянство показания ненагруженных весов

№ измерения	Масса начальной гири допуска, кг	Измеряемая масса нажатия рукой, кг.	Масса гирь-допуска для компенсации непостоянства измерений (+ добавлена/ – 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 Δ_{\max} , кг
1				
2				
3				
4				
5				

6.3.3 Погрешность нагруженных электромеханических весов определяют при увеличении и при уменьшении нагрузками, равными десяти значениям массы, равномерно распределенным 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 трёх 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 всём диапазоне взвешивания не должна превышать 1,2е.

Отразите в протоколе чувствительность нагруженных весов, заполнив таблицу 14.

Таблица 13 – Погрешность показаний нагруженных весов

№ измерения	Нагружение или разгрузка +/-	Масса гири Q , кг	Результат измерения X , кг	Абсолютная погрешность измерения $\Delta = Q - X$, кг	Предел допускаемой погрешности Δ_{\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 e, кг	Масса гири-допуска при которой изменились показания весов, кг
1	0,0103		
2	0,5009		
3	1,00		

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		
2		
3		
4		
5		

7 Оформление результатов поверки

Отразите в выводах:

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

Лабораторная № 6

Градуировка пружинных весов

Цель работы

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

Теоретическая часть

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1. Рычажные весы с уравниванием масс. 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° , 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 тяжелых 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;
- жесткость пружины, т.е. отношение ее 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 ее проведения.

Оборудование и материалы.

Весы пружинные. Набор разновесов.

Указания по технике безопасности

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

Задание

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.

Содержание отчёта

По результатам работы составляют краткий отчёт, который должен содержать:

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

Контрольные вопросы

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

Лабораторная № 7

Градуировка и поверка манометра с трубчатой пружиной

1 Цель работы: оценить пригодность манометра для измерения, выполнив поверку. Определить порядок и условия проведения поверки, изучив нормативно-техническую документацию. Провести внешний осмотр. Проверка положения стрелки пера у нулевой отметки. Определить основную погрешность и вариацию. Оформить результаты поверки

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 16.

4 Нормативно-техническая документация

4.1 ГОСТ 2405-80 Манометры, вакуумметры и мановакуумметры показывающие. Общие технические условия

4.2 МИ 2124-90 Государственная система обеспечения единства измерений.

Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры показывающие и самопишущие. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры,

Таблица 16 - Метрологические характеристики средств поверки и поверяемого средства

Характеристика	Манометр МКУ-1072	Манометр МО-11202	Термометр	Хронометр
Диапазон измерения (для манометров в МПа) Верхний предел измерений D, (для манометров в МПа)				
Цена деления (для манометров в МПа)				
Предел допускаемой основной погрешности (для манометров в %)				
Класс точности				

5 Условия поверки и подготовка к ней

5.1 Условия поверки должны соответствовать установленным в МИ 2124 п. 3.

5.2 Температура окружающего воздуха должна соответствовать МИ 2124 п.3.1.

При использовании для поверки эталонного показывающего деформационного прибора допускаемое отклонение температуры должно соответствовать его нормальным условиям,

в противном случае в показания эталонного прибора должна быть введена поправка на влияние температуры.

5.3 Вибрация (тряска) не должна вызывать размах колебаний стрелки или пера, превышающий 0,1 предела допускаемой основной погрешности прибора, если иное не установлено в нормативно-технической документации на прибор.

5.4 Прибор должен быть присоединен к устройству, для создания давления и находиться в положении, соответствующем обозначению, имеющемуся на приборе или указанию в документации. Если обозначение рабочего положения отсутствует, то при поверке прибор должен быть установлен так, чтобы плоскость циферблата была вертикальна с допускаемым отклонением $\pm 5^\circ$ (если иное не оговорено в НТД), а цифры и знаки должны быть расположены без наклонов.

5.5 Для приборов с верхним пределом измерений до 250 кПа включительно, давление в приборе должно создаваться воздухом или нейтральным газом, кроме случаев, специально оговоренных в документации на прибор.

5.6 Устройство для создания давления должно обеспечивать плавное повышение и понижение давления, а также постоянство давления во время отсчета показаний и выдержке приборов под давлением, равным верхнему пределу измерений.

5.7 Прибор должен предварительно выдерживаться в нерабочем состоянии при температуре окружающего воздуха, указанной в МИ 2124 п.3.1, в течение времени, соответствующему МИ 2124 п.3.12.

Используя термометр, проведите измерение температуры окружающей среды. Занесите в протокол условия проведения поверки, заполнив таблицу 17, отметьте соответствие требованиям МИ 2124 п.3.

Таблица 17 – Условия проведения поверки

№ измерения	Название	Установлено	Соответствует/не соответствует МИ 2124 п.3
1	Температура окружающей среды, °С		
2	Вибрация		
3	Обозначение на манометре способа расположения		
4	Расположение манометра при поверке		
5	Обозначение на манометре типа рабочей среды		
6	Предварительная выдержка в нерабочем состоянии		

Оборудование и материалы.

Поверяемые средства: Манометр МКУ-1072, Средства поверки: Манометр МО-11202. Термометр по ГОСТ 28498-90. Хронометр.

Указания по технике безопасности

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

Задание

При внешнем осмотре собранных весов должно быть установлено:

6.1.1 Отсутствие механических повреждений корпуса, штуцера (препятствующих присоединению и не обеспечивающих герметичность, прочность соединения), стрелки, стекла и циферблата, влияющих на эксплуатационные свойства.

6.1.2 Стекло и защитное покрытие циферблата должно быть чистым и не иметь дефектов, препятствующих правильному отсчёту показаний.

6.1.3 Соединение корпуса с держателем должно быть прочным, не допускающим смещения корпуса.

6.1.4 Приборы, забракованные при внешнем осмотре, дальнейшей поверке не подлежат. *Отразите в протоколе результаты внешнего осмотра, заполнив таблицу 18.*

Таблица 18 – Результаты внешнего осмотра

№ измерения	Название	Обнаружено
1	Механические повреждения	
2	Стекло и защитное покрытие	
3	Соединения	
4	Отметки о ремонте	

6.2 Проверка положения стрелки у нулевой отметки шкалы

6.2.1 Перед установкой стрелки на нулевую отметку или проверкой положения стрелки у нулевой отметки, прибор необходимо выдержать под давлением в соответствии с МИ 2124 п.5.2.1.

6.2.2 Стрелка прибора, не _____ имеющего корректор нуля, должна при отсутствии давления располагаться на нулевой отметке шкалы с отклонением не более предела допускаемой основной погрешности по ГОСТ 2405 п.2.2, если иное не оговорено в документации на прибор.

Выполните проверку положения стрелки у нулевой отметки шкалы и отразите результаты в протоколе.

6.3 Определение основной погрешности и вариации

6.3.1 Основную абсолютную погрешности прибора необходимо определять, как разность между показаниями прибора и действительным значением давления, отсчитываемым по эталонному прибору.

6.3.2 Поверка прибора осуществляется следующим способом: стрелка поверяемого прибора устанавливается на поверяемую отметку шкалы, а действительное давление отсчитывается по эталонному прибору.

6.3.3 Отсчитывание показаний приборов при их поверке должно проводиться с точностью до 0,1 цены деления.

6.3.4 Для устранения параллакса при отсчете показаний направление зрения должно проходить через указательный конец стрелки перпендикулярно поверхности циферблата.

6.3.5 Число проверяемых точек шкалы прибора выбирается в соответствии с МИ 2124 п.5.3.7. Проверяемые _____ точки должны быть распределены примерно равномерно в пределах всей шкалы.

6.3.6 При поверке давление плавно повышают и проводят отсчитывание показаний. Затем прибор выдерживают в течение 5 мин. под давлением, равном верхнему пределу измерений. После чего давление плавно понижают и проводят отсчитывание показаний при тех же значениях давления, что и при повышении давления.

Скорость изменения давления не должна превышать 10 % диапазона показаний в секунду.

6.3.7 Движение стрелки должно происходить плавно, без заеданий и скачков.

Стрелка не должна касаться циферблата и стекла.

6.3.8 Указательный конец стрелки прибора на протяжении всей шкалы должен перекрывать самые короткие отметки шкалы на значение, установленное в ГОСТ 2405 п.2.10.

Проведите поверку прибора в соответствии с п.п.6.3.1 – 6.3.8. Занесите в протокол результаты измерения давления эталонным и поверяемым манометрами, заполнив столбцы 1, 2, 4 и 5 таблицы 19.

Таблица 19 – Оценка погрешности и вариации показаний манометра

№ измерения	Повышение давления (прямой ход)			Понижение давления (обратный ход)			Вариация
	Поверяемый манометр N_1 , МПа	Эталонный манометр N_{01} , МПа	Приведенная погрешность измерения γ_1 , %	Поверяемый манометр N_2 , МПа	Эталонный манометр N_{02} , МПа	Приведенная погрешность измерения γ_2 , %	
	1	2	3	4	5	6	7
1	N_{min}			N_{min}			
2							
3							
4							
5	N_{max}			N_{max}			

6.3.9 При снижении давления до нуля после поверки стрелка должна находиться на нулевой отметке шкалы с отклонением, не превышающим, предела допускаемой погрешности по ГОСТ 2405 п.2.2, если иное не оговорено в документации на прибор.

Занесите в протокол значение отклонения стрелки поверяемого прибора после снижения давления.

7 Обработка результатов измерений

7.1 При поверке приборов, находящихся в эксплуатации, значение основной приведенной погрешности прибора (γ , %) на любой отметке шкалы, как при прямом, так и обратном ходе стрелки определяют по формулам:

$$\gamma_1 = \frac{N_{01} - N_1}{D} \cdot 100 \quad (2)$$

$$\gamma_2 = \frac{N_{02} - N_2}{D} \cdot 100, \quad (3)$$

где N_{01} , N_{02} - показания образцового прибора при повышении и понижении давления, соответственно;

N_1 , N_2 - показания поверяемого прибора при повышении и понижении давления, соответственно;

D – верхний предел измерения поверяемого манометра.

N и D должны быть выражены в одних и тех же единицах давления.

Занесите в протокол результаты расчёта приведённой погрешности поверяемого манометра, заполнив столбцы 3 и 6 таблицы 19

7.2 Вариация показаний (B , %) для каждой проверяемой отметки шкалы, кроме значений, соответствующих верхнему и нижнему пределам измерения, определяется по формуле:

$$B = \frac{N_{02} - N_2}{D} \cdot 100, \quad (4)$$

N и D должны быть выражены в одних и тех же единицах давления.

Занесите в протокол результаты расчёта вариации поверяемого манометра, заполнив столбец 7 таблицы 19.

7.3 Погрешности измерений на обратном и прямом ходе на всех отметках шкалы не должны превышать значения предела допускаемой основной погрешности прибора по ГОСТ 2405 п.2.2, если иное не оговорено в документации на прибор.

Занесите в протокол результаты сравнения погрешности измерения с пределом допускаемой основной погрешности.

7.4 Вариация не должна превышать значения предела допускаемой основной погрешности по ГОСТ 2405 п.п.2.2, 2.3, если иное не оговорено в документации на прибор.

Занесите в протокол результаты сравнения вариации прибора с пределом допускаемой основной погрешности.

Оформление результатов поверки

Отразите в выводах

На основании проведенной поверки манометр (обозначение манометра) № __ (заводской номер) ____, изготовленный __ (производитель манометра) _____ пригоден/не пригоден для применения.

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 № 8

Градуировка технических термопар

Цель 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.

Теоретическая часть

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

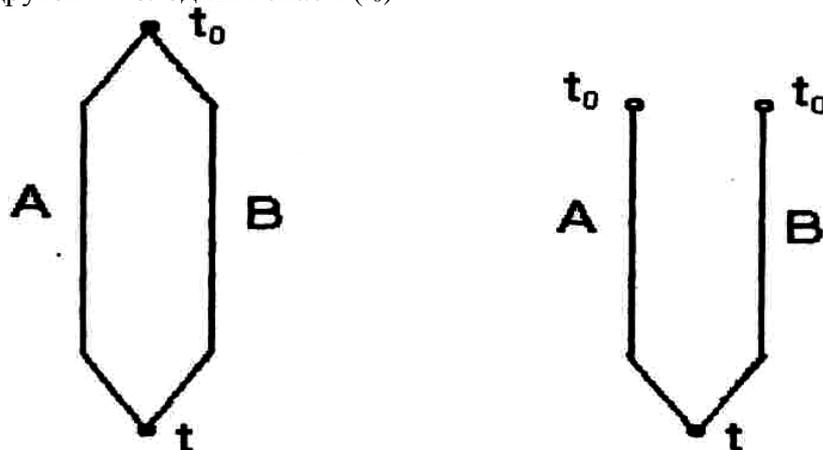


Рисунок 1 – Схема термопары

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

Основные требования к термопарам:

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

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

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

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

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

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

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

Это и есть уравнение термопары. Или

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

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

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

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

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

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

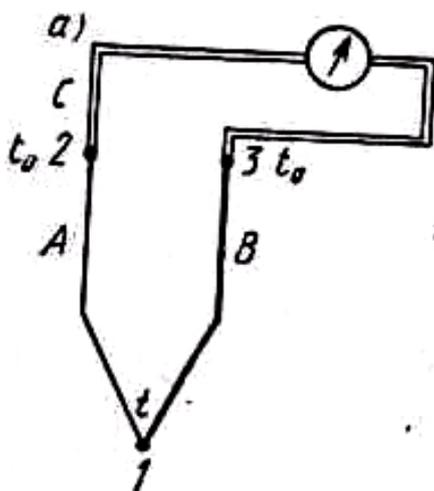


Рисунок 2а – Схема подсоединения измерительного прибора к свободным концам термопары

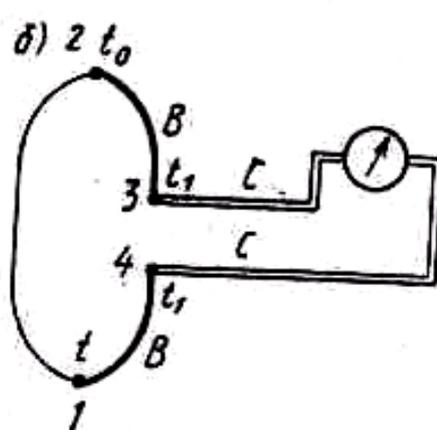


Рисунок 2б – Схема включения измерительного прибора в разрыв цепи термоэлектрического преобразователя

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

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

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

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

Учитывая, что

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

запишем:

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

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

Таким образом, следствием совпадения уравнений (6) и (8) с (2) является то, что термо ЭДС $TЭП$ 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 $TЭП$, при условии равенства температур концов этих проводников. Указанный вывод может быть отнесен также к подключаемому измерительному прибору.

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

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

$$E_{AB(t, t_0)} = E_{AB(t, t'_0)} \pm E_{AB(t'_0, t_0)} \quad (9)$$

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

$E_{AB(t, t'_0)}$ – ЭДС, развиваемая этой же термопарой при температуре горячего спая t ;

$E_{AB(t'_0, t_0)}$ – поправка на температуру холодного спая, определяемая как ЭДС термопары, развиваемая термопарой при температуре горячего спая t'_0 и холодного спая $t_0 = 0^\circ\text{C}$.

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

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

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

Оборудование и материалы.

Проволочные электроды диаметром от 0,5 до 3,3 мм. Ртутный термометр. Специальное устройство (рис 3). Металлический блок (рис.4). Потенциометр.

Указания по технике безопасности

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

Задание

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.

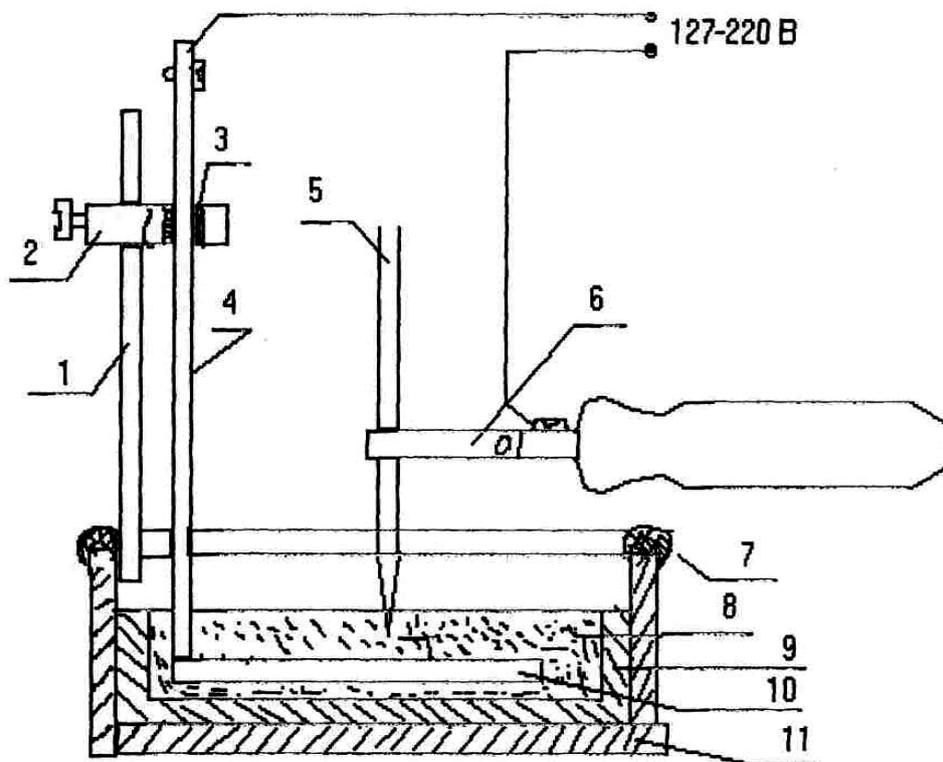


Рисунок 3 – Специальное устройство

- 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°C.

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

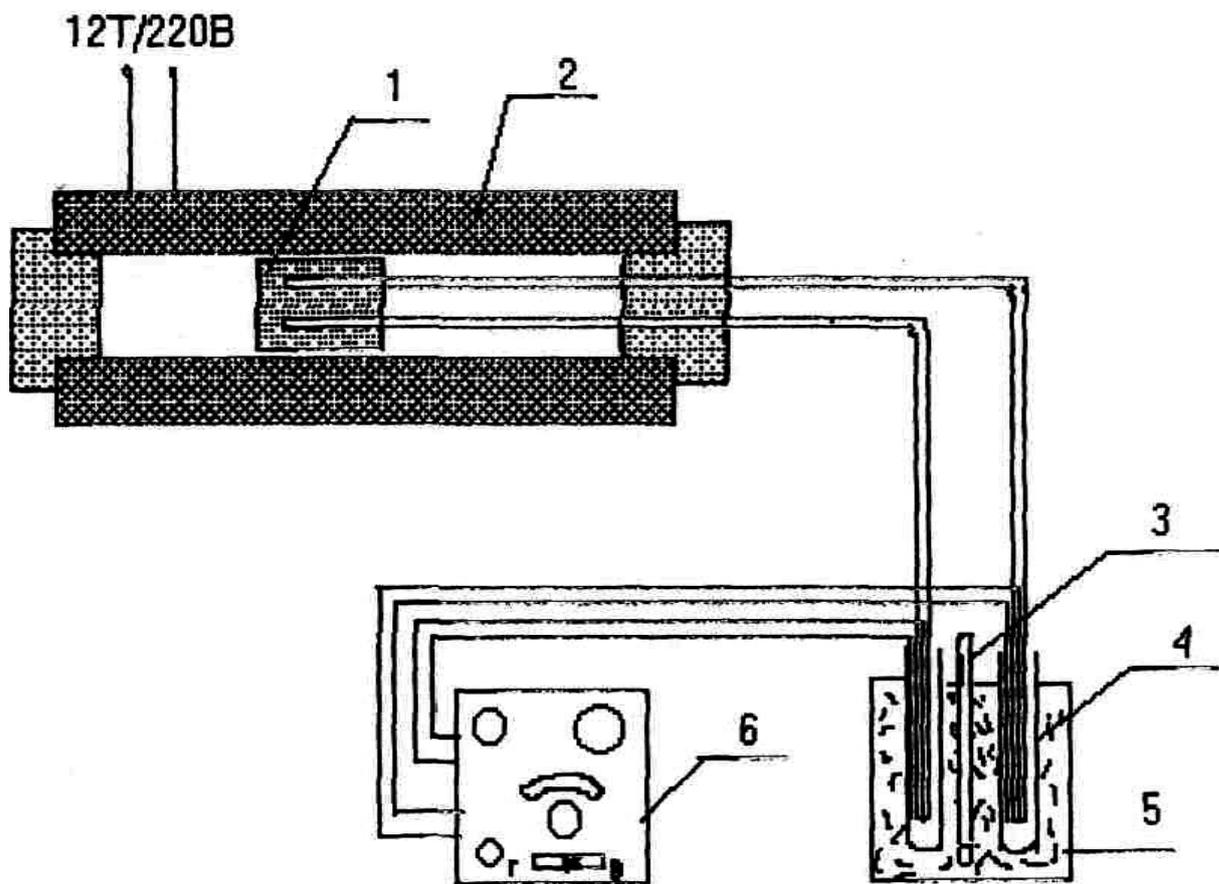


Рисунок 4 – Металлический блок

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

6. Подготавливают к работе контрольный потенциометр.

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.

Содержание отчёта

Таблица 1 – Результаты градуировки технической термопары

Контрольные вопросы

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

Температура холодных спаев t°, C	Образцовая термопара			Градуируемая термопара				
	Показания прибора $E(t_0, t_0), mv$	Поправка на температуру холодного сплава $E(t_0, t_0), mv$	Значение т.э.дс приведенное к $0^{\circ}C$ $E(t, t_0), mv$	Истинная температура t°, C	Показания прибора $E(t, t_0), mv$	Поправка на температуру свободных концов $E(t_0, t_0), mv$	Значение т.э.дс приведенное к $0^{\circ}C$ $E(t, t_0), mv$	Табличное значение т.э.дс $E_L(t, t_0), mv$