

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
**«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Т. Ф. ГОРБАЧЕВА»**
филиал КузГТУ в г. Прокопьевске

Кафедра технологии и комплексной механизации горных работ

ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Методические указания к практическим занятиям
по дисциплинам «Метрология, стандартизация,
сертификация и техническое документоведение»
и «Метрология, стандартизация и сертификация»
для студентов СПО всех специальностей

Составитель: **Л. Ф. Кожухов**

Рассмотрены и утверждены
на заседании кафедры
Протокол № 1 от 28.08.2018 г.

Рекомендованы к изданию
учебно-методической комиссией
Протокол № 1 от 28.08.2018 г.

Электронный ресурс находится
в библиотеке филиала КузГТУ
в г. Прокопьевске

Прокопьевск 2018

Рецензент:

к. т. н., доцент кафедры «Технология машиностроения»
филиала КузГТУ в г. Прокопьевске

Мирошин И. В.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Цель и задачи работы	4
2. Виды измерений	5
3. Погрешности измерений	6
4. Погрешности средств измерений	12
5. Погрешность прямых измерений с однократными наблюдениями	18
6. Погрешности прямых измерений с многократными наблюдениями ..	24
7. Погрешности косвенных измерений	27
8. Методические указания к практической работе	28
9. Контрольные вопросы	30
Литература	31
Приложение	32

ВВЕДЕНИЕ

Неотъемлемой частью экспериментальных исследований, проводимых в лаборатории или на производстве, являются измерения физических величин. Используемые при измерениях технические средства, называются средствами измерения, а величины, получаемые с их помощью, принимаются как результат измерения.

При практическом использовании тех или иных измерений важно оценить их точность. Термин «точность измерений», т. е. степень приближения результатов измерения к некоторому действительному значению, не имеет строгого определения и используется для качественного сравнения измерительных операций. Для количественной оценки используется понятие «погрешность измерений» (чем меньше погрешность, тем выше точность).

Для сопоставления и совместного использования результатов измерений применяют единообразные показатели точности измерений и единые унифицированные формы представления результатов измерений. Количественные показатели точности измерений и способы их выражения устанавливает рекомендация МИ 1317-2004 [3]. При измерении различных величин и параметров в качестве показателя точности обычно используют интервал, в котором погрешность измерения находится с заданной вероятностью.

Методические указания к практическому занятию «Погрешность измерений и средств измерений» по дисциплинам «Метрология, стандартизация, сертификация и техническое документоведение» и «Метрология, стандартизации и сертификация» могут быть использованы студентами специальностей 09.02.04 Информационные системы (по отраслям) и 23.02.03 Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: Изучение погрешностей измерений и средств измерений, знакомство с видами измерений, методами обработки и оценкой результатов измерений.

Задачи работы:

- 1) изучить классификацию погрешностей измерений в зависимости от причины, характера появления и возможности устранения;
- 2) изучить формулы определения абсолютной, относительной и приведённой погрешностей измерений и уметь применять их при решении задач;
- 3) научиться обрабатывать результаты равноточных многократных, однократных и косвенных измерений.

2. ВИДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

По способу получения результатов измерений различают следующие виды измерений [1]: **прямые, косвенные, совместные и совокупные.**

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений [1], [2]. Например, при измерении диаметра детали штангенциркулем.

Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение величины получают на основании результатов прямых измерений других величин, функционально связанных с искомой величиной [1]. Например, при измерении плотности однородного тела, которая определяется по формуле: $\rho = \frac{m}{V}$, величины, входящие в формулу: m – масса тела, V – его объём – прямыми измерениями.

Совместные измерения – проводимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для определения зависимости между ними [1]. Например, измерение длины стержня в зависимости от температуры.

Совокупные измерения – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях [1]. Например, измерение сопротивления резисторов, соединённых треугольником.

По числу измерений различают **однократные и многократные** измерения.

Однократное – одно измерение одной величины.

Многократные – измерения, в которых число измерений превышает число измеряемых величин. Измерение с числом наблюдений

$n \geq 4$ относят (условно) к измерениям с многократными наблюдениями.

По условиям измерений различают равноточные и неравноточные измерения.

Равноточные измерения – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью.

Неравноточные измерения – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях.

По **характеру зависимости измеряемой величины от времени** различают статические и динамические измерения.

Статические измерения, когда измеряемая величина практически постоянна (измерения размеров тела, постоянного давления);

Динамические измерения, когда измеряемые величины в процессе измерений претерпевают те или иные изменения (измерения пульсирующих давлений, вибраций).

3. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Любой результат измерений содержит погрешность, как бы тщательно оно не проводилось. Для определения понятия «погрешность» необходимо пояснить различие между такими понятиями, как истинное и действительное значение физической величины.

Погрешность измерения – разность между результатом измерения величины и действительным (опорным) значением величины [4].

Опорное значение (величины) – значение величины, которое используют в качестве основы для сопоставления со значениями величин того же рода [1].

Опорное значение величины может быть истинным значением величины, подлежащей измерению, в этом случае оно неизвестно, или принятым значением величины, в этом случае оно известно [1].

Истинное значение физической величины – это значение, идеальным образом отражающее свойство данного объекта как в количественном, так и в качественном отношении. На практике это абстрактное понятие приходится заменять понятием «действительное значение».

Действительное значение физической величины – значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близ-

кое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него [1].

Результат измерения всегда отличается от истинного значения измеряемой величины и представляет ее приближенное значение.

Измерение, направленное на изучение определенного свойства объекта, представляет собой познавательную процедуру. В ней выделяется три этапа: подготовка измерительного эксперимента, эксперимент, обработка экспериментальных данных.

Обработка данных при измерении представляет собой заключительный этап измерительной процедуры, на котором по экспериментальным данным с помощью математических методов получают искомый результат измерения и показатели его погрешности.

Погрешность измерения возникает вследствие воздействия многих факторов, сопутствующих измерению. Традиционный аналитический подход при изучении погрешностей состоит в разделении ее на составляющие, каждая из которых обусловлена определенным фактором. Методы обработки экспериментальных данных и определения точности измерения зависят от вида измерений. При всяком измерении, кроме результата измерения, необходимо определять и указывать погрешность измерений.

Количество факторов, влияющих на точность измерения, достаточно велико, чем и объясняется большое количество видов погрешностей.

В зависимости от способа выражения различают *абсолютную и относительную погрешности измерения*.

Абсолютной называют погрешность измерений, выраженную в единицах измеряемой величины [1]. Например, 0,4 В; 2,5 мкм и т. д.

Её определяют как:

$$\Delta = A - X_{\text{ист}} \quad (1)$$

или

$$\Delta \cong A - X_{\text{д}} \quad (2)$$

где A – результат измерения;

$X_{\text{ист}}$ – истинное значение измеряемой физической величины;

$X_{\text{д}}$ – действительное значение измеряемой величины.

Результат измерения обычно записывают со знаком $\pm$.

$$X = A \pm \Delta \quad (3)$$

Например, *рекорд в беге на 100 метров, установленный в 1983*

году, равен $9,930 \pm 0,005$ с.

Относительная погрешность измерения (δ) представляет собой отношение абсолютной погрешности измерений к истинному (действительному) значению измеряемой величины. Относительную погрешность в % определяют по формуле:

$$\delta = \frac{A - X_{\text{ист}}}{X_{\text{ист}}} = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100 \quad (4)$$

или

$$\delta = \frac{A - X_{\text{д}}}{X_{\text{д}}} = \frac{\Delta}{X_{\text{д}}} \cdot 100 \quad (5)$$

Относительная погрешность показывает, какую часть или сколько процентов от измеряемой величины составляет абсолютная погрешность.

Пример. В результате измерения силы электрического тока в цепи I получен ряд значений: $I_1 = 0,55$ А; $I_2 = 0,58$ А; ... $I_n = 0,54$ А. Вычислено среднее значение $I = 0,56$ А.

Погрешности $\Delta_1 = I_1 - I = 0,55 - 0,56 = -0,01$ А; $\Delta_2 = I_2 - I = 0,58 - 0,56 = 0,02$ А; $\Delta_n = I_n - I = 0,54 - 0,56 = -0,02$ А являются абсолютными погрешностями измерений.

Приняв в качестве действительного значения среднее значение, т. е. $I_{\text{д}} = I$, определим относительную погрешность отдельного измерения в ряду измерений:

$$\delta_1 = \frac{\Delta_1}{I_{\text{д}}} \cdot 100\% = -\frac{0,01}{0,56} \cdot 100\% = -1,7\% \quad (6)$$

$$\delta_2 = \frac{\Delta_2}{I_{\text{д}}} \cdot 100\% = \frac{0,02}{0,56} \cdot 100\% = 3,5\% \quad (7)$$

По характеру проявления погрешности разделяются на **систематические, случайные и грубые погрешности (промахи)**.

Систематическая погрешность измерения $\Delta_{\text{с}}$ – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины [1]. Систематическая погрешность всегда имеет знак отклонения, т.е. "+" или "-".

Причинами систематической погрешности могут быть:

- отклонение параметров реального средства измерения от расчетных значений, предусмотренных схемой;
- изменение напряжения вспомогательного источника питания (разряд аккумулятора), если результат измерения зависит от значения этого напряжения и др.

Ряд постоянных систематических погрешностей в процессе измерения внешне себя не проявляют. Обнаружить их можно в процессе поверки путем сравнения результатов измерения рабочими средствами и эталонами. Уменьшить или исключить постоянную систематическую погрешность измерения можно выбором более совершенных методик измерений и средств измерений.

Систематическую составляющую погрешности измерения можно характеризовать математическим ожиданием $M[X]$. Если известна постоянная систематическая погрешность измерения, то при обработке результата измерения необходимо внести в показание поправку с обратным знаком.

Поправка – значение величины, вводимое в показание с целью исключения систематической погрешности [1]. Оставшуюся систематическую погрешность измерения после введения поправки называют неисключенной систематической погрешностью.

Близость к нулю систематической погрешности отражает **правильность измерений**.

Случайная погрешность измерения Δ – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных в определенных условиях [1]. Заметим, что случайные погрешности представляют собой погрешности, в появлении каждой из которых не наблюдается какой-либо закономерности. Случайные погрешности неизбежны и неустранимы. Они всегда присутствуют в результате измерения. Случайная погрешность возникает при одновременном воздействии многих источников, каждый из которых сам по себе оказывает некоторое влияние на результаты измерений, но суммарное воздействие всех источников может оказаться достаточно сильным. Случайная составляющая погрешности возможна из-за колебаний температуры окружающего воздуха, влияния магнитных и электрических промышленных помех и т. п. Она вызывает рассеяние результатов при многократном и достаточно точном измерении одной и той же величины

при неизменных условиях, вызывая различие их в последних значащих цифрах. В основе теории погрешностей лежат два положения, подтвержденные практикой:

- при большом числе измерений случайные погрешности одинакового значения, но разного знака встречаются одинаково часто;
- большие по абсолютному значению погрешности встречаются реже, чем малые.

Из первого положения следует важный для практики вывод, что при увеличении числа измерений случайная погрешность результата, полученного из ряда измерений, уменьшается вследствие того, что сумма погрешностей отдельных измерений данного ряда измерений стремится к нулю, т. е.

$$\sum_{i=1}^n (x_i - x_d) = \sum_{i=1}^n \overset{0}{\Delta x_i} \rightarrow \overset{0}{0} \quad (8)$$

Незначительность случайной погрешности говорит о хорошей *сходимости измерений*, то есть о близости друг к другу результатов измерений, выполненных повторно одними и теми же средствами измерений, одним и тем же методом, в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Как правило, при выполнении измерений случайная и систематическая погрешности проявляются одновременно, поэтому погрешность измерения равна:

$$\Delta = \overset{0}{\Delta} + \Delta_c \quad (9)$$

Грубая погрешность (промах) измерений – погрешность измерения, существенно превышающая зависящие от объективных условий измерений значения систематической и случайной погрешности [4]. Грубая погрешность (или промах) – это погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда. Источником грубых погрешностей нередко бывают резкие изменения условий измерения и ошибки, допущенные оператором. К ним можно отнести:

- неправильный отсчет по шкале измерительного прибора, происходящий из-за неверного учета цены малых делений шкалы;
- неправильная запись результата наблюдений, значений отдельных мер использованного набора, например гирь;
- хаотические изменения параметров напряжения, питающе-

го средство измерения, например, его амплитуды или частоты.

При автоматических измерениях грубые погрешности и промахи автоматически исключаются в процессе обработки измерительной информации.

По источнику возникновения различают методические, субъективные и инструментальные погрешности.

Методическая погрешность (погрешность метода) ΔX_m – составляющая погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений [1]. Погрешность метода обусловлена несовершенством приемов использования средств измерений, некорректностью расчетных формул и округления результатов, теми или иными допущениями или упрощениями, применения эмпирических формул и функциональных зависимостей. Сюда же можно отнести неправомерную экстраполяцию свойства, полученного в результате единичного измерения, на весь измеряемый объект влияние инструмента на свойства объекта (например, значительное измерительное усилие, изменяющее форму тонкостенной детали) или погрешности, связанные с чрезмерно грубым округлением результата измерения.

Субъективная погрешность измерения (погрешность оператора) $\Delta X_{оп}$ – погрешность, обусловленная степенью внимательности, профессиональной подготовленности, сосредоточенности, быстротой реакции и другими качествами оператора. К этой систематической погрешности относятся, например, погрешности отсчитывания, параллакса, реакции наблюдателя и т.п.:

$$\Delta X_{оп} = \Delta X_{отсч} + \Delta X_{пар} \quad (10)$$

где $\Delta X_{отсч}$ – погрешность интерполяции, обусловленная неточностью отсчитывания показаний средства измерений при работе с аналоговыми стрелочными приборами;

$\Delta X_{пар}$ – погрешность от параллакса, возникает при работе с аналоговыми стрелочными приборами, когда линия визирования не являются нормалью к поверхности.

Чем больше расстояние между шкалой прибора и стрелкой, тем больше возможная погрешность от параллакса $\pm \Delta_{пар}$. Эта составляющая при тщательно выполняемом эксперименте также может быть сведена до значения $\pm(0,2...0,1)$ веса одного деления. В конст-

рукции сравнительно точных стрелочных приборов (класс точности 0,5 и больше) для устранения погрешности параллакса в плоскости шкалы устанавливают зеркало. Такая зеркальная шкала позволяет обеспечить строго перпендикулярный взгляд на шкалу. Отсчитывание при этом необходимо производить таким образом, чтобы стрелка закрывала свое отражение в зеркале.

Инструментальная погрешность измерения $\Delta X_{инстр}$ – составляющая погрешности измерения, обусловленная несовершенством применяемого средства измерений [1]. К этим погрешностям можно отнести погрешности изготовления и сборки элементов средств измерений; погрешности из-за трения в механизме прибора, недостаточной жесткости его элементов и деталей и др. Подчеркнем, что инструментальная погрешность индивидуальна для каждого средства измерений и определяется его классом точности.

Так, например, манометры с верхним диапазоном измерений 6 МПа в зависимости от класса точности: 1,5; 1,0 и 0,6 имеют различную инструментальную погрешность, так как класс точности СИ определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_n} = \pm p$$

Соответственно абсолютная погрешность манометров классов точности: 1,5; 1,0 и 0,6 равна:

$$\Delta_{1,5} = (1,5/100)6 = 0,09 \text{ МПа}$$

$$\Delta_{1,0} = (1,0/100)6 = 0,06 \text{ МПа}$$

$$\Delta_{0,6} = (0,6/100)6 = 0,036 \text{ МПа}$$

4. ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешность средств измерений является составляющей погрешности измерения. Кроме того известно, что погрешности измерений Δ определяются, главным образом, погрешностями средств измерений $\Delta X_{инстр}$. К средствам измерений относятся меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы.

В зависимости от способа выражения различают *абсолютную, относительную и приведенную погрешности средств измерений.*

Абсолютная погрешность измерительного прибора ΔX_n – это разность между показанием прибора X_n и истинным (действитель-

ным) X_0 значением измеряемой величины:

$$\Delta X_n = X_n - X_0 \quad (11)$$

При этом за действительное значение физической величины при оценке погрешности рабочего средства измерений принимают показания (номинальные значения) рабочего эталона, при оценке погрешности рабочего эталона – показания (номинальные значения), полученные с помощью эталонов более высокого разряда.

Абсолютная погрешность меры – это разность между номинальным значением меры X_n и истинным (действительным) X_0 воспроизводимой ею величины, т. е.

$$\Delta X_{\text{меры}} = X_n - X_0 \quad (12)$$

где $\Delta X_{\text{меры}}$ – абсолютная погрешность меры;

X_n – номинальное значение меры;

X_0 – действительное значение воспроизводимой мерой величины.

Пример. Погрешность меры длины (линейки) с номинальным значением 100 мм и действительным значением 100,0006 мм равна 0,6 мкм; погрешность меры сопротивления с номинальным значением 1 Ом и действительным значением 1,0001 Ом равна 0,0001 Ом.

Относительная погрешность меры или измерительного прибора (δ_n) – это отношение абсолютной погрешности меры или измерительного прибора к истинному (действительному) значению воспроизводимой или измеряемой величины.

Относительная погрешность меры или измерительного прибора, в процентах, может быть выражена как:

$$\delta_n = \pm \frac{\Delta X_n}{X_0} \cdot 100 \quad (13)$$

Приведенная погрешность γ меры или измерительного прибора (γ) – это отношение абсолютной погрешности измерительного прибора ΔX_n к нормирующему значению. Приведенную погрешность обычно выражают в процентах:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta X_n}{X_N} \times 100\% \quad (14)$$

где X_N – нормирующее значение – это условно принятое значение

ние, равное верхнему пределу измерений (или диапазону измерений, или длине шкалы).

Пример. Определить абсолютную, относительную и приведенную погрешности амперметра с диапазоном измерения 0–15 А при показании его $X_{\Pi} = 12$ А и действительном значении измеряемой силы тока $X_{\text{д}} = 12,6$ А. За нормирующее значение примем верхний предел измерения $X_N = 15$ А.

Абсолютная погрешность амперметра

$$\Delta X_{\Pi} = X_{\Pi} - X_{\text{д}} = 12 - 12,6 = -0,6 \text{ А}$$

Относительная погрешность амперметра

$$\delta_{\Pi} = \pm \frac{0,6}{12} \cdot 100 = 5\%$$

Приведенная погрешность

$$\gamma = \frac{\Delta X_{\Pi}}{X_N} = \frac{0,6}{15} \cdot 100 = -4\%$$

Приведенная погрешность позволяет сравнивать по точности приборы, имеющие разные пределы точности. При характеристике погрешностей средств измерений часто пользуются понятием предела допускаемой погрешности измерений.

По характеру проявления погрешности разделяются на ***систематические и случайные погрешности***.

Систематическая погрешность средства измерения Δ_c – составляющая погрешности средства измерения, остающаяся постоянной (или же закономерно изменяющейся) при повторных измерениях одной и той же величины. *Например, неточное нанесение отметок на шкалу стрелочного прибора, деформация стрелки, неуравновешенность деталей средства измерений относительно их оси вращения, погрешность градуировки или небольшой сдвиг шкалы и др.*

Если систематическая погрешность известна, то ее исключают из результатов разными способами или вносят соответствующие поправки.

Случайной погрешностью Δ^0 средства измерения называется составляющая погрешности, изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Она возникает в результате влияния на средства измерений таких случайных факторов как вибрация, наличие электромагнитных полей, трение в опорах подвижной части прибора и др. Они не могут быть исключены опытным путем. Для учета случайных погрешностей одну и ту же величину

ну измеряют много раз данным средством измерений. К полученному ряду значений применимы теории вероятности и математической статистики, на основании которых оценивается случайная составляющая погрешности средств измерений.

По источнику возникновения инструментальные погрешности можно разделить на: инструментальные погрешности 1 и инструментальные погрешности 2.

Инструментальные погрешности 1 – инструментальные погрешности, являющиеся следствием несовершенства или неправильности технологии изготовления средств измерений. Это погрешности, возникшие в результате неточности нанесения отметок шкалы, так называемые погрешности градуировки. В тех случаях, когда деления шкалы строго равномерны, как, например, в устройствах для измерения длины, отметки на шкалы наносятся механически при помощи соответствующих приспособлений. Несовершенство конструкции, износ или неисправности этих приспособлений могут привести к тому, что некоторые или все отметки окажутся смещенными в ту или иную сторону. При этом в процессе измерения результаты всегда будут содержать одну и ту же погрешность. В последнее время стремятся изготавливать печатные шкалы (типографским, фотографическим и другими способами) не только для средств измерений массового выпуска, но и для более точных. В этом случае при конструировании предусматривают способы регулирования средств измерений, позволяющие «подогнать» их показания к шкале.

Инструментальные погрешности 2 – инструментальные погрешности, являющиеся следствием износа, старения или неисправности средств измерений. Типичным примером в этом отношении являются гири. Их износ всегда идет в одном направлении – постепенно уменьшается их масса. Другим примером являются концевые меры длины – плитки. В процессе эксплуатации и при ремонтах их размер постепенно уменьшается. Плитками пользуются до тех пор, пока их размер не достигнет установленного для них предела, после чего их или переводят в другой класс, или переаттестовывают, или, наконец, изымают из применения в качестве мер. Причиной появления систематических погрешностей является деформация или коррозия деталей измерительного механизма, неисправности измерительного устройства вследствие его перегрузки.

По условиям применения средств измерений различают *основную* Δ_0 и *дополнительную* Δ_0 *погрешности*.

Погрешность средств измерений, определяемую для работающих в нормальных условиях, называют *основной погрешностью*. Нормальными условиями принято считать условия, когда температура окружающего воздуха $t = (20 \pm 5) \text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность $W = 30 - 80 \%$, атмосферное давление $P = 630 - 795 \text{ мм рт. ст.}$, напряжение питающей сети ($U = (220 \pm 4,4) \text{ В}$), частота питающей сети $f = (50 \pm 0,5) \text{ Гц}$. Такие условия выдерживаются в лабораторных условиях при градуировке средств измерений. Основная инструментальная погрешность находится по классу точности средства измерений.

Дополнительная погрешность обуславливается отклонением одной или нескольких влияющих величин от нормального значения. Например, изменение температуры окружающей среды, изменение влажности, колебания напряжения питающей сети. Значение дополнительной погрешности нормируется и указывается в технической документации на средства измерения.

Влияющая величина – это такая физическая величина β , которая не измеряется в данном эксперименте, но влияет на результат измерения или преобразования. Например, в эксперименте по измерению тока в электрической цепи некоторые другие физические величины (температура окружающей среды, атмосферное давление, относительная влажность воздуха, электрические и магнитные поля, напряжение питания средства измерений) являются влияющими величинами. Конечно, если мы измеряем температуру окружающей среды, то температура в данном эксперименте есть измеряемая величина.

Так же, как основная, дополнительная погрешность нормируется путем указания коэффициентов влияния изменения отдельных влияющих величин на изменение показаний в виде:

$$\alpha = \frac{1,5\%}{10^{\circ}\text{C}}, \quad \alpha = \frac{0,5\%}{10\%} U_{\text{пит}}$$

Класс точности – это обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на их точность, значения которых устанавливаются стандартами на отдельные виды средств измерений.

Основой для присвоения измерительным приборам того

или иного класса точности является допускаемая основная погрешность и способ ее выражения. Пределы допускаемой основной погрешности выражают в форме приведенной, относительной или абсолютной погрешностей. Форма зависит от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений, а также от условий применения и назначения средств измерений конкретного вида.

В зависимости от условий и режимов измерения различают *статические и динамические погрешности*.

Статической $\Delta_{ст}$ называют погрешность, не зависящую от скорости изменения измеряемой величины во времени, т. е. погрешность средства измерений, применяемого при измерении физической величины, принимаемую за неизменную.

Динамической $\Delta_{дин}$ называют погрешность средства измерений, возникающую при измерении изменяющейся (в процессе измерений) физической величины. Динамическая погрешность обусловлена инерционностью элементов измерительной цепи средства измерения. Предположение о статической модели объекта (без имеющихся на то оснований) может привести к большим ошибкам. Инерционность прибора при быстроменяющихся входных сигналах рождает динамическую погрешность результата измерения, а иногда и просто приводит к невозможности определить результат. *Например: магнитоэлектрический амперметр не в состоянии зафиксировать кратковременный (длительностью менее 1 с) импульс тока.*

В зависимости от входной величины различают *аддитивные и мультипликативные погрешности*.

Аддитивной погрешностью $\Delta_{ад}$ называется погрешность, постоянная в каждой точке шкалы и не зависящая от модуля измеряемой величины (рисунок 1, а). К аддитивным погрешностям средств измерений можно отнести погрешности, вызванные трением в опорах электроизмерительных приборов, погрешность дискретности (квантования) в цифровых приборах.

Мультипликативной погрешностью $\Delta_{мт}$ называется погрешность, линейно возрастающая или убывающая с ростом измеряемой величины (рисунок 1, б). Причиной возникновения мультипликативной погрешности обычно является изменение коэффициентов преобразования отдельных элементов и узлов измерительных устройств.

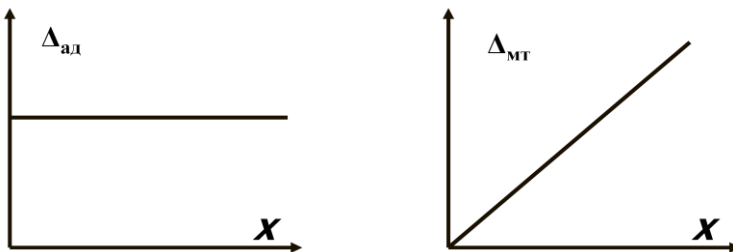


Рисунок 1 – Аддитивная (а) и мультипликативная (б) погрешности.

Эти погрешности применимы как к случайным, так и к систематическим погрешностям.

5. ПОГРЕШНОСТЬ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ОДНОКРАТНЫМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ

Прямые однократные измерения являются основным видом технических измерений и проводятся в том случае, когда ожидается пренебрежимо малая (по сравнению с инструментальной) случайная погрешность. При однократных измерениях за измеренное значение величины следует принять результат одного измерения.

Методика обработки результатов прямых однократных измерений приведена в рекомендациях Р 50.2.038-2004 [5]. Результат прямых однократных измерений должен записываться в соответствии с рекомендациями МИ 1317-2004 [3]. При прямых однократных измерениях исправными средствами точность оценивают пределами допускаемой основной и дополнительной погрешностей и результат представляют в форме интервальной оценки:

$$x_{\text{п}} \pm \Delta; P \quad (15)$$

где $x_{\text{п}}$ – показание прибора;

Δ и P – пределы допускаемой основной и дополнительной абсолютных погрешностей измерения и вероятность ее оценки.

Погрешность прямого измерения с однократным наблюдением Δ в общем случае равна:

$$\Delta = \Delta_{\text{инстр}} + \Delta_{\text{мет}} + \Delta_{\text{отс.}} \quad (16)$$

где $\Delta_{\text{инстр}}$ – инструментальная погрешность;

$\Delta_{\text{мет}}$ – методическая погрешность;

$\Delta_{\text{отс.}}$ – погрешность отсчитывания.

Согласно ГОСТ 8.009-84 [6] различают четыре составляющих погрешности средств измерений (**инструментальная погрешность $\Delta_{\text{инстр}}$**):

1. Основная Δ_0 ;
2. Дополнительная $\Delta_{\text{д}}$;
3. Динамическая $\Delta_{\text{дин}}$;
4. Обусловленная взаимодействием средств измерения и объекта измерения $\Delta_{\text{вз}}$, т.е.

$$\Delta_{\text{инстр}} = \Delta_0 + \Delta_{\text{д}} + \Delta_{\text{дин.}} + \Delta_{\text{вз.}} \quad (17)$$

Как уже было сказано, **основная инструментальная погрешность Δ_0** находится по классу точности средства измерений, причем для разных характеристик нормирования погрешностей средства измерений вычисления производятся по-разному:

1. Классы точности измерительных приборов, пределы допускаемой основной погрешности которых выражаются относительной погрешностью, обозначаемые числами в кружке (для манометра, относительная основная погрешность которого не превышает $\pm 1,5\%$, класс точности $\textcircled{1,5}$.

Если класс точности прибора указан в виде одного числа q (в кружке), предел допускаемой основной относительной погрешности результата равен:

$$\delta = \frac{\Delta_0}{x} \times 100\% = q, \% \quad (18)$$

где Δ_0 – абсолютная погрешность;

x – отсчет измеряемой величины.

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности результата измерений

$$\Delta_0 = \frac{qx}{100} \quad (19)$$

2. Классы точности измерительных приборов, пределы допус-

каемой основной погрешности которых выражаются в процентах от нормирующего значения, определяемого длиной шкалы, одним числом p (без кружка) например 1,5. Тогда предел допускаемой основной абсолютной погрешности результата измерений

$$\Delta_0 = \frac{px_N}{100} \quad (20)$$

где x_N – нормирующее значение, которое принимается равным:

а) конечному значению рабочей части шкалы – для приборов с равномерной и степенной шкалами, нулевая отметка которых находится на краю или вне шкалы;

б) арифметической сумме конечных значений рабочей части шкалы (без учёта знака) – для приборов с равномерной и степенной шкалами, нулевая отметка которых находится внутри рабочей части шкалы;

в) всей длине шкалы – для приборов с логарифмической или гиперболической шкалами;

г) для мер – их номинальному значению.

Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения:

$$\delta = \frac{\Delta_0}{x} \times 100\% = p \times \frac{x_N}{x}, \% \quad (21)$$

т.е. в этом случае при измерении, кроме отсчета измеряемой величины x , обязательно должен быть зафиксирован и предел измерения x_K , иначе впоследствии нельзя будет вычислить погрешность результата.

Так, при измерении манометрическим термометром со шкалой 0...150°C ($X_N=150^\circ\text{C}$) класса точности 2,5 основная абсолютная погрешность на любой отметке шкалы термометра не превышает по модулю $\Delta_{\Pi} = \pm 2,5 X_N/100 = \pm (2,5 \cdot 150)/100 = 3,75^\circ\text{C}$.

3. Класс точности прибора указан двумя числами в виде c/d .

В этом случае удобнее сначала вычислить предел допускаемой основной относительной погрешности результата по формуле

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{x_N}{x} - 1 \right) \right], \% \quad (22)$$

где δ – пределы допускаемой относительной основной погреш-

ности, %;

x_k – больший (по модулю) из пределов измерений;

$x_{п}$ – показание (без учета знака) прибора или номинальное значение меры;

c и d – положительные числа, отображающие погрешность в относительных значениях, %;

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности

$$\Delta_0 = \delta \times \frac{x}{100} \quad (23)$$

4. Класс точности прибора указан римской цифрой или латинской буквой. Тогда предел допускаемой основной абсолютной погрешности по документации

$$\Delta_0 = \pm a \text{ или } \Delta_0 = \pm(a + bx) \quad (24)$$

Для средств измерений длин и углов, мер масс и т. п. пределы допускаемой основной погрешности которых принято выражать в форме абсолютных погрешностей (или относительных погрешностей, установленных в виде таблицы, графика), классы точности обозначают прописными буквами латинского алфавита или римскими цифрами. Классы точности, которым соответствуют меньшие пределы допускаемых погрешностей, изображают буквами, находящимися ближе к началу алфавита, или цифрами, обозначающими меньшие числа (плоскопараллельные концевые меры длины выпускаются классов точности 0, 1, 2, 3. Высший класс точности -0, низший -3).

5. Для нормирования пределов допускаемых основных погрешностей использованы специальные формулы.

Некоторые средства измерений не могут быть нормированы путем указания класса точности, т.к. имеют сложный вид полосы погрешностей. ГОСТ 8.401-80 [7] разрешает использовать так называемые специальные формулы нормирования погрешностей. В этих случаях необходимо внимательно изучать документацию на соответствующий прибор.

Дополнительные погрешности Δ_d , возникающие вследствие влияния внешних величин. Это могут быть тепловые и воздушные потоки, магнитные и электрические поля, изменения атмосферного давления, слишком высокая влажность воздуха; вибрации, часто

не ощущаемые человеком. Помехи могут создаваться рентгеновскими аппаратами, ионизирующими излучениями и т. п.

Динамическая составляющая погрешности $\Delta_{дин}$. Возникает в тех случаях, когда информативный параметр сигнала изменяется во времени, а инерционные свойства средства измерений не позволяет его точно измерить. При статических измерениях $\Delta_{дин} = 0$.

Погрешность от взаимодействия средства измерений с объектом измерения $\Delta_{вз}$ зависит от свойств средства измерений и объекта.

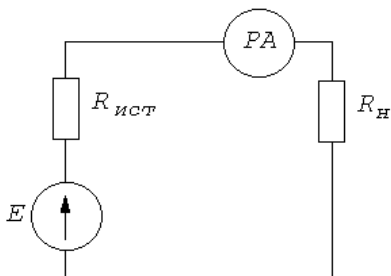


Рисунок 2 – Влияние амперметра на ток в цепи.

При измерениях тока амперметрами также возникает погрешность взаимодействия (рисунок 2). Амперметр имеет малое, но не нулевое внутреннее сопротивление R_A , и при включении его в цепь ток в ней несколько уменьшается. Если пренебречь малым значением внутреннего сопротивления $R_{ист}$ источника E , считая, что оно гораздо меньше сопротивления нагрузки R_n ($R_{ист} \ll R_n$), то можно говорить о том, что ток в цепи с включенным амперметром определяется отношением значения ЭДС к сумме сопротивлений нагрузки R_n и амперметра R_A . А действительное значение тока I_0 в замкнутой цепи без амперметра определяется только сопротивлением нагрузки R_n :

$$I = E / (R_n + R_A); I_0 = E / R_n,$$

Разница между значениями токов ($I - I_0$) и есть погрешность взаимодействия $\Delta_{вз}$ прибора и объекта исследования в данном случае. Абсолютное и относительные значения погрешности взаимодействия равны соответственно:

$$\Delta_{вз} = I - I_0 \approx -ER_A/R_n^2;$$

$$\Delta_{вз} \approx -R_A/R_n \times 100.$$

Методическая составляющая погрешности измерения Δ_M

обусловлена несовершенством метода измерения. Выявление источников и характера поведения методических погрешностей может быть выполнено тщательным анализом принятого в конкретном эксперименте метода измерения.

Погрешность отсчитывания $\Delta_{отс}$ в средствах измерений с цифровым отсчётным устройством не превышает одного кванта шкалы и включается в состав основной погрешности Δ_o , а в средства измерения с аналоговым отсчётным устройством не включается. Ее предельное значение для аналоговых приборов определяется формулой

$$\Delta_{отс.л.} = \pm k \times (ЦД) \quad (25)$$

где k – коэффициент, значение которого зависит от того, до каких долей деления производится округление при отсчете (если до половины, то $k=0,5$; если до десятой доли, то $k=0,1$ и т. д.).

По нормируемым метрологическим характеристикам, которыми характеризуются средства измерений, можно определить только предельные значения составляющих Δ_n погрешности измерения Δ (см. формулу 1), т. е. такие, для которых с вероятностью $P=1$ можно считать, что действительные значения этих составляющих Δ_i не превосходят Δ_n .

Если значения всех Δ_n двузначны и симметричны, то модуль предельного значения погрешности измерения находится путем арифметического суммирования модулей составляющих

$$|\Delta_n| = \sum_{i=1}^n |\Delta_i| \quad (26)$$

Результат измерения представляется в виде:

$$x \pm \Delta_n; P=1 \quad \text{или} \quad x - \Delta_n < x < x + \Delta_n, P=1, \quad (27)$$

6. ПОГРЕШНОСТИ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С МНОГОКРАТНЫМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ

Многократные измерения проводятся с целью уменьшения влияния случайных погрешностей на результат измерения. При многократных измерениях за измеренное значение величины принимается среднее арифметическое из всех полученных отдельных измерений. Ниже приведен порядок обработки результатов многократных измерений, когда заранее известно, что закон распределения опытных данных нормальный. Количество опытных данных в этом случае должно быть $n \geq 4$.

При статистической обработке результатов наблюдений вначале необходимо **исключить систематические погрешности из результатов наблюдений**. Чем меньше систематические погрешности, тем выше точность и правильнее результат измерения. От систематических погрешностей освобождаются, устраняя источники их возникновения до начала измерений, исключая их в процессе измерения, внося вычисленные поправки в результат измерения. Для этого необходимо правильно выбирать метод измерения, внимательно устанавливать и настраивать измерительные средства в соответствии с инструкцией предприятия-изготовителя, а измерения проводить тщательно и в соответствующих условиях. Исключение систематических погрешностей в процессе измерения осуществляют способами замещения, компенсации погрешностей по знаку, противопоставления и симметричных наблюдений. Для этих способов характерно проведение повторных измерений, поэтому они применимы при измерениях стабильных величин и параметров. Обработка результатов в этом случае ведется по формулам ГОСТ Р 8.736-2011 [4]:

1) Пусть x_i – результат i -го измерения ($i = 1, 2, \dots, n$). В качестве истинного значения при многократных измерениях выступает среднее арифметическое значение $\overline{x}$. Среднее арифметическое $\overline{x}$ принимается за результат измерений и вычисляется по формуле:

$$x_u \approx \overline{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (28)$$

где x_i – результат наблюдения;

n – число единичных наблюдений.

Если во всех результатах содержится постоянная систематическая погрешность, допускается исключать ее после вычисления среднего арифметического неисправленных результатов наблюдений.

2) Для оценки разброса значений вычисляют случайные отклонения результатов наблюдений от среднего:

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x} \quad (29)$$

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу 1.

Таблица 1 – Исходные данные и результаты обработки наблюдений

Номер наблюдения	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	x_1	$x_1 - \bar{x}$	$(x_1 - \bar{x})^2$
2	x_2	$x_2 - \bar{x}$	$(x_2 - \bar{x})^2$
...	...	...	...
n	x_n	$x_n - \bar{x}$	$(x_n - \bar{x})^2$
	$\sum_{i=1}^n x_i$	$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})$	$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$

Примечание: Правильность вычислений случайных отклонений проверяют, определяя: близка ли к нулю их алгебраическая сумма.

1) Затем вычисляют оценку среднеквадратического отклонения (среднеквадратической погрешности) результата наблюдения как

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} = \sqrt{\frac{\Delta x_i^2}{n-1}} \quad (30)$$

Среднее квадратическое отклонение – параметр функции распределения измеренных значений или показаний, характеризующий их рассеивание и равный положительному корню квадратному из дисперсии этого распределения [1].

2) Среднее квадратическое отклонение результата измерений

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / [n \cdot (n-1)]} \quad (31)$$

3) Доверительный интервал Е случайной погрешности результата при заданной вероятности Рд по формуле

$$E = \pm t_{(p,n)} \cdot \sigma_{\bar{x}}$$

где $t_{(p,n)}$ – квантиль распределения Стьюдента, определяемый по таблице 2 по доверительной вероятности P_0 и числу измерений n .

В таблице 2 приведены квантили распределения Стьюдента $|t(n)|_{P_0}$.

Таблица 2 – Квантили распределения Стьюдента $|t(n)|_{P_0}$.

Число измерений n	Доверительная вероятность Рд					
	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	3,08	6,31	12,71	31,80	63,70	636,60
3	1,89	2,92	4,30	6,96	9,92	31,60
4	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84	12,94
5	1,53	2,13	2,77	3,75	4,60	8,61
6	1,48	2,02	2,57	3,36	4,03	6,86
7	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
8	1,42	1,90	2,36	3,00	3,50	5,40
9	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
10	1,38	1,83	2,28	2,82	3,25	4,78
11		1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
12		1,80	2,20	2,72	3,11	4,44
13		1,78	2,18	2,68	3,06	4,32
14		1,77	2,16	2,65	3,01	4,22
15		1,76	2,15	2,62	2,98	4,14
16		1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
17		1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
18		1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
19		1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
20		1,73	2,09	2,54	2,86	3,88

4) Результат измерений записывается следующим образом

$$X = \bar{X} \pm E; P_d \quad (33)$$

Нижняя и верхняя границы доверительного интервала

$$x_n = \bar{X} - E \quad (34)$$

$$x_b = \bar{X} + E \quad (35)$$

Искомое значение величины будет находиться между этими значениями

$$\bar{X} - E < X < \bar{X} + E, P_0 \quad (36)$$

7. ПОГРЕШНОСТИ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Практическая работа построена на использовании рекомендаций МИ 2083-90 [8].

При косвенном методе результаты, полученные прямыми измерениями, являются исходными данными для дальнейших вычислений.

Косвенные методы измерения можно разделить на два вида:

а) определяемая величина зависит от одной измеряемой величины;

б) определяемая величина зависит от нескольких измеряемых величин.

Основные выражения для вычисления абсолютной и относительной погрешностей при измерениях косвенным методом приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Формулы погрешностей косвенных измерений

Функция	Погрешности	
	абсолютная	относительная
1	2	3
Ax	$\pm Ax$	$\pm \frac{\Delta x}{x}$
$Ax+B$	$\pm Ax$	$\pm \frac{A\Delta x}{(Ax+B)}$

1	2	3
$x \pm z$	$\pm \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta z)^2}$	$\pm \frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta z)^2}}{(x \pm z)}$
$x+y+z$	$\pm \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$	$\pm \frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}}{(x + y + z)}$
x/z	$\pm \sqrt{\frac{z^2(\Delta x)^2 + x^2(\Delta z)^2}{z^4}}$	$\pm \sqrt{(\Delta x/x)^2 + (\Delta z/z)^2}$
xz	$\pm \sqrt{z^2(\Delta x)^2 + x^2(\Delta z)^2}$	$\pm \sqrt{(\Delta x/x)^2 + (\Delta z/z)^2}$
x^n	$\pm n x^{n-1} \Delta x$	$\pm \frac{n \Delta x}{x}$
$\sqrt[n]{x}$	$\pm \frac{1}{n} x^{\frac{1}{n}-1} \Delta x$	$\pm \frac{1}{n} \times \frac{\Delta x}{x}$

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

8.1. Прочитать I–VII разделы данных методических указаний и ответить на контрольные вопросы.

8.2. Выполнить задание 1 по разделу 5 «Погрешности прямых измерений с однократными наблюдениями» по исходным данным своего варианта Приложения, принимая во внимание, что номер варианта соответствует номеру студента в списке группы.

Таким образом, исходными данными для выполнения 1 задания будут:

- Прибор
- Класс точности
- Предел
- Цена деления
- Показание

Погрешность прямых измерений с однократными наблюдениями Δ определяется по формуле (16).

Инструментальная погрешность, входящая в формулу, определяется выражением (17).

Для определения основной погрешности Δ_o в методических указаниях приведено несколько формул (18)–(24) в зависимости от способа задания класса точности. Поэтому каждый студент исходя из исходных данных должен выбрать требуемую формулу.

Исходными данными для выполнения 1 задания указаны цифровые приборы. А погрешность отсчитывания $\Delta_{отс}$ в которых определяется по формуле (25).

По исходным данным и приведенным рекомендациям определите результаты измерений, считая $\Delta_M=0$, $\Delta_o=0$, $\Delta_{\text{вз}}=0$, $\Delta_{отс.n} \neq 0$ ($k=0,25$), статические измерения.

Результат измерения представить в виде (27)

При записи результата измерения пользуются следующими правилами округления:

1) погрешность результата измерения указывается двумя значащими цифрами, если первая из них равна 1 или 2, и одной – если первая есть 3 и более;

2) результат измерения округляется до того же десятичного разряда, которым оканчивается округленное значение абсолютной погрешности;

3) округление производится лишь в окончательном ответе, а все предварительные вычисления проводят с одним–двумя лишними знаками.

8.3. Выполнить задание 2 по разделу 6 «Погрешности прямых измерений с многократными наблюдениями» по исходным данным своего варианта Приложения, принимая во внимание, что номер варианта соответствует номеру студента в списке группы.

Таким образом, исходными данными для выполнения 2 задания будут:

Прибор	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
--------	-------	-------	-------	-------	-------

При прямых измерениях с многократными наблюдениями вид физической величины определяется прибором, указанным в задании.

При расчетах необходимо использовать формулы (28)–(36). Расчеты произвести для числа измерений $n=5$ и при двух доверительных вероятностях $P_{o1}=0,8$ и $P_{o2}=0,98$.

8.4. Выполнить задание 3 по разделу 7 «Погрешности косвенных измерений» по исходным данным своего варианта Приложения, при-

нимая во внимание, что номер варианта соответствует номеру студента в списке группы.

Таким образом, исходными данными для выполнения 3 задания будут:

1. Прибор
2. Класс точности
3. Предел
4. Показание
5. Определяемая величина

При косвенных измерениях определяется величина, указанная в колонке 17.

При определении погрешности косвенных измерений необходимо кроме исходных данных, указанных в колонках 13–16 учитывать исходные данные по 1 заданию, т. е. паспортные данные приборов колонок 2–6 Приложения.

Необходимо при вычислении абсолютной и относительной погрешностей воспользоваться формулами таблицы 3 и порядком вычисления погрешностей прямых измерений с однократными наблюдениями, указанном в 1 задании.

9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается отличие погрешности измерения от погрешности средства измерения?
2. Что называется погрешностью измерения?
3. Чем отличаются рабочие условия применения средства измерений от нормальных?
4. Что такое основные и дополнительные погрешности?
5. Что такое абсолютная погрешность измерений?
6. Что такое относительная погрешность измерений?
7. Что такое приведенная погрешность? Для каких целей она рассчитывается?
8. Как определяются абсолютная, относительная и приведенная погрешности?
9. Что такое инструментальная погрешность средства измерения?
10. Что такое класс точности средства измерений?

11. Какие существуют варианты условных обозначений классов точности СИ?
12. Что такое методическая погрешность?
13. Что такое аддитивная и мультипликативная погрешности средства измерений?
14. Что такое промах?
15. Что такое погрешности отсчитывания, интерполяции, параллакса?
16. Что такое систематическая и случайная погрешности измерений?
17. Как можно исключить систематическую погрешность?
18. Как можно уменьшить случайную составляющую погрешности измерения?
19. От каких факторов зависит погрешность от взаимодействия средства измерений с объектом измерения?
20. В каком виде представляется результат измерения?

ЛИТЕРАТУРА

1. РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения
2. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 N 102
3. МИ 1317-2004 ГСИ. Результаты и характеристики погрешностей измерений. Формы представления. Способы использования при испытании образцов продукции и контроля их параметров.
4. ГОСТ Р 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения
5. Р 50.2.038-2004. ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценка погрешностей и неопределенности результата измерений
6. ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
7. 8.401-80 ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования
8. МИ 2083-90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица – Исходные данные

Вариант	Вид измерений															
	Прямые с однократными повторениями					Прямые с многократными повторениями						Косвенные				
	Прибор	Класс точности	Предел	Цена деления	Показание	Прибор	Показания					Прибор	Класс точности	Предел	Показание	Определяемая величина
							x_1	x_2	x_3	x_4	x_5					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	V	1,5	150	1	100	A	10,1	9,95	9,9	10,05	10	A	1,5	2,5	2	R
2	A	1,5	2,5	0,025	2	V	100,5	100	100,25	99,5	99,8	V	2,5	250	200	R
3	mA	1,5	50	10	25	W	30	27,5	32,5	33	28	V	1,5	150	1	R
4	mV	1,5	100	1	80	Hz	51	50	52	50,5	49	mV	2,5	300	60	U_1-U_2
5	V	1,5	150	5	100	Ω	38	40	42	39	41	V	1,5	300	80	U_1-U_2
6	mV	1,5	500	10	250	φ	30	28	32	29	31	mA	2,5	10	5	R
7	μV	1,5	100	2	80	M Ω	1	0,95	0,94	1,05	1,03	μV	2,5	150	50	U_1+U_2
8	A	1,5	5	0,05	2	kW	0,51	0,5	0,49	0,5	0,49	A	1,5	10	4	I_1+I_2
9	mA	1,5	50	5	40	mA	2,5	2,4	2,6	2,7	2,3	mV	0,5	100	60	R
10	μA	1,5	100	2	80	μA	65	66	64	67	65	μV	0,5	50	40	R
11	V	0,5	50	2,5	25	kA	42	40	41	39	41	A	1,5	5	2	R
12	mV	0,5	150	5	100	kV	10	9,9	10,5	11	9,8	mV	1,5	100	50	U_1+U_2
13	μV	0,5	200	10	150	μV	71	69	72	68	69	μA	1,5	50	30	R
14	A	0,5	10	0,5	4	A	99	98	100	101	100	V	1,5	250	220	R
15	μA	0,5	150	5	100	V	72	74	76	75	73	mA	1,5	500	250	I_1+I_2

Продолжение таблицы

16	μA	0,5	150	5	80	W	150	145	155	145,	152,	μA	1,5	500	50	I ₁ -I ₂
17	V	0,5	150	5	50	Hz	60	58	61	5	5	A	1,5	100	25	P
18	mV	0,5	50	5	30	Ω	100	98	96	62	59	mA	1,5	100	20	P
19	μV	0,5	500	10	300	φ	30	31	29	102	101	μA	0,5	100	60	P
20	A	0,5	100	5	40	MΩ	2	1,9	2,1	28	32	V	1,5	250	75	R
										1,8	2,2					
21	mA	0,5	500	10	300	kW	0,2	0,18	0,19	0,21	0,22	mV	1,5	150	100	R
22	μA	0,5	500	10	300	mA	10	9,8	10,2	10,1	9,9	μV	1,5	300	150	R
23	V	2,5	250	10	150	μA	98	100	102	106	104	A	1,5	400	200	P
24	mV	2,5	100	5	80	kA	40	39	41	38	38	mA	0,5	50	30	P
25	μV	2,5	10	1	5	kV	110	112	108	109	111	μA	0,5	500	50	P

V – вольтметр;

A – амперметр;

kA – килоамперметр;

kV – киловольтметр;

mA – миллиамперметр;

mV – милливольтметр;

μA – микроамперметр;

μV – микровольтметр

Примечание:

W – ваттметр;

kW – киловаттметр;

Hz – частотомер;

φ – фазометр;

Ω – омметр;

MΩ – мегомметр;

Составитель
Леонид Федорович Кожухов

Рецензент
Игорь Викторович Мирошин

ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Методические указания к практическим занятиям
по дисциплинам «Метрология, стандартизация,
сертификация и техническое документоведение»
и «Метрология, стандартизация и сертификация»
для студентов СПО всех специальностей

Электронный ресурс

Сверстано в филиале КузГТУ в г. Прокопьевске.
653039, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а.

Заказ 315.