

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра технологии металлов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Методические указания к практической работе
по дисциплинам «**Метрология, стандартизация и сертификация
в горном деле**» для студентов направления подготовки
21.05.04 (130400.65) «Горное дело»; «**Метрология, стандартизация
и сертификация**» для студентов направления подготовки
20.03.01 (280700.62) «Техносферная безопасность»;
«**Метрология и сертификация**» для студентов направления подготовки
27.03.02 (221400.62) «Управление качеством»
очной формы обучения

Составитель Д. М. Дубинкин

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 14 от 15.04.2015

Рекомендованы к изданию
учебно-методической комиссией
направления 27.03.02 (221400.62)
Протокол № 46 от 16.04.2015

Электронная копия находится
в библиотеке КузГТУ

КЕМЕРОВО 2015

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с общими положениями по теории погрешностей. Изучить показатели качества измерений, точность записи результатов измерений, классы точности средств измерений, методы определения и учета погрешностей при физических измерениях. Практически закрепить методы определения и учета погрешностей при физических измерениях

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При практическом использовании тех или иных результатов измерений важно оценить их точность. Термин «точность измерений», т.е. степень приближения результатов измерения к некоторому истинному значению, используется для качественного сравнения измерительных операций. Для количественной оценки применяется понятие «погрешность измерений»; чем меньше погрешность, тем выше точность. Качество средств и результатов измерений характеризуют, указывая их погрешности.

Погрешность измерений – разность между результатом измерений и истинным значением измеряемой величины.

Результат измерения – значение величины, полученное путем ее измерения. Результат измерения представляет собой приближенную оценку истинного значения физической величины.

Истинное значение физической величины – это значение ФВ, которое идеальным образом характеризует в количественном и качественном отношении соответствующую ФВ.

Действительное значение физической величины – значение ФВ, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

Погрешность результата измерения (погрешность измерения) – отклонение результата измерения (X_i) от истинного (действительного) значения (Q) измеряемой величины:

$$\Delta = X_i - Q \quad (1)$$

Погрешность указывает границы неопределенности значения измеряемой величины. Истинное значение применяют при решении теоретических задач метрологии. На практике пользуются действительным значением величины. За действительное значение при однократных измерениях часто принимают значение, полученное с помощью более точного, эталонного средства измерений (СИ), при многократных измерениях – среднее арифметическое ряда отдельных измерений (показаний), входящих в данный ряд.

Погрешностью СИ называется разность между показанием СИ (значением величины, полученным при помощи этого СИ) и истинным (действительным) значением измеряемой величины.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

1. В зависимости от условий применения СИ погрешности делят на основную и дополнительную погрешность.

Основная погрешность – составляющая погрешности измерения, которой обладает СИ в нормальных условиях эксплуатации.

Дополнительная погрешность – погрешность СИ при отклонении условий измерений от нормальных.

Такие погрешности СИ указывают в его паспорте. В тех случаях, когда паспорта нет, оценить погрешность можно, зная класс точности СИ.

2. В зависимости от слагаемых процесса измерения погрешности делят на: погрешность меры; погрешность преобразования; погрешность сравнения измеряемой величины с мерой; погрешность фиксации результатов измерения.

Погрешность меры – разность между номинальным значением меры и действительным значением воспроизводимой ею величины.

Погрешность (или нелинейность) преобразования указывает в паспортных данных СИ, определяется как абсолютное отклонение точек характеристики преобразования от прямой. Погрешность преобразования получают из построенной характеристики преобразования, если нанести на нее прямую линию, соединяющую последнюю точку характеристики с началом координат.

3. В зависимости от характера проявления погрешности делят на: систематические погрешности, случайные погрешности, грубые погрешности.

Систематические погрешности – составляющие погрешности, которые при повторных измерениях одной и той же ФВ остаются постоянными, или изменяются по определенному закону. В зависимости от причины возникновения делятся на: методические, аппаратные, субъективные, внешние и погрешности измерения.

Методические погрешности – возникают из-за несовершенства метода измерения (например – косвенное измерение сопротивления методом амперметра-вольтметра), неточности формул, используемых при вычислениях, ошибок округления или неполным знанием особенностей изучаемых явлений.

Аппаратурные (инструментальные) погрешности – возникают из-за несовершенства СИ, т.е. обусловлены погрешностями применяемых СИ.

Субъективные погрешности (личные) – связаны с индивидуальными особенностями наблюдателя и возникают вследствие несовершенства органов чувств человека.

Внешние погрешности, зависящие от условий проведения измерений, т.е. от отклонения влияющих величин от нормальных значений.

Погрешности измерения – возникают из-за изменения условий измерения, являются следствием неучтенного влияния отклонения от нормы какого-либо из параметров, характеризующих условия измерения (влияние температуры, магнитных полей, вибрации, неправильной установки СИ).

Случайные погрешности – составляющие погрешности, которые при повторных измерениях одной и той же ФВ изменяются случайным образом.

Грубые погрешности – составляющие погрешности, которые существенно превышают ожидаемые.

4. По форме представления погрешности, а также в зависимости от способа математического выражения, бывают абсолютные, относительные и приведенные:

Абсолютная погрешность – разница между результатом измерения (X_i) и истинным (действительным) значением Q измеряемой величины (см. формулу 1).

Относительная погрешность (δ) – отношение абсолютной погрешности измерения (Δ) к действительному значению измеряемой величины (Q). Выражается в процентах и определяется:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{Q} \cdot 100\% = \pm \frac{X_i - Q}{Q} \cdot 100\% \quad (2)$$

Приведенная погрешность (γ) – погрешность, в которой абсолютная погрешность СИ отнесена к нормирующему значению (X_N), постоянному во всем диапазоне измерений или его части:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} = \frac{X_i - Q}{X_N}, \quad (3)$$

где X_N – нормирующее значение ($X_N = X_{\max}$).

За нормирующее значение принимают верхний предел измерений (X_{\max}) данного СИ. Таким образом, понятие «приведенная погрешность» относится к СИ.

5. В зависимости от измеряемой величины погрешности бывают аддитивные, мультипликативные, погрешности линейности и гистерезиса.

Аддитивной погрешностью (погрешностью нуля) называется погрешность, постоянная в каждой точке шкалы. Она возникает в случае смещения реальной функции преобразования относительно номинальной на одну и ту же величину (рис. 1, а).

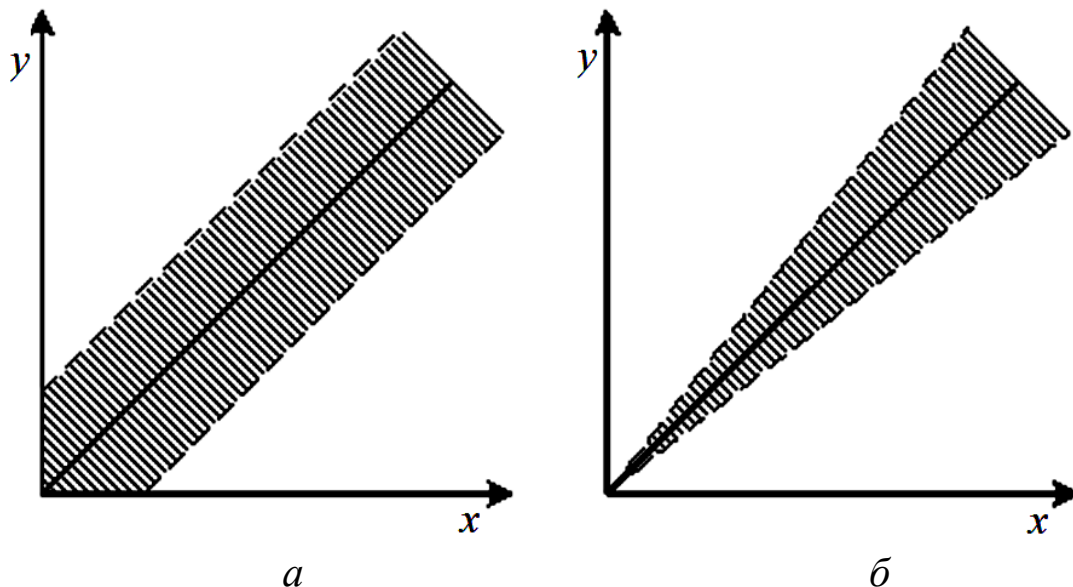


Рис. 1. Графическое изображение аддитивной (а) и мультипликативной (б) погрешностей

Мультипликативная погрешность – погрешность, линейно возрастающая или убывающая с ростом измеряемой величины (рис. 1, б). Причиной возникновения мультипликативной погрешности обычно является изменение коэффициентов преобразования отдельных элементов и узлов измерительных устройств.

Погрешность линейности – систематическая погрешность, при которой отличие реальной и линейной номинальной функций преобразования вызвано нелинейными эффектами.

Погрешность гистерезиса (погрешность обратного хода) – систематическая погрешность, выражающаяся в несовпадении реальной функции преобразования измерительного устройства при увеличении (прямой ход) и уменьшении (обратный ход) измеряемой величины.

4. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Качество измерений характеризуется такими показателями, как точность, правильность, достоверность, сходимость и воспроизводимость.

Точность результата измерений – одна из характеристик качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения. Следует отметить, что о повышении качества измерений всегда говорят термином «увеличить точность» – притом, что величина, характеризующая точность, при этом должна уменьшиться.

Точность СИ – степень совпадения показаний измерительного прибора с истинным значением измеряемой величины. Чем меньше разница, тем больше точность прибора. Точность эталона или меры характеризуется погрешностью или степенью воспроизводимости. Точность измерительного прибора, откалиброванного по эталону, всегда хуже или равна точности эталона.

Правильность измерений определяется близостью к нулю систематической погрешности, т.е. результат «исправлен» на величину систематической погрешности.

Достоверность измерений определяется степенью доверия к результату и характеризуется вероятностью того, что истинное зна-

чение измеряемой величины лежит в указанных окрестностях действительного. Эти вероятности называют доверительными, а окрестности – доверительным интервалом с доверительными границами.

Два испытания одного и того же объекта одинаковым методом не дают идентичных результатов. Объективной мерой их могут служить статистически обоснованные оценки ожидаемой близости результатов двух или более испытаний, полученных при строгом соблюдении их методики. В качестве таких статистических оценок согласованности результатов испытаний и принимаются сходимость и воспроизводимость.

Сходимость – близость результатов двух испытаний, полученных одним методом, на идентичных установках, в одной лаборатории.

Воспроизводимость – близость результатов двух испытаний, полученных одним методом, на идентичных установках, в разных лабораториях.

5. ТОЧНОСТЬ ЗАПИСИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ

Практикой обработки результатов измерительных экспериментов и задач выработаны правила округления, которые по соглашению признаются и применяются при выполнении любых измерений, в том числе технических.

Правила округления.

1. Результат любого точного измерения всегда выражается 2-мя числами: числовым значением измеряемой величины и параметром точности – результатом определения погрешности. Например: $R = 40,78 \pm 0,05$ Ом

2. В численных значениях результата и погрешности должно быть не более 2-х значащих цифр после запятой.

3. Наименьшие разряды (цифры после запятой) числовых значений результата и погрешности должны быть одинаковы. Например: $19,82 \pm 0,43$ или $19,8 \pm 0,4$

4. Лишние цифры в целых числах заменяются нулями, а в десятичных дробях – отбрасываются.

5. Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов меньше 5, то остающиеся цифры числа не изменяются. Например: 253 435

– округлить при сохранении 4-х значащих цифр. $2534 / 35$ - 3-старший разряд, $3 < 5$, $A = 253400$; $235,435$ – округлить, оставив после запятой одну цифру. $235,4 / 35$ - 3-старший, $3 < 5$, $A = 235,4$;

6. Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов больше или $= 5$, но за ней следуют отличные от 0 цифры, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на 1. Например: 18598 – округлить при сохранении 3-х значащих цифр. $185 / 98$ - 9 – старший, $9 > 5$, $8 \neq 0$, $+1$, $A = 18600$; $152,56$ – округлить до целого. $152 / 56$ - 5 - старший, $6 \neq 0$, $+1$, $A = 153$.

7. Если отбрасываемая цифра $= 5$, а следующие за ней цифры нули (или неизвестны), то последнюю сохраняемую цифру не изменяют, если она четная или увеличивают на 1, если она нечетная. Например: $22,5$ – округлить до целого. $22, / 5$, $A=22$; $23,5$ – $A=24$.

Определение числа десятичных знаков, до которого округляется результат измерений, выполняется по правилу: погрешность округляется до одной значащей цифры с завышением, а результат измерения – до числа знаков, не превышающих того, с которым записана погрешность. Это правило необходимо всегда учитывать при вычислении погрешностей.

Погрешность результата измерения ФВ должна давать представление о том, какие цифры в его числовом значении являются сомнительными. Поэтому числовое значение результата измерения должно быть представлено так, чтобы оно оканчивалось десятичным знаком того же разряда, что и значение его погрешности. Большее число разрядов не имеет смысла, так как не уменьшает неопределенности результата, а меньшее, которое может быть получено путем округления, увеличивает неопределенность результата. Поэтому погрешность результатов технических измерений нецелесообразно выражать большим числом цифр, достаточно ограничиться одной-двумя значащими цифрами, причем две цифры используются только при записи погрешности ответственных и точных измерений.

При использовании приведенных правил число значащих цифр в числовом значении результата измерения позволяет ориентировочно судить о точности измерения.

Запись результатов измерения. Результат измерения обычно записывают в виде суммы двух величин: найденного зна-

чения измеренной величины (X_i) и абсолютной (Δ) или относительной (δ) погрешности измерения, т.е.

$$X_i \pm \Delta \text{ или } X_i \pm \delta \quad (4)$$

Такая запись показывает, что истинное значение измеренной величины может отличаться от найденного значения не более чем на Δ или δ .

Поправка и доверительный интервал.

Поправка – это абсолютная погрешность, взятая с обратным знаком, которое надо прибавить к измеренному значению (X_i) с целью исключения систематической погрешности. Действительное значение величины равно

$$Q = X_i + \nabla, \quad (5)$$

отсюда поправка:

$$\nabla = Q - X_i, \quad (6)$$

а абсолютная погрешность:

$$\Delta = X_i - Q, \quad (7)$$

т.е.

$$\Delta = -\nabla \quad (8)$$

Доверительным интервалом от $-\Delta_d$ до $+\Delta_d$ называют интервал значений случайной погрешности, который с заданной доверительной вероятностью P_d накрывает истинное значение измеряемой величины (рис. 2).



Рис. 2. Границы доверительного интервала

$$X_i - \Delta_d \leq X_i \leq X_i + \Delta_d, P_d \quad (9)$$

Например, $19 \text{ A} \leq I \leq 21 \text{ A}$, $P_d = 0,95$.

Границы доверительного интервала при этом определяются по формуле

$$\Delta_d = \pm t_p \cdot S_{\bar{X}} \quad (10)$$

где t_p – коэффициент распределения Стьюдента, зависящий от задаваемой доверительной вероятности P_d и числа измерений n ;
 $S_{\bar{X}}$ – оценка среднеквадратического отклонения от среднего арифметического (оценка дисперсии погрешности результата измерений).

6. КЛАССЫ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Класс точности (КТ) – основная метрологическая характеристика прибора, определяющая допустимые значения основных и дополнительных погрешностей, влияющих на точность измерения.

КТ присваивают СИ при их разработке на основании исследований и испытаний представительной партии СИ данного типа. Обозначение КТ наносится на шкалы, щитки или корпуса приборов.

ГОСТ 8.401 устанавливает несколько способов назначения КТ. При этом пределы допускаемых погрешностей нормируют и выражают в форме абсолютных, приведенных или относительных погрешностей.

Способ выражения погрешностей зависит от характера изменения погрешности по диапазону измерений, назначения и условий применения СИ:

- если погрешность результатов измерения в данной области измерений принято выражать в единицах измерений величины или делениях шкалы, то принимается форма абсолютных погрешностей;

- если границы абсолютных погрешностей в пределах диапазона измерений практически постоянны, то принимается форма приведенной погрешности;

- если эти границы нельзя считать постоянными, то форма относительной погрешности.

1. Выражение КТ через абсолютную погрешность.

КТ на СИ, выраженный через абсолютную погрешность, обозначают прописными буквами латинского алфавита или римскими цифрами – N , III и применяется для мер, магазинов номинальных ФВ и т.п. Чем дальше буква от начала алфавита, тем более точно СИ, т.е. это число (буква) – условное обозначение и не определяет значение погрешности.

Абсолютная погрешность может выражаться:

- одним числом $\Delta = \pm a$ при неизменных границах;
- двучленом $\Delta = \pm (a + b X_i)$ при линейном изменении границ абсолютной погрешности, где Δ – пределы допускаемой абсолютной основной погрешности, выраженной в единицах измеряемой величины на входе (выходе) или условно в делениях шкалы, X_i – значение измеряемой величины на входе (выходе) СИ или число делений, отсчитанных по шкале; a, b – положительные числа, не зависящие от X_i ;
- в виде таблицы, графика функции при нелинейном изменении границ.

2. Выражение КТ через приведенную погрешность.

Класс точности через приведенную погрешность определяется по формуле и равен:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} = \pm p, \% \quad (11)$$

где p – отвлеченное положительное число, выбираемое из ряда $1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; $(1,6 \cdot 10^n)$; $2 \cdot 10^n$; $2,5 \cdot 10^n$; $(3 \cdot 10^n)$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$; ($n = 1, 0, -1, -2$, и т. д.), значения 1,6 и 3 – допускаемые, но не рекомендуемые.

Такое выражение класса точности получило наиболее широкое применение, особенно для аналоговых СИ. В этом случае КТ зависит от нормирующего значения (X_N), т.е. от шкалы СИ.

Обозначение КТ на СИ через приведенную погрешность

2.1. Класс точности указывают одним из чисел предпочтительного ряда (например, 1,5), если X_N представляется в единицах измеряемой величины (рис. 3, а). КТ 1,5 означает, что $\gamma = \pm 1,5\%$. Такое обозначение КТ используют для СИ, у которых предел допускаемой приведенной погрешности постоянен, присутствует только аддитивная погрешность. Таким способом обозначают КТ

аналоговых СИ, например, вольтметров, амперметров, ваттметров и большинства других однопредельных и многопредельных приборов с равномерной шкалой или степенной шкалой.

2.2. КТ указывают числом, под которым ставится треугольная скобка (рис. 3, б), если X_N определяется длиной шкалы и выражают в единицах длины шкалы, для измерительных приборов с неравномерной шкалой. В этом случае при измерении, кроме значения измеряемой величины, обязательно должен быть записан отсчет в единицах длины шкалы и предел X_N в этих же единицах, иначе нельзя будет вычислить погрешность результата. Таким способом обозначают класс точности омметров. КТ означает (рис. 3, б), что $\gamma = \pm 0,5\%$ длины шкалы.

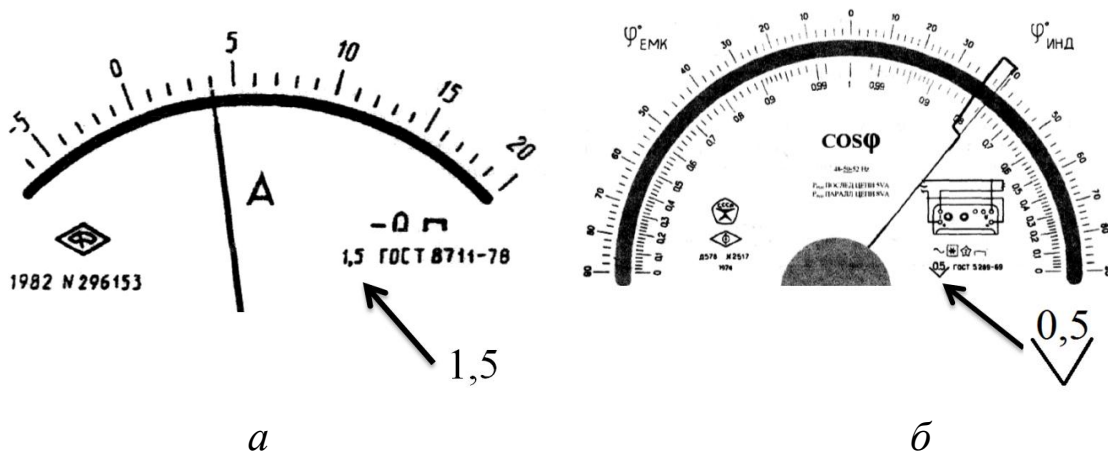


Рис. 3. Обозначение КТ на СИ через приведенную погрешность

Пример задачи.

Дано: Амперметр с пределами измерений от 0 до -500 А класса точности 0,5 показывает 100 А. Предел допустимой погрешности показаний прибора равен ...

Решение: Определим предел допустимой погрешности показаний прибора через **приведенную погрешность**, т.к. класс точности прибора указан просто цифрами:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100 \Rightarrow \Delta = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100}, \%$$

$$\Delta = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100} = \pm \frac{0,5 \cdot 500}{100} = \pm 2,5\%$$

Ответ: Предел допустимой погрешности показаний прибора равен $\Delta = \pm 2,5\%$.

3. Выражение КТ через относительную погрешность.

Класс точности через относительную погрешность если погрешность СИ имеет в основном мультипликативную составляющую, то пределы допускаемой основной относительной погрешности устанавливают по формуле

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X_i} = \pm q, \% \quad (12)$$

где q – отвлеченное положительное число, выбираемое из ряда $1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; $(1,6 \cdot 10^n)$; $2 \cdot 10^n$; $2,5 \cdot 10^n$; $(3 \cdot 10^n)$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$; ($n = 1, 0, -1, -2$, и т. д.), значения 1,6 и 3 – допускаемые, но не рекомендуемые.

Относительная погрешность, возрастающая с уменьшением измеряемой величины, т.е. если СИ имеют как мультипликативную, так и аддитивную составляющие, то класс точности обозначается двумя цифрами, соответствующими значениям c и d , и определяют по формуле:

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_N}{X_i} \right| - 1 \right) \right] \quad (13)$$

Обозначение КТ на СИ через относительную погрешность:

3.1. КТ на СИ обводят кружком (рис. 4, а). Такое обозначение применяют для СИ, у которых предел допускаемой относительной погрешности постоянен во всем диапазоне измерений и имеется только мультипликативная погрешность. Таким способом нормируют погрешности измерительных мостов, магазинов, масштабных преобразователей, счетчиков, делителей и т.п. При этом обычно указывают границы рабочего диапазона, для которых справедлив данный класс точности. КТ (см. рис. 4, а) означает, что $\delta = \pm 2,5\%$.

Пример задачи.

Дано: Амперметр с пределами измерений от 0 до -500 А класса точности **0,5** (в кружочке) показывает 100 А. Предел допустимой погрешности показаний прибора равен ...

Решение: Определим предел допустимой погрешности показаний прибора через **относительную погрешность**, т.к. класс точности прибора указан цифрами в кружочке:

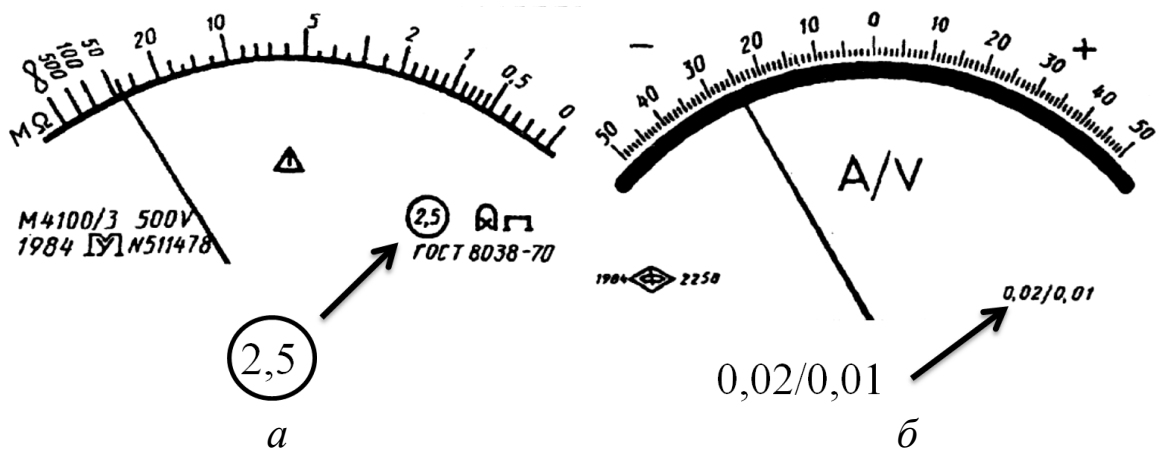


Рис. 4. Обозначение КТ на СИ через относительную погрешность

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X_i} \cdot 100 \Rightarrow \Delta = \pm \frac{\delta \cdot X_i}{100}, \%$$

$$\Delta = \pm \frac{\delta \cdot X_i}{100} = \pm \frac{0,5 \cdot 100}{100} = \pm 0,5\%$$

Ответ: Предел допустимой погрешности показаний прибора равен $\Delta = \pm 0,5\%$.

3.2. КТ на СИ (рис. 4, б), если СИ имеют как мультипликативную, так и аддитивную составляющие, обозначаются числами c и d , разделенных косой чертой – $0,02 / 0,01$. Таким способом обозначаются КТ у цифровых СИ, у высокоточных потенциометров постоянного тока и других высокоточных приборов.

Пример задачи.

Дано: Мультиметр класса точности 2/1 на диапазоне до 2 мкФ показывает при измерении электрической емкости 0,8 мкФ. Предел допускаемой относительной погрешности прибора равен...

Решение: В задании класс точности выражает относительную погрешность, которая определяется по выражению:

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_N}{X_i} \right| - 1 \right) \right],$$

где $c = 2$; $d = 1$; $X_N = 2$ мкФ; $X_i = 0,8$ мкФ.

Тогда предел допускаемой относительной погрешности прибора равен:

$$\delta = \pm \left[2 + 1 \cdot \left(\left| \frac{2}{0,8} \right| - 1 \right) \right] = \pm [2 + 1 \cdot (2,5 - 1)] = \pm [2 + 1 \cdot 1,5] = \pm 3,5\%$$

Ответ: Предел допускаемой относительной погрешности прибора равен $\delta = \pm 3,5\%$.

7. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УЧЕТА ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Методы компенсации систематических погрешностей:

1. *Метод замещения* дает наиболее полное решение задачи компенсации постоянной систематической погрешности.

Сравнение производится путем замены измеряемой величины известной величиной так, чтобы воздействием известной величины привести средство измерения в то состояние, которое оно имело при воздействии измеряемой величины.

2. *Метод противопоставления* заключается в том, что измерения проводят два раза, причем так, чтобы величина, вызывающая погрешность при первом измерении, оказала противоположное действие на результат второго измерения.

3. *Метод компенсации погрешности* по знаку также предусматривает проведение измерения в два этапа, выполняемых так, чтобы постоянная систематическая погрешность входила в показания средства измерения на каждом этапе с разными знаками. За результат измерения принимают полусумму показаний – систематические погрешности, которые взаимно компенсируются.

Исключение методической составляющей систематической погрешности. Задача решается в каждом конкретном случае индивидуально на основе анализа примененного метода измерений, результаты которого часто зависят от квалификации и опыта оператора. Полученная при этом оценка систематической погрешности, в свою очередь, имеет некоторую погрешность из-за погрешностей в определении измеряемой величины, а также из-за наличия инструментальной погрешности средства измерений. Эта погрешность при введении поправки не исключается и называется неисключенным остатком систематической погрешности (неисключенной систематической погрешностью).

Исключение субъективной составляющей систематической погрешности. При проектировании современных средств измерений принимаются меры, чтобы максимально исключить возможность появления субъективных погрешностей. Неточные действия наблюдателя могут привести к запаздыванию или опережению фиксации моментов времени при отсчете показаний, неточности отсчитывания значений измеряемой величины по

шкале стрелочного прибора из-за параллакса и др. Чтобы избежать субъективных погрешностей, необходимо точно соблюдать правила эксплуатации средств измерений и иметь навыки работы с измерительной техникой.

8. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задача 1:

Дано: Вольтметром класса точности **0,5 (в кружочке)** со шкалой (0...100) В измерены значения напряжения (X_i) 0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 В. Рассчитать зависимости абсолютной и относительной погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы.

Решение:

Для записи результатов формируем таблицу (табл. 1), в столбцы которой будем записывать измеренные значения U , абсолютные ΔU и относительные δU погрешности. В первую строку записываем заданные в условии задачи измеренные значения напряжения: 0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 В. Класс точности вольтметра задан числом в кружке, следовательно, относительная погрешность, выраженная в процентах, во всех точках шкалы не должна превышать по модулю класса точности, т.е. $|\delta U| \leq 0,5\%$.

Таблица 1

Результаты расчёта значений погрешностей

$U, \text{В}$	0	10	20	40	50	60	80	100
$\Delta U, \text{В}$	0	0,05	0,5	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
$\delta U, \%$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

При решении задачи рассмотрим худший случай, т.е. $|\delta U| = 0,5\%$, что соответствует значениям $\delta U = +0,5\%$ и $\delta U = -0,5\%$

Дальнейшие вычисления будем производить только для положительных значений относительной погрешности $\delta U = +0,5\%$, но при этом будем помнить, что все значения второй и третьей строки табл. 1 могут принимать и отрицательные значения.

Значение относительной погрешности $\delta U = +0,5\%$ заносим в третью строку таблицы.

Рассчитаем значения абсолютной погрешности.

Из формулы 12 выражаем абсолютную погрешность:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X_i} \cdot 100\% \Rightarrow \delta U = \pm \frac{\Delta U}{U_i} \cdot 100\% \Rightarrow \Delta U = \pm \frac{\delta U \cdot U_i}{100\%}$$

При $U = 0$ В получаем: .

$$\Delta U = \pm \frac{\delta U \cdot U_i}{100\%} = \frac{0,5 \cdot 0}{100} = 0 \text{ В}$$

При $U = 10$ В получаем:

$$\Delta U = \pm \frac{\delta U \cdot U_i}{100\%} = \frac{0,5 \cdot 10}{100} = 0,05 \text{ В}$$

Значения абсолютной погрешности для остальных измеренных значений напряжения рассчитываются аналогично.

Полученные таким образом значения абсолютной погрешности заносим во второй столбец.

Задача 2.

Дано: Цифровым омметром класса точности 1,0 / 0,5 со шкалой (0...1000) Ом измерены значения сопротивления 0; 100; 200; 400; 500; 600; 800; 1000 Ом. Рассчитать зависимости абсолютной и относительной основных погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков зависимостей абсолютной и относительной погрешностей от результата измерений.

Решение:

Для записи результатов формируем таблицу (табл. 2), в столбцы которой будем записывать измеренные значения R , абсолютные ΔR и относительные δR погрешности.

Таблица 2

Результаты расчёта значений погрешностей

R, Ом	0	100	200	400	500	600	800	1000
ΔR , Ом	5,0	5,5	6,0	7,0	7,5	8,0	9,0	10,0
δR , %	∞	5,5	3,0	1,8	1,5	1,3	1,2	1,0

В первую строку записываем заданные в условии задачи измеренные значения сопротивления 0; 100; 200; 400; 500; 600; 800; 1000 Ом.

Класс точности вольтметра задан в виде двух чисел, разде-

лённых косой чертой. Следовательно, относительная погрешность, выраженная в процентах, во всех точках шкалы должна удовлетворять следующему соотношению:

$$\delta R \leq \left[c + d \left(\left| \frac{R_N}{R_i} \right| - 1 \right) \right], \%$$

В данном случае $c = 1,0$; $d = 0,5$; $R_N = 1000$ Ом, причём параметры этой формулы c и d определяются мультипликативной и аддитивной составляющими суммарной погрешности соответственно.

Таким образом, получаем:

$$\delta R \leq \left[1,0 + 0,5 \left(\left| \frac{1000}{R_i} \right| - 1 \right) \right], \%$$

При решении задачи рассмотрим худший случай, что соответствует значениям:

$$\delta R = \pm \left[1,0 + 0,5 \left(\left| \frac{1000}{R_i} \right| - 1 \right) \right], \%$$

Примем во внимание то, что результаты вычисления, выполненные для положительных и отрицательных значений погрешностей, численно совпадают друг с другом и отличаются только знаками. Поэтому дальнейшие вычисления будем производить только для положительных значений относительной погрешности, но при этом будем помнить, что все значения второго и третьего столбцов табл. 2 могут принимать и отрицательные значения.

Рассчитаем значения относительной погрешности.

При $R = 0$ Ом получаем:

$$\delta R = \left[1,0 + 0,5 \left(\left| \frac{1000}{0} \right| - 1 \right) \right] \Rightarrow \infty$$

При $R = 100$ Ом получаем:

$$\delta R = \left[1,0 + 0,5 \left(\left| \frac{1000}{100} \right| - 1 \right) \right] = 5,5 \%$$

Значения относительной погрешности для остальных изме-

ренных значений сопротивления рассчитываются аналогично. Полученные значения относительной погрешности заносим в третью строку табл. 2.

Рассчитаем значения абсолютной погрешности.

Из формулы 12 выражаем абсолютную погрешность:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X_i} \cdot 100\% \Rightarrow \delta R = \pm \frac{\Delta R}{R_i} \cdot 100\% \Rightarrow \Delta R = \pm \frac{\delta R \cdot R_i}{100\%}$$

При $R = 0$ Ом получаем:

$$\Delta R = \frac{\delta R \cdot R_i}{100\%} = \frac{\infty \cdot 0}{100\%} - \text{неопределённость.}$$

Искомое значение ΔR можно определить следующим образом. Так как класс точности прибора задан в виде двух чисел, то у данного прибора аддитивные и мультипликативные погрешности соизмеримы. При $R = 0$ Ом мультипликативная составляющая погрешность равна нулю, значит, общая погрешность в этой точке обусловлена только аддитивной составляющей. Аддитивную составляющую представляет второе из чисел, задающих класс точности, т.е. в данном случае число $d = 0,5$. Это означает, что аддитивная погрешность составляет 0,5% от верхнего предела измерений прибора, т.е. от $R_N = 1000$ Ом.

Таким образом, при $R = 0$ получим:

$$\Delta R = \frac{\delta R \cdot R_i}{100\%} = \frac{d \cdot R_i}{100\%} = \frac{0,5 \cdot 1000}{100\%} = 5 \text{ Ом}$$

При $R = 100$ Ом получаем:

$$\Delta R = \frac{\delta R \cdot R_i}{100\%} = \frac{5,5 \cdot 100}{100\%} = 5,5 \text{ Ом}$$

При $R = 200$ Ом получаем:

$$\Delta R = \frac{\delta R \cdot R_i}{100\%} = \frac{3 \cdot 200}{100} = 6 \text{ Ом}$$

Значения абсолютной погрешности для остальных измеренных значений сопротивления рассчитываются аналогично. Полученные таким образом значения абсолютной погрешности заносим во вторую строку табл. 2.

По данным табл. 2, учитывая, что погрешности могут быть как положительными, так и отрицательными, строим графики за-

зависимостей абсолютной ΔR и относительной δR погрешностей от результата измерений R (рис. 5).

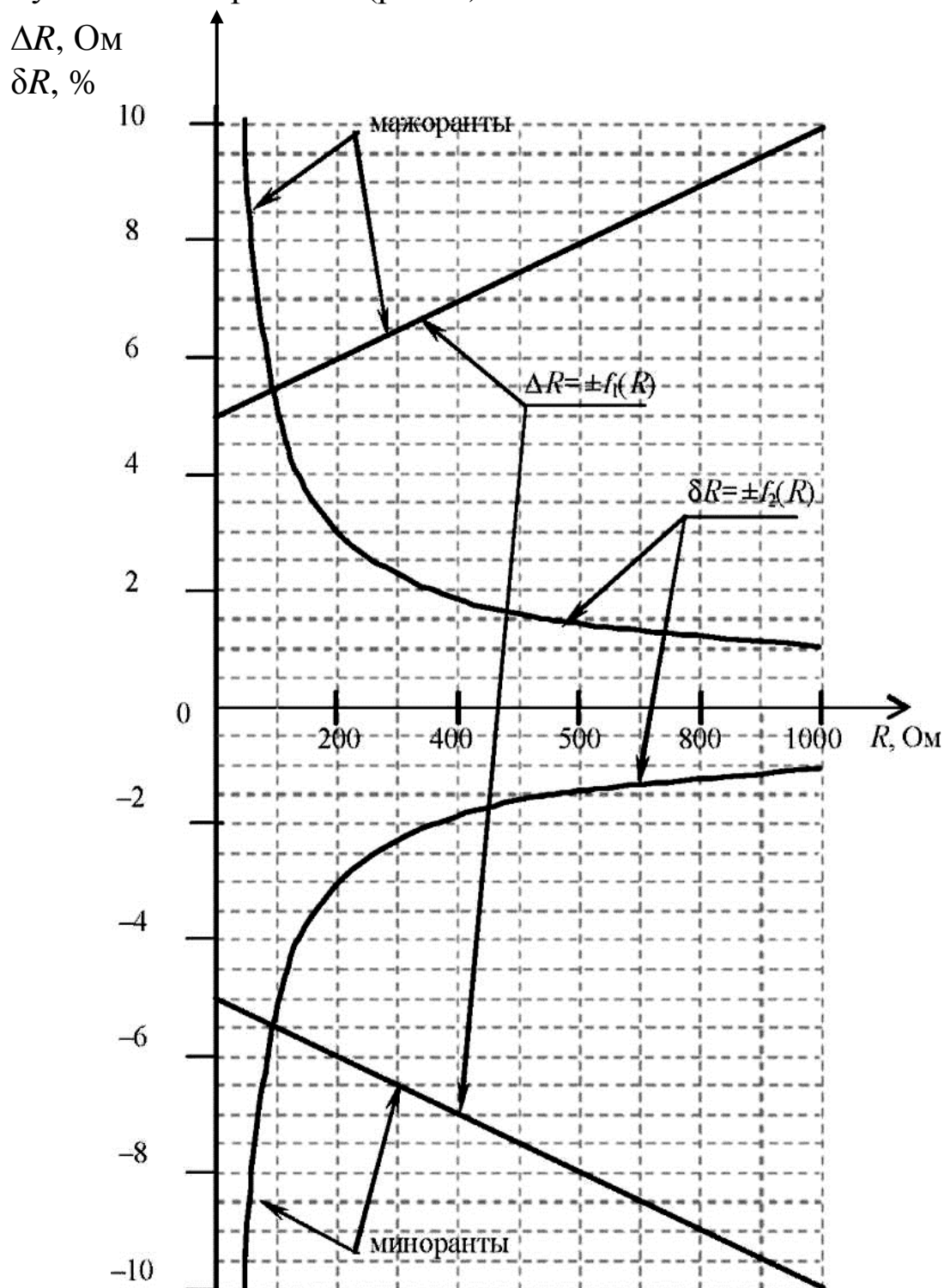


Рис. 5. Графики зависимостей абсолютной и относительной погрешностей от результата измерений для прибора с соизмеримыми аддитивными и мультипликативными погрешностями

9. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться и изучить методические указания к работе «Определение погрешностей при физических измерениях».

2. Оформить отчет. Отчет должен содержать: наименование и цель работы; описание общих положений по погрешностям, показателям качества измерений, точности записи результатов измерений, классам точности средств измерений и методами определения и учета погрешностей при физических измерениях; ответы на контрольные вопросы.

3. Решить задачи (см. пример выполнения работы):

– получить задание (табл. 3);

– произвести расчеты по определению погрешностей при физических измерениях;

– построить графики зависимостей погрешностей от результата измерений.

Задачи для самостоятельного решения: для прибора (по исходным данным табл. 3) рассчитать значения абсолютных, относительных и приведённых основных погрешностей измерений. Результаты представить в виде таблицы, для задачи №3 построить графики зависимостей абсолютной и относительной погрешностей от результата измерений.

10. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение: погрешность измерений; истинное значение физической величины; погрешность результата измерения?

2. Дайте определение: результат измерения; действительное значение физической величины; погрешностью СИ?

3. Опишите классификацию и определения погрешностей в зависимости от условий применения СИ?

4. Опишите классификацию и определения погрешностей в зависимости от слагаемых процесса измерения?

5. Опишите классификацию и определения погрешностей в зависимости от характера проявления?

Таблица 3

Исходные данные

№ варианта	№ задачи	Диапазон измерений СИ	Класс точности СИ	Результаты измерений (X_i)
1	1	(0...10) В	0,1	0; 1; 2; 4; 5; 6; 8; 10 В
	2	(0...1000) Ом	0,5	0; 100; 200; 400; 500; 600; 800; 1000 Ом
	3	(-100...+100) °С	0,1 / 0,05	0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 °С
2	1	(0...100) мВ	0,6	0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 мВ
	2	(0...100) °С	1,0	0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 °С
	3	(-5...+5) В	4,0 / 2,5	0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 В
3	1	(0...5) А	0,1	0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 А
	2	(0...100) мВ	2,0	0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 мВ
	3	(-10...+10) В	1,5 / 1,0	0; 1; 2; 4; 5; 6; 8; 10 В
4	1	(0...100) В	0,2	0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 В
	2	(0...10) А	2,5	0; 1; 1,5; 4; 5; 6; 9; 10 А
	3	(-100...+100) °С	0,5 / 0,25	0; 10; 20; 30; 50; 60; 90; 100 °С
5	1	(0...100) мВ	0,2	0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 мВ
	2	(0...100) °С	3,0	0; 20; 30; 40; 50; 65; 80; 100 °С
	3	(-5...+5) В	1,0 / 0,5	0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0; 5,0 В
6	1	(0...250) °С	1,5	0; 25; 50; 100; 125; 150; 200; 250 °С
	2	(0...100) мВ	0,5	0; 15; 25; 40; 55; 60; 85; 100 мВ
	3	(-100...+100) °С	4,0 / 2,5	0; 10; 25; 40; 55; 60; 80; 100 °С

Продолжение табл. 3

№ варианта	№ задачи	Диапазон измерений СИ	Класс точности СИ	Результаты измерений (X_i)
7	1	(0...10) В	0,15	0; 1; 2; 4; 5; 6; 8; 10 В
	2	(0...1000) Ом	1,0	0; 100; 250; 400; 550; 600; 800; 1000 Ом
	3	(-100...+100) В	2,5 / 1,5	0; 15; 20; 40; 55; 60; 80; 100 В
8	1	(0...100) мВ	0,25	0; 10; 30; 40; 50; 65; 80; 100 мВ
	2	(0...100) °С	2,0	0; 15; 20; 45; 50; 60; 80; 100 °С
	3	(-5...+5) м	6,0 / 4,0	0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 3,0; 4,5; 5,0 м
9	1	(0...5) А	2,5	0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,5; 5,0 А
	2	(0...100) мВ	2,5	0; 10; 20; 45; 50; 60; 80; 100 мВ
	3	(-10...+10) В	1,25 / 0,5	0; 1; 2; 4; 5; 6; 9; 10 В
10	1	(0...100) В	2,0	0; 15; 20; 45; 50; 60; 85; 100 В
	2	(0...10) А	3,0	0; 2; 2,5; 4; 5; 6; 8; 10 А
	3	(-10...+10) В	0,4 / 0,2	0; 1; 2; 4; 5; 6; 8; 10 В
11	1	(0...1000) мВ	0,15	0; 100; 250; 400; 500; 650; 800; 1000 мВ
	2	(0...10) °С	0,5	0; 2; 3; 4; 5; 6; 9; 10 °С
	3	(-50...+50) м	4,0 / 1,5	0; 5; 10; 15; 20; 25; 40; 50 м
12	1	(0...150) °С	0,4	0; 10; 25; 50; 100; 125; 150 °С
	2	(0...1000) мВ	1,0	0; 150; 200; 400; 550; 600; 800; 1000 мВ
	3	(-200...+200) °С	2,0 / 1,5	0; 40; 50; 90; 100; 140; 160; 200 °С

Продолжение табл. 3

№ варианта	№ задачи	Диапазон измерений СИ	Класс точности СИ	Результаты измерений (X_i)
13	1	(0...50) В	0,6	0; 10; 20; 25; 30; 40; 45; 50 В
	2	(0...200) Ом	(2,0)	0; 10; 25; 50; 80; 100; 150; 200 Ом
	3	(-100...+100) мВ	2,0 / 0,5	0; 15; 20; 40; 55; 60; 80; 100 мВ
14	1	(0...10) В	0,1	0; 1; 2; 4; 5; 6; 8; 10 В
	2	(0...10) А	(3,0)	0; 2; 2,5; 4; 5; 6; 8; 10 А
	3	(-10...+10) В	1,25 / 0,5	0; 1; 2; 4; 5; 6; 9; 10 В
15	1	(0...100) мВ	1,0	0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 мВ
	2	(0...100) °С	(0,5)	0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 °С
	3	(-5...+5) В	2,0 / 2,5	0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 В
16	1	(0...100) В	0,5	0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 В
	2	(0...10) А	(3,0)	0; 1; 1,5; 4; 5; 6; 9; 10 А
	3	(-100...+100) °С	1,0 / 0,5	0; 10; 20; 30; 50; 60; 90; 100 °С
17	1	(0...250) °С	0,5	0; 25; 50; 100; 125; 150; 200; 250 °С
	2	(0...100) мВ	(1,0)	0; 15; 25; 40; 55; 60; 85; 100 мВ
	3	(-100...+100) °С	2,0 / 1,25	0; 10; 25; 40; 55; 60; 80; 100 °С
18	1	(0...100) В	1,0	0; 15; 20; 45; 50; 60; 85; 100 В
	2	(0...10) А	(2,5)	0; 2; 2,5; 4; 5; 6; 8; 10 А
	3	(-10...+10) В	0,8 / 0,4	0; 1; 2; 4; 5; 6; 8; 10 В

6. Опишите классификацию и определения систематических погрешностей?

7. Опишите классификацию и определения погрешностей по форме представления погрешности, а также в зависимости от способа математического выражения?

8. Опишите классификацию и определения погрешностей в зависимости от измеряемой величины погрешности?

9. Назовите, какими показателями характеризуется качество измерений и опишите их?

10. Опишите правила округления?

11. Опишите запись результатов измерения?

12. Опишите поправку и доверительный интервал?

13. Дайте определение классу точности СИ и опишите его способы выражения?

14. Опишите выражение класса точности СИ через абсолютную погрешность?

15. Опишите выражение класса точности СИ через приведенную погрешность?

16. Опишите выражение класса точности СИ через относительную погрешность?

17. Опишите методы компенсации систематических погрешностей?

11. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылова, Г. Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии : учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 671 с.

<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=114433>

2. Радкевич, Я. М. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для вузов / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе, Б. И. Лактионов. – Москва : Абрис, 2012. – 791 с.

<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=117501>

3. ГОСТ 8.401–80. Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования – Введ. 01.07.1981. – Москва : Изд-во стандартов, 2010. – 11 с.

Составитель

Дмитрий Михайлович Дубинкин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Методические указания к практической работе
по дисциплинам «Метрология, стандартизация и сертификация
в горном деле» для студентов направления подготовки
21.05.04 (130400.65) «Горное дело»; «Метрология, стандартизация
и сертификация» для студентов направления подготовки
20.03.01 (280700.62) «Техносферная безопасность»;
«Метрология и сертификация» для студентов направления подготовки
27.03.02 (221400.62) «Управление качеством»
очной формы обучения

Рецензент Д. Б. Шатько

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 01.06.2015. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Уч. изд. л. 1,3. Тираж 40 экз. Заказ_____

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.