

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Кузбасский государственный технический университет
им. Т. Ф. Горбачева»

Кафедра разработки месторождений полезных ископаемых

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ
ИЗМЕРЕНИЙ И ПОРЯДОК ОБРАБОТКИ И ОФОРМЛЕНИЯ
РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ С МНОГОКРАТНЫМИ
НАБЛЮДЕНИЯМИ**

Методические указания к практическому занятию по дисциплине
«Метрология, стандартизация и сертификация»
для студентов специальности 130404 «Подземная разработка
месторождений полезных ископаемых»



Составители В. Н. Хомченко
Л. А. Белина

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 7 от 05.12.2011
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
специальности 130404

Протокол № 10/11 от 08.12.2011
Электронная копия находится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2012

Цель работы – ознакомиться с основными формами аналогового и кодового представления измерительной информации. Получить навыки оценки точности результатов измерений при однократных и многократных наблюдениях.

1. Краткие теоретические сведения

Носителями измерительной информации являются различного рода сигналы. В измерительных приборах сигналы преобразуются в форму, удобную для непосредственного восприятия наблюдателем.

В зависимости от формы выходного сигнала измерительные приборы делятся на аналоговые и цифровые.

Показания аналоговых приборов являются непосредственной функцией измеряемой величины по значению и во времени. Обычно выходным сигналом аналоговых приборов является перемещение указателя (стрелки) по отношению к шкале или светового индикатора относительно координатной сетки (в электронно-лучевых осциллографах).

Цифровыми измерительными устройствами называют средства измерений, в которых измеряемая величина после квантования и цифрового кодирования представляется в форме числа или кода. Цифровые измерительные приборы являются автономными устройствами с выходным сигналом в виде визуального изображения значения измеряемой величины на цифровом отсчетном устройстве в десятичном коде.

1.1. Способы нормирования и формы выражения метрологических характеристик

Погрешности средств измерений классифицируют по различным признакам (рис. 1).

Абсолютной погрешностью измерительного прибора называют разность между его показанием x и истинным значением измеряемой величины x_0 :

$$\Delta = x - x_0$$

Приведенная погрешность равна отношению абсолютной погрешности измерительного прибора к нормирующему значению x_N (выражается обычно в процентах), %

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_N} 100$$

Для средств измерений с нулевой отметкой на краю шкалы нормирующее значение принимают равным верхнему пределу измерения; для приборов с нулевой отметкой внутри шкалы – сумме модулей пределов измерений; если шкала с условным нулем – нормирующее значение принимают равным модулю разности пределов измерений.

Относительная погрешность измерительного прибора равна отношению абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины (чаще выражают в процентах), %

$$\delta = \frac{\Delta}{x_0} 100.$$

Систематической погрешностью измерительного прибора называется составляющая погрешности, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся.

Случайной погрешностью измерительного прибора называется составляющая погрешности, изменяющаяся случайным образом.

Основная погрешность – это погрешность измерительного прибора, используемого в нормальных условиях.

Дополнительная погрешность – это составляющая погрешности измерительного прибора в рабочих условиях, вызванная отклонением одной из влияющих величин от нормального значения.



Рис. 1. Классификация погрешностей средств измерений

По зависимости от X погрешности измерительных приборов подразделяются на аддитивные, не зависящие от X , и мультипликативные – зависящие от X . Суммарная абсолютная погрешность $\Delta_{\text{сум}}$ (в предположении линейной зависимости мультипликативной погрешности от измеряемой величины) равна сумме абсолютных значений аддитивной $\Delta_{\text{ад}}$ и мультипликативной $\Delta_{\text{м}}$ погрешностей:

$$\Delta_{\text{сум}} = \Delta_{\text{ад}} + \Delta_{\text{м}} = \gamma_{\text{ад}} x_k + \delta_{\text{м}} x,$$

где $\gamma_{\text{ад}}$ – приведенное значение аддитивной погрешности;

$\delta_{\text{м}} = \frac{\Delta_{\text{м}}}{x}$ – относительное значение мультипликативной погрешности;
 x_k – больший (по модулю) из пределов измерений.

Тогда относительная суммарная погрешность

$$\delta_{\text{сум}} = \frac{\Delta_{\text{сум}}}{x} = \left[c + d \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right],$$

где $c = \gamma_{ад} + \delta_m$; $d = \gamma_{ад}$.

Статистической погрешностью средств измерений называется разность между погрешностью средства измерений в динамическом режиме и его статистической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени.

1.2. Основные способы обозначения классов точности

1.3.

Класс точности средств измерений – обобщенная характеристика средства измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на их точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений. Обозначения классов точности в документах и на приборах приведены в табл. 3.

2. Порядок обработки результатов измерений с многократными наблюдениями

Произвести обработку результатов измерений с многократными наблюдениями, занесенных в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные

№ наблюдения x_i	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_1	32	15	100	12	10	5	100	75	25	70
x_2	53	35	70	15	30	15	40	65	20	75
x_3	40	75	35	20	15	30	5	60	23	80
x_4	45	95	25	25	10	40	10	55	30	90
x_5	35	100	20	30	8	55	30	50	15	65
x_6	75	98	15	40	11	60	80	45	35	85
x_7	41	90	14	45	20	75	70	65	15	75
x_8	60	60	13	65	40	90	95	50	40	89
x_9	25	20	10	90	80	100	100	45	38	68
x_{10}	62	90	8	100	100	95	90	68	50	60

3. Методика обработки результатов измерений

3.1. Результат измерения и оценка его среднеквадратичного отклонения.

3.1.1. В качестве результата измерений принимают среднее арифметическое \bar{x} результатов наблюдений x_1, x_2, \dots, x_n , в которые предварительно введены поправки для исключения систематических погрешностей:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

3.1.2. Вычисляют случайные отклонения результатов наблюдений:

$$V_i = x_i - \bar{x}.$$

Результаты измерений и вычислений заносят в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений и вычислений

Номер наблюдений	x_i	V_i	V_i^2
1
...
...
...
n
	$\sum_{i=1}^n x_i = \dots$	$\sum_{i=1}^n V_i = \dots$	$\sum_{i=1}^n V_i^2 = \dots$

3.1.3. Среднеквадратичное отклонение результатов наблюдений оценивают по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n-1}}.$$

3.1.4. Оценку среднеквадратичного отклонения результата измерения определяют в соответствии с выражением:

$$Sc(x) = \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

Таблица 3

Формулы вычисления погрешностей и обозначение классов точности СИ

Вид погрешности	Формула	Примеры пределов допускаемой погрешности	Обозначение классов точности		СИ, рекомендуемые к обозначению таким способом
			в НТД	на СИ	
1	2	3	4	5	6
Абсолютная	$\Delta = \pm a$ $\Delta = \pm (a + bx)$	$\Delta = \pm 0,2A$	класс точности N класс точности III	N III	Меры Меры
Относительная	$\delta = \pm \frac{\Delta}{X} 100\% = A \cdot 10^n = \pm q$	$\Delta = \pm 0,5 \%$	класс точности 0,5	0,5	Мосты, счетчики, делители, трансформаторы
	$\delta = \pm \left[c + d \left(\left \frac{X_0}{X} \right - 1 \right) \right]$	$\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left \frac{X_0}{X} \right - 1 \right) \right], \%$	класс точности 0,02/0,01	0,02 0,01	Цифровые СИ, магазины емкостей (сопротивлений)
	$\delta(x) = \frac{X_{\min}}{X} + \delta_a + \frac{x}{X_k}$	$\delta(x) = \left[\frac{0,02}{x} + \frac{0,5}{100} + \frac{x}{10^6} \right] \cdot 100\%$	класс точности C класс точности II	C II	Цифровые частотомеры, мосты сопротивлений
Приведенная	$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} 100\% = A \cdot 10^n$	а) при $X_N = X_k$ $\gamma = \pm 0,5\%$	класс точности 1,5	1,5	Аналоговые СИ; если X_N – в единицах величины
		б) X_N – длина шкалы или ее части, мм $\gamma = \pm 0,5\%$	класс точности 0,5	0,5	Омметры; если X_N определяется длиной шкалы или ее части

где a – единица измеряемой физической величины; b – линейная зависимость; A – ряд чисел, пределов допускаемой относительной погрешности; X_{\min} и X_k – порог и предел чувствительности.

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

4. Доверительные границы случайной погрешности результата измерения

Доверительные границы случайной погрешности результата измерения находят следующим образом:

$$\Delta = \pm t s(\bar{x}),$$

где t – коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности P и числа наблюдений n находят из табл. 4.

Таблица 4

Значение коэффициента Стьюдента

n	3	4	5	6	7	8	9	10
$P = 0,9$	2,32	2,35	2,13	2,02	1,94	1,89	1,86	1,83
$P = 0,95$	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26

5. Доверительные границы исключенной систематической погрешности результата измерений

В качестве границ составляющих неисключенной систематической погрешности Δ_s принимают, например, пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей средств измерений (если случайные составляющие погрешности пренебрежимо малы):

$$\Delta_s = \frac{\gamma \bar{x}}{100}$$

где γ – относительная погрешность средства измерений, определяемая по его классу точности; \bar{x} – результат измерения.

6. Граница погрешности результата измерения

6.1. $\frac{\Delta_s}{s(\bar{x})} < 0,8$, то не исключенными систематическими

погрешностями по сравнению со случайными пренебрегают и принимают, что граница погрешности результата $\Delta_p = \Delta$. Если

$\frac{\Delta_s}{S(\bar{x})} > 8$, то случайной погрешностью по сравнению с систематическими пренебрегают и принимают, что граница погрешности результата $\Delta_p = \Delta_s$.

6.2. Если указанные в п. 6.1 неравенства не соблюдаются, то границы погрешности результата измерения находят как

$$\Delta_p = kS_1, \text{ где } S_1 = \sqrt{\frac{\Delta_s^2}{3} + S^2(\bar{x})}, \text{ и } k = \frac{\Delta + \Delta_s}{S(\bar{x}) + \frac{\Delta_s}{\sqrt{3}}}.$$

7. Проверка гипотезы о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению

7.1. Так как распределение измеряемой величины считается нормальным, то аномальный результат исключают в соответствии с СТ СЭВ 545-77. *Аномальным* называется результат наблюдения, резко отличающийся от группы результатов наблюдений, которые являются нормальными.

7.2. Для оценки принадлежности x_{\min} и x_{\max} к данной нормальной совокупности и принятия решения об исключении или оставлении x_{\min} (x_{\max}) в составе выборки, находят соотношения:

$$V_{\min} = \frac{\bar{x} - x_{\min}}{S} \quad \text{и} \quad V_{\max} = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{S}.$$

7.3. Результаты V_{\min} и V_{\max} сравнивают с величиной β , взятой из табл. 5, если $V_{\max} \geq \beta$, то результат наблюдения аномален и должен быть исключен. В противном случае его считают нормальным и не исключают. Оценка результата V_{\min} производится аналогично.

Таблица 5

Значение β при уровне значимости $\alpha = 1 - P$ и объеме выборки n

Объем выборки	3	4	5	6	7	8	9	10
$\alpha=0,1$	1,15	1,42	1,60	1,73	1,83	1,91	1,98	2,03
$\alpha=0,05$	1,15	1,46	1,67	1,82	1,94	2,03	2,11	2,18

8. Формы представления результатов измерений (согласно МИ 1317-86)

8.1. Результат измерений представляется именованным или именованным числом.

8.2. Совместно с результатом измерений должны быть представлены характеристики его погрешности (для однократных наблюдений).

8.3. Совместно с результатом измерений при необходимости приводятся дополнительные данные и условия измерений.

9. Правила округления значений погрешности и результата измерений

9.1. Погрешность результата измерения указывается двумя значащими цифрами, если первая из них равна 1 или 2, и одной, если первая есть 3 и более.

9.2. Результат измерения округляется до того десятичного разряда, которым оканчивается округленное значение абсолютной погрешности.

9.3. Округление производится лишь в окончательном ответе, а все предварительные вычисления проводят с одним-двумя лишними знаками.

Содержание отчета

В отчете необходимо ответить на следующие вопросы:

1. Назовите виды средств измерений.
2. В чем заключается нормирование метрологических характеристик СИ?
3. Назовите виды погрешностей СИ.
4. Дайте характеристику погрешностей цифровых СИ.
5. Что такое класс точности СИ?
6. Что такое рабочая зона СИ?
7. В чем отличие метрологических характеристик аналоговых и

цифровых СИ?

8. Как осуществляется нормирование динамических погрешностей СИ?

9. Назовите основные виды измерений.

10. Назовите основные методы измерений.

11. Дайте характеристику принципа обработки результатов различных видов измерений.

Список рекомендуемой литературы

1. Сергеев, А. Г. Метрология, стандартизация, сертификация: учеб. пособие / А. Г. Сергеев, М. В. Латышев, В. В. Терегеря. – М.: Логос, 2003.

2. Крылова, Г. Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: учеб. для вузов / Г. Д. Крылова. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 1998.

3. ГОСТ 8.401-80. Классы точности средств измерений: Общие требования.

4. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.

5. Метрология, стандартизация, сертификация: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Горное дело" и по специальности "Горные машины и оборудование" направления подготовки "Технолог. машины и оборудование" / В. Н. Хомченко, С. Г. Костюк, А. М. Ермолаев [и др.]; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2010. – 113 с.

6. Ржевская, С. В. Метрология, стандартизация и сертификация: практикум / С. В. Ржевская. – М.: Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2006. – 101 с.

Составители
Валерий Николаевич Хомченко
Любовь Александровна Белина

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ
ИЗМЕРЕНИЙ И ПОРЯДОК ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
ИЗМЕРЕНИЙ С МНОГОКРАТНЫМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ

Методические указания к практическому занятию по дисциплине
«Метрология, стандартизация и сертификация»
для студентов специальности 130404 «Подземная разработка
месторождений полезных ископаемых»

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 10.01.2012. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 0,5.
Тираж 62 экз. Заказ
КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.
Типография КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4 А.