ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

НПО «Всесоюзный научно-исследовательский институт
метрологии им. Д. И. Менделеева»
(НПО «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ. ИЗМЕРЕНИЯ ПРЯМЫЕ ОДНОКРАТНЫЕ. ОЦЕНИВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

МИ 1552—86

Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
1987

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНЫ НПО «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

ИСПОЛНИТЕЛИ

Ж. Ф. Кудряшова, канд. техн. наук (руководитель темы), **Л. И. Довбета**

ПОДГОТОВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ лабораторией законодательной метрологии НПО «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

Начальник лаборатории **М. Н. Селиванов**

УТВЕРЖДЕНЫ НПО «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» на НТС НПО от 9 июня 1986 г., протокол № 7

УДК 389.14 Группа Т80

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей результатов измерений

МИ 1552—86

Введены в действие с 01.01.88

Настоящие методические указания распространяются на нормативно-техническую, конструкторскую, технологическую и другую документацию, регламентирующую требования к выполнению измерений, и устанавливают методы оценивания погрешностей результатов прямых однократных измерений при условии, что составляющие погрешности результата измерения известны, случайные погрешности составляющих распределены нормально, а неисключенные систематические погрешности, представленные заданными границами $\pm\theta$, распределены равномерно (см. справочное приложение 1).

Пример оценивания погрешностей результата однократного измерения приведен в справочном приложении 2.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. За результат однократного измерения $\widetilde{A}$ принимают значение величины, полученное при отдельном измерении.

1.2. Составляющие погрешности результата измерения должны быть известны до проведения измерений.

Предполагается, что известные систематические погрешности исключены.

1.3. Условия проведения однократных измерений.

1.3.1. Производственная необходимость (разрушение образца, невозможность повторения измерения, экономическая целесообразность и т. д.).

1.3.2. Возможность пренебрежения случайными погрешностями.

Примечание. Случайные погрешности считают пренебрежимо малыми по сравнению с неисключенными систематическими, если

$$\frac{\theta}{S(\widetilde{A})} > 8, \qquad (1)$$

где θ — граница неисключенных систематических погрешностей результата измерения; $S(\widetilde{A})$ — среднее квадратическое отклонение случайных погрешностей результата измерения.

1.3.3. Случайные погрешности существенны, но доверительная граница погрешности результата измерения не превышает допускаемой погрешности измерений.

© Издательство стандартов, 1987

1.4. До измерения производят априорную оценку погрешности результата измерения, используя предварительные данные об измеряемой величине, условиях измерения и источниках погрешностей измерения (составляющих погрешности измерения). Если априорная оценка превышает допускаемую погрешность результата измерений, то выбирают более точное средство измерений или изменяют методику измерения.

1.5. Для определения доверительных границ погрешности результата измерения принимают вероятность, равную 0,95.

В особых случаях, например, при измерениях, которые нельзя повторить, допускается указывать доверительные границы для более высоких вероятностей.

1.6. При вычислениях следует пользоваться правилами округления в соответствии с СТ СЭВ 543—77. Погрешность результата измерения должна быть представлена не более чем двумя значащими цифрами.

2. СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

2.1. Составляющими погрешности результата однократного измерения являются погрешности: средств измерений; метода; оператора.

2.2. Погрешности средств измерений, метода и оператора могут состоять из неисключенных систематических и случайных погрешностей.

2.3. Неисключенные систематические погрешности могут быть выражены одним из способов:

границами $\pm\theta$;

доверительными границами $\pm\theta\,(P)$.

2.4. Случайные погрешности могут быть выражены одним из способов:

средним квадратическим отклонением S;

доверительными границами $\pm\varepsilon\,(P)$.

2.5. Погрешность средств измерений определяют по метрологическим характеристикам, которые указаны в нормативно-технической документации, и в соответствии с РД 50-453—84.

2.6. Погрешности метода и оператора должны быть определены в нормативно-техническом документе на конкретную методику выполнения измерений.

3. ОЦЕНИВАНИЕ НЕИСКЛЮЧЕННОЙ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

3.1. Если неисключенная систематическая погрешность имеет место только у одной из составляющих (погрешности или средства измерений, или метода, или оператора), то неисключенную систематическую погрешность результата выражают границами этой погрешности.

3.2. Доверительные границы неисключенной систематической погрешности результата измерения вычисляют следующим образом.

3.2.1. При наличии нескольких неисключенных систематических погрешностей, заданных своими границами θ_j, доверительную границу неисключенной систематической погрешности результата измерения $\theta\,(P)$ (без учета знака) вычисляют по формуле

$$\theta\,(P)=k\cdot\sqrt{\sum_{j=1}^{m}\theta^2_j}, \qquad (2)$$

где k — поправочный коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью и числом m составляющих θ_j.

При доверительной вероятности $P=0{,}90$ поправочный коэффициент k принимают равным 0,95; при доверительной вероятности $P=0{,}95$ $k=1{,}1$.

При доверительной вероятности $P=0{,}99$ поправочный коэффициент принимают равным 1,45, если число суммируемых составляющих $m>4$. Если же число составляющих равно четырем ($m=4$), то поправочный коэффициент $k\simeq 1{,}4$; при $m=3$ $k\simeq 1{,}3$; при $m=2$ $k\simeq 1{,}2$. Более точное значение k для доверительной вероятности $P=0{,}99$ при числе составляющих $m\leqslant 4$ в зависимости от соотношения составляющих l определяют по графику $k=f(m,\ l)$ в соответствии с требованиями ГОСТ 8.207—76.

Примечание. Погрешность, возникающая при использовании формулы (2) для суммирования неисключенных систематических погрешностей и при нахождении поправочного коэффициента k для доверительной вероятности $P=0{,}99$ по графику $k=f(m,\ l)$, не превышает 5 %.

3.2.2. При наличии нескольких неисключенных систематических погрешностей, заданных доверительными границами $\theta_j(P_i)$, рассчитанными по формуле (2), доверительную границу неисключенной систематической погрешности результата однократного измерения вычисляют по формуле

$$\theta\,(P)=k\cdot\sqrt{\sum_{j=1}^{m}\frac{\theta^2_j\,(P_i)}{k^2_i}}, \qquad (3)$$

где $\theta_j(P_i)$ — доверительная граница j-й неисключенной систематической погрешности, соответствующая доверительной вероятности P_i; k и k_i — коэффициенты, соответствующие доверительной вероятности P и P_i, соответственно.

Значения коэффициента k и k_i определяют в соответствии с требованиями п. 3.2.1.

4. ОЦЕНИВАНИЕ СЛУЧАЙНОЙ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

4.1. Доверительные границы случайной погрешности результата измерения вычисляют следующим образом.

4.1.1. Если случайные погрешности средств измерений (метода, оператора) представлены средними квадратическими отклонения-

ми S_i, приведенными в технической документации, то среднее квадратическое отклонение результата однократного измерения $S(\tilde{A})$ вычисляют по формуле

$$S(\tilde{A})=\sqrt{\sum_{i=1}^{m} S^2_i}, \tag{4}$$

где m — число составляющих.

Доверительную границу случайной погрешности результата измерения $\varepsilon(P)$ вычисляют по формуле

$$\varepsilon(P)=Z_{P/2}\cdot S(\tilde{A}), \tag{5}$$

где $Z_{P/2}$ — $\frac{P}{2}$ — точка нормированной функции Лапласа, отвечающая вероятности P. При доверительной вероятности $P=0{,}95$ $Z_{0{,}95/2}$ принимают равным 2, при $P=0{,}99$ — $Z_{0{,}99/2}=2{,}6$.

4.1.2. Если случайные погрешности средств измерений (метода, оператора) представлены доверительными границами $\varepsilon_i(P)$, соответствующими одной и той же вероятности, доверительную границу случайной погрешности результата однократного измерения вычисляют по формуле

$$\varepsilon(P)=\sqrt{\sum_{i=1}^{m} \varepsilon^2_i(P)}. \tag{6}$$

4.1.3. Если случайные погрешности средств измерений (метода, оператора) определяют предварительно экспериментально при ограниченном числе измерений ($n<30$), доверительную границу этой случайной составляющей вычисляют по формуле

$$\varepsilon(P)=t\sqrt{\sum_{i=1}^{m} S^2_i}, \tag{7}$$

где t — коэффициент, зависящий от доверительной вероятности P и числа измерений. В качестве коэффициента t можно использовать коэффициент Стьюдента, соответствующий числу степеней свободы той составляющей, оценка которой произведена при наименьшем числе измерений;

S_i — оценка среднего квадратического отклонения i-й составляющей (погрешности средств измерений, метода, оператора).

4.1.4. Если случайные погрешности средств измерений (метода, оператора) представлены доверительными границами, соответствующими разным вероятностям, сначала определяют среднее квадратическое отклонение результата измерения по формуле

$$S(\tilde{A})=\sqrt{\sum_{i=1}^{m} \varepsilon^2(P_i)/Z^2_{P_i/2}}\ , \tag{8}$$

а потом вычисляют доверительные границы случайной погрешности результата измерения по формуле (5).

Примечание. Если доверительные границы случайных погрешностей для некоторых составляющих определены экспериментально, то рассчитанные доверительные границы результата измерения будут несколько завышены.

5. ОЦЕНИВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

5.1. Если погрешности метода и оператора пренебрежимо малы по сравнению с погрешностью используемых средств измерений (не превышают 15 % от погрешности средств измерений), то за погрешность результата измерения принимают погрешность используемых средств измерений.

5.2. Если $\frac{\theta}{S(\tilde{A})} < 0{,}8$, то неисключенными систематическими погрешностями пренебрегают и принимают в качестве погрешности результата измерения доверительные границы случайных погрешностей (см. разд. 4).

Если $\frac{\theta}{S(\tilde{A})} > 8$, то случайными погрешностями пренебрегают и принимают в качестве погрешности результата измерения границы неисключенных систематических погрешностей (см. разд. 3).

5.3. Если $0{,}8 \leqslant \frac{\theta}{S(\tilde{A})} \leqslant 8$, то доверительную границу погрешности результата измерений вычисляют по формуле

$$\Delta(P) = K[\theta(P) + \varepsilon(P)]. \qquad (9)$$

Значения коэффициента K для доверительной вероятности 0,95 и 0,99 в зависимости от отношения $\frac{\theta}{S(\tilde{A})}$:

$\frac{\theta}{S(\tilde{A})}$	0,8	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_{0,95}$	0,76	0,74	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81
$K_{0,99}$	0,84	0,82	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85

Примечания:

1. Применение формулы (8) для вычисления погрешности результата $\Delta(P)$ сопровождается погрешностью, не превышающей 15 %.
2. Допускается применение других методов суммирования случайных и неисключенных систематических составляющих погрешностей результата измерения.

6. ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ

6.1. Форма представления результатов однократных измерений должна соответствовать МИ 1317—86.

6.2. При симметричной доверительной погрешности результат однократного измерения представляется в форме $\tilde{A}$; $\pm\Delta$; P или $\tilde{A}\pm$ $\pm\Delta$; P.

Числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрами того же разряда, что и значение погрешности Δ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Справочное

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Границы неисключенной систематической погрешности измерений — границы интервала, найденные нестатистическими методами, внутри которого находится неисключенная систематическая погрешность измерения.

Погрешность измерения задается границами в том случае, когда сведения о вероятности нахождения ее в этих границах отсутствуют.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Справочное

Расчет погрешности измерения напряжения показывающим прибором. Однократное измерение напряжения на участке электрической цепи сопротивлением $R=4$ Ом с погрешностью, не превышающей допускаемой погрешности $\pm 1{,}5\%$.

Априорные данные об исследуемом объекте. Участок электрической цепи представляет собой соединение нескольких резисторов, имеющих стабильное сопротивление. Ток в цепи — постоянный. Измерение выполняют в сухом отапливаемом помещении с температурой до 30°С при магнитном поле до 400 А/м. Предполагаемое падение напряжения на участке цепи постоянно и по размеру не превышает 1,5 В.

Для измерения выбираем вольтметр класса точности 0,5 по ГОСТ 8711—78 (приведенная погрешность 0,5 %) с верхним пределом диапазона измерений $U_{пр}=1{,}5$ В. Некоторый запас по точности средства измерений необходим в виду возможного наличия дополнительных погрешностей, погрешности метода и т. д.

Инструментальная составляющая погрешности определяется основной и дополнительной погрешностями.

Основная погрешность прибора указана в приведенной форме. Следовательно, при показании вольтметра 0,90 В предел допускаемой относительной погрешности вольтметра на этой отметке равен

$$\delta=\frac{0{,}5\cdot 1{,}5}{0{,}90}=0{,}83\%.$$

Дополнительная погрешность из-за влияния магнитного поля не превышает допускаемой погрешности $\pm 0{,}75$ % (1,5·0,5). Дополнительная температурная

погрешность, обусловленная отклонением температуры от нормальной (20 °С) на 10 °С, не превышает допускаемой погрешности $\pm(0{,}6\,\% \cdot 0{,}5) = \pm 0{,}3\,\%$.

Оценивание погрешности результата измерения. Погрешность метода определяется соотношением между сопротивлением участка цепи R и сопротивлением вольтметра R_V. Сопротивление вольтметра известно: $R_V = 1000$ Ом. При подсоединении вольтметра к цепи исходное напряжение U_x изменяется на

$$U = U_x \cdot \frac{R}{R + R_V}.$$

Отсюда методическая погрешность в абсолютной форме будет

$$\Delta_м = -\frac{R}{R + R_V} \cdot U_x.$$

В относительной форме методическая погрешность равна

$$\delta_м = -\frac{100 \cdot R}{R + R_V} = -\frac{100 \cdot 4}{1004} = -0{,}4\,\%.$$

Оцененная методическая погрешность является систематической составляющей погрешности измерений и должна быть внесена в результат измерения в виде поправки $\nabla = +0{,}004$ В. Тогда результат измерения с учетом поправки на систематическую погрешность равен

$$\tilde{A} = 0{,}90 + 0{,}004 = 0{,}904 \text{ В}.$$

Найдем границы погрешности результата измерения. Ориентировочная граница погрешности результата измерения напряжения, приближенно оцененная арифметическим суммированием, будет равна

$$\delta = 0{,}83 + 0{,}75 + 0{,}3 = 1{,}88\,\%.$$

Полученная погрешность незначительно превышает допускаемую погрешность, поэтому оценим погрешность результата измерения более точными методами, изложенными в данной методике.

Ввиду того, что основная погрешность применяемого средства измерения и его дополнительные погрешности заданы границами, следует рассматривать эти погрешности как неисключенные систематические. Воспользовавшись формулой (2) методики, найдем доверительную границу неисключенной систематической погрешности результата измерения при доверительной вероятности 0,95

$$\delta = 1{,}1 \cdot \sqrt{0{,}83^2 + 0{,}3^2 + 0{,}75^2} = 1{,}1 \cdot \sqrt{0{,}6889 + 0{,}09 + 0{,}5625} =$$

$$= 1{,}1 \cdot \sqrt{1{,}3414} = 1{,}16 \cdot 1{,}1 = 1{,}28\,\%.$$

Числовое значение погрешности можно округлить и считать, что

$$\delta = \pm 1{,}3\,\%.$$

Доверительные границы погрешности (в абсолютной форме) результата измерения:

$$\Delta = \pm 0{,}012 \text{ В}.$$

Следовательно, результат измерения в соответствии с разд. 6 следует представить в форме

$$\tilde{A} = 0{,}90 \text{ В}; \; \Delta = \pm 0{,}012 \text{ В}; \; P = 0{,}95.$$

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

Измерения прямые однократные.
Оценивание погрешностей результатов измерений

МИ 1552—86

Редактор *Т. Ф. Писарева*
Технический редактор *М. И. Максимова*
Корректор *В. С. Черная*

Н/К

Сдано в наб. 03 06.87 Подп в печ 19 08 87 Т—18418 Формат 60×90¹/₁₆ Бумага типографская № 1 Гарнитура литературная Печать высокая 0.75 усл. п л. 0,75 усл кр.-отт. 0,47 уч.-изд. л. Тираж 3000 Зак. 798 Изд. № 9578/4 Цена 3 коп.

«Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник» Москва, Лялин пер., 6

gost.e-ecolog.ru