МЕТРОЛОГИЯ И ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Лекция 10. Обработка результатов прямых однократных измерений

Обработка результатов прямых однократных измерений

Вопросы, связанные с обработкой результатов прямых однократных измерений, рассматриваются в нормативных документах в области метрологии. К таким документам относятся:

- рекомендация по метрологии Ml/11552-86 «Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей результатов измерений»;
- ГОСТ 8.009-84 «ГСП. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений»;
- Руководящий документ РД 50-453-84 «Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета»;
- ГОСТ 8.401-80 «ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования».

В соответствии с рекомендацией МИ 1552-86 обработка результатов измерений проводится на основе предварительно полученной (априорной) информации о составляющих погрешности и их законах распределения. Считается, что закон распределения случайных составляющих имеет нормальный характер, а неисключенные систематические погрешности распределяются по равномерному закону. Доверительная вероятность принимается, как правило, равной 0,95.

Обработка результатов прямых однократных измерений. Примеры

Случай 1. Имеются m неисключенных систематических погрешностей, и каждая их них задана своими границами Δ_{ci}.

В этом случае доверительная граница суммарной неисключенной систематической погрешности результата измерения $\Delta_c(P)$ оценивается по формуле

$$\Delta_c(P) = K\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\Delta_{ci}^2},$$

где K – поправочный коэффициент, зависящий от доверительной вероятности P и числа m составляющих Δ_{ci}.

При доверительной вероятности $P = 0.9$ коэффициент $K = 0.95$; при $P = 0.95$ $K = 1.1$. При $P = 0.99$ поправочный коэффициент К принимается равным 1.45, если число суммируемых слагаемых $m > 4$. Если $m = 4$, то $K = 1.4$; при $m = 3$ $K \approx 1.3$; при $m = 2$ $K \approx 1.2$. Более точные значение K при $P = 0.99$ можно найти в ГОСТ 8.207-76 из графиков $K = \varphi(m, l)$, где $l = \dfrac{\Delta_{c1}}{\Delta_{c2}}$, Δ_{c1} – максимальная граница; Δ_{c2} – граница, ближайшая к Δ_{c1}.

Обработка результатов прямых однократных измерений. Примеры

Случай 2. Имеются m неисключенных систематических погрешностей. Каждая из известных погрешностей задана доверительными границами с различными доверительными вероятностями. В этом случае

$$\Delta_c(P) = K\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\frac{\Delta_{ci}^2(P_i)}{K_i^2}},$$

где $\Delta_{ci}(P_i)$ — доверительная граница i-й неисключенной систематической погрешности, соответствующая доверительной вероятности P_i, K и K_i – коэффициенты, соответствующие доверительным вероятностям P и P_i соответственно.

Случай 3. Имеются только случайные составляющие погрешности, заданные средними квадратическими отклонениями (СКО), взятыми, например, из технической документации СИ. СКО результата однократного измерения $\sigma(\tilde{A})$ оценивают по следующей формуле:

$$\sigma(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sigma_i^2}$$

где σ_i – СКО случайных составляющих погрешностей измерения; m – число случайных составляющих погрешностей измерения.

Доверительные границы случайной погрешности результата измерения вычисляют по формуле

$$\overset{o}{\Delta}(P) = z(P)\sigma(\tilde{A}) = z(P)\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sigma_i^2}$$

где $z(P)$ – аргумент функции Лапласа для соответствующей доверительной вероятности.

Обработка результатов прямых однократных измерений. Примеры

Случай 4. Имеются только случайные составляющие, задаваемые СКО, полученные экспериментально при числе измерений $n < 30$. Для этого случая

$$\overset{o}{\Delta}(P) = t(P,n)\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sigma_i^2}$$

где $t(P,n)$ – коэффициент Стьюдента, определяемый по заданным (P) и числу (n).

Случай 5. Имеются только случайные составляющие погрешности, задаваемые доверительными границами $\overset{o}{\Delta}_i(P)$, соответствующими одинаковой доверительной вероятности. Значение доверительных границ результата измерения рассчитывается по формуле

$$\overset{o}{\Delta}(P) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}\overset{o}{\Delta}{}_i^2(P)}$$

Случай 6. Имеются только случайные составляющие погрешности, задаваемые доверительными границами $\overset{o}{\Delta}_i(P_i)$ с различными доверительными вероятностями. Для этого случая

$$\overset{o}{\Delta}(P) = z(P)\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\frac{\overset{o}{\Delta}{}_i^2(P_i)}{z^2(P_i)}} = z(P)\sigma(A)$$

где $z(P)$, $z(P_i)$ – аргументы функции Лапласа.

Обработка результатов прямых однократных измерений. Примеры

Случай 7. Имеются систематические и случайные составляющие погрешности. В этом случае порядок определения погрешности результата измерения зависит от соотношения $\Delta_c(P)/\sigma(\tilde{A})$.

Если $\Delta_c(P)/\sigma(\tilde{A}) < 0.8$, то в качестве погрешности результата измерения принимаются доверительные границы случайных погрешностей.

Если $\Delta_c(P)/\sigma(\tilde{A}) > 8$, то в качестве погрешности результата измерения принимаются границы неисключенных систематических погрешностей.

Если $0.8 \le \Delta_c(P)/\sigma(\tilde{A}) \le 8$, то доверительную границу погрешности результата измерения вычисляют по формуле

$$\Delta(P) = K_1[\Delta_c(P) + \overset{o}{\Delta}(P)]$$

Значения K_i для доверительных вероятностей 0,95 и 0,99 представлены в таблице.

$\Delta_c(P)/\sigma(\tilde{A})$	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

Во всех рассмотренных случаях форма представления результатов однократных измерений должна соответствовать МИ 1317. При симметричной доверительной погрешности результат однократного измерения представляется в форме

$$A_1; \pm\Delta;\ P \text{ или } A_1 \pm \Delta;\ P$$

Обработка результатов прямых однократных измерений. Примеры

Пример 1. Измерение напряжения U_x проводилось на резисторе $R = 10$ Ом при температуре воздуха в помещении 30°С вольтметром, имеющим равномерную шкалу от 0 до 15 В и входное сопротивление 2000 Ом. Погрешность прибора определяется по формуле $\pm(0.2 + 0.8 / U_x)\%$

Стрелка прибора остановилась на отметке 2 В. Определить результат измерения.

Основная относительная погрешность

$$\delta_0 = \pm(0.2 + 0.8 / 2)\% = 0.6\%$$

что в абсолютной форме составляет ± 0.072 В.

Дополнительная температурная погрешность, определенная по паспортным данным прибора, $\delta_T = \pm 0{,}1\%$.

При доверительной вероятности $P = 0.95$ и $m = 2$ $K = 1.1$. Следовательно, инструментальная погрешность

$$\delta(P) = 1.1\sqrt{0.6^2 + 0.1^2} = \pm 0.67\%$$

что в абсолютной форме составляет ± 0.013 В.

Методическая погрешность определяется соотношением сопротивления участка цепи ($R = 10$ Ом) и входного сопротивления вольтметра ($R_v = 2000$ Ом):

$$\Delta_м = -\frac{RU_x}{R + R_v} = \frac{10 \cdot 2}{10 + 2000} = -0.01 \text{ В}$$

С учетом методической погрешности в виде поправки $U_x = 2.01$ В. Результат измерения $U_x = (2.01 \pm 0.01)$ В; $P = 0.95$.