

# МЕТРОЛОГИЯ И ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

---

Лекция 9. Обработка результатов измерений

# Ключевые аспекты

Процесс измерений принято разделять на три этапа:

– подготовка к измерениям – следует внимательно отнестись к выбору средства измерений, обеспечивающих заданную точность измерений. При этом, как правило, возникает потребность решать противоречивую задачу выбора компромисса между точностью результата измерения и экономическими затратами. Необоснованно высокие требования по точности могут сделать измерительную задачу неоправданно сложной и дорогостоящей.

– измерение – следует уделить устранению известных систематических погрешностей.

– обработка результатов измерений – включает в себя совокупность вычислительных процедур для получения оценки результата измерения и интервала, между границами которого с определенной вероятностью находится действительное значение измеряемой физической величины.

# Обнаружение и устранение систематических погрешностей

Обнаружение и устранение систематических погрешностей проводится на протяжении всего процесса измерений:

- при подготовке к измерениям (профилактика погрешностей);
- в процессе измерений (экспериментальное исключение погрешностей);
- при обработке результатов измерений (оценка границ систематических погрешностей или внесение поправок в результат измерения).

Если причины и источники систематических погрешностей обнаружены, то можно принять меры к их устранению или исключению.

# Устранение систематических погрешностей на первом этапе

Использование для измерений только поверенных средств измерений. В процессе поверки показания поверяемого измерительного прибора  $x_{нов}$  сравнивают с показаниями рабочего эталона  $x_{эт}$  и определяют погрешность

$$\Delta = x_{нов} - x_{эт}$$

Поправка  $\nabla$  в данном случае будет равна обнаруженной погрешности взятой с противоположным знаком, т.е.

$$\nabla = -\Delta$$

Даже после внесения поправки в результат измерения, полученный с помощью поверенного СИ, неисключенный остаток систематической погрешности остается. Его можно считать равным погрешности рабочего эталона.

Калибровка средств измерений с помощью внешнего или внутреннего источника калибровочного сигнала с параметрами, заданными с высокой точностью. Для некоторых СИ, например осциллографа, эта операция проводится после каждого переключения пределов измерений, тем самым устраняется мультипликативная составляющая систематической погрешности. Аддитивная составляющая погрешности устраняется перед началом измерений, например, путем установки нулевых показаний.

Устранение факторов, определяющих возникновение погрешностей. Наиболее распространенными мероприятиями, направленными на устранение (уменьшение) влияющих факторов, являются термостатирование, экранирование, стабилизация источников питания СИ, амортизация СИ, удаление средства и объектов измерений от источников влияющих воздействий и др.

# Устранение систематических погрешностей на втором этапе

**Метод замещения** – предполагает измерение неизвестной величины ( $x$ ), а затем одноименную известную величину, воспроизводимую регулируемой мерой ( $x_m$ ). Регулируя величину меры, добиваются одинаковых показаний измерительного прибора, тогда  $x = x_m$ , т.е. за окончательный результат измерения принимают значение меры  $x_{\text{ном}}$ . Погрешность измерения при использовании этого метода определяется погрешностью меры и погрешностью, возникающей при отсчете. Так как точность мер обычно выше точности используемых измерительных приборов, данный метод во многих случаях позволяет существенно повысить точность. Устранение систематических погрешностей методом замещения широко используют в современных цифровых приборах. Например, в цифровых вольтметрах постоянного тока подстройка рабочего тока прибора осуществляется с использованием нормального элемента.

**Метод компенсации** погрешности по знаку применяется при направленном действии величины, вызывающей систематическую погрешность, т.е. когда погрешности в зависимости от условий измерения могут входить в результат измерения с противоположными знаками. Суть метода состоит в проведении двух измерений одной и той же величины ( $x$ ) таким образом, чтобы систематическая погрешность была с разными знаками:  $\alpha_1 = x + \Delta_c$ ,  $\alpha_2 = x - \Delta_c$ . Тогда искомое значение измеряемой величины, не содержащее систематической погрешности, определяется равенством

$$x = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2$$

Например, для исключения влияния напряженности внешнего постоянного электрического или магнитного поля знак погрешности изменяют поворотом измерительного прибора на  $180^\circ$ .

## Устранение систематических погрешностей на втором этапе

**Рандомизация** обычно осуществляется путем многократного измерения одной и той же величины несколькими одностипными приборами. При этом, если для одного прибора погрешность систематическая, то для каждого из ансамбля измерительных приборов она изменяется случайно. При усреднении результата ансамбля измерений систематические погрешности, присущие каждому прибору, в значительной мере компенсируются.

# Устранение систематических погрешностей на третьем этапе

Устранение обнаруженной систематической погрешности из результата измерения проводят посредством введения поправки или поправочного множителя.

**Поправкой** называется значение величины, одноименной с измеряемой, которое следует прибавить к полученному при измерении значению величины. Поправка вносится, когда погрешность носит аддитивный характер.

**Поправочный множитель** представляет собой число, на которое умножают результат измерения (при мультипликативной погрешности). После внесения поправки или поправочного множителя результат измерения называется исправленным.

# Устранение грубых погрешностей

При принятии решения о наличии грубых погрешностей нужно внимательно анализировать условия, при которых получился результат, отличающийся от ожидаемого.

Если при однократных измерениях имеются подозрения на промахи, то их можно устранить путем проведения нескольких повторных измерений.

При многократных измерениях вопрос о содержании в результате наблюдений грубых погрешностей решается методами проверки статистических гипотез.

Проверяемая гипотеза состоит в утверждении того, что результат наблюдения  $x_i$  является одним из значений измеряемой величины, т.е. не является грубой погрешностью. На основании статистических критериев проводится опровержение выдвинутой гипотезы. Если гипотеза опровергается, то результат наблюдений содержит грубую погрешность. Известно несколько таких критериев: Романовского, Райта, Шовенэ, Шарлье, Граббса и др.

# Устранение грубых погрешностей

При многократных измерениях и числе наблюдений  $n < 20$  «подозрительные» результаты наблюдений сравнивают с некоторым статистическим критерием:

$$\beta = \frac{|x_i - \bar{x}|_{\max}}{\sigma}$$

где  $|x_i - \bar{x}|_{\max}$  – максимально возможное отклонение от среднего;  $\sigma$  – среднее квадратическое значение ряда наблюдений.

Значение  $\beta$  рассчитывают при различном числе наблюдений  $n$  и различных уровнях значимости  $\alpha = 1 - P_\delta$ , где  $P_\delta$  – доверительная вероятность.

Последовательность оценки по данному методу следующая:

- упорядочивают результаты наблюдений, т.е. записывают в виде:

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n;$$

- подсчитывают среднее значение  $\bar{x}$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ ;
- находят отклонения

$$S_n = \frac{x_n - \bar{x}}{\sigma}, \quad S_1 = \frac{\bar{x} - x_1}{\sigma}$$

• результаты сравнивают с предельным отклонением  $\beta$  для данного распределения случайной величины, которое берется из справочных данных для конкретного числа наблюдений  $n$  и принятого уровня значимости  $\alpha$ . При  $S_n \geq \beta$  ( $S_1 \geq \beta$ ) результат считают аномальным и исключают.

# Устранение грубых погрешностей

Пример. Проведено 10 отсчетов уровня сигнала: 72,36; 72,35; 72,35; 72,34; 72,33; 72,37; 72,36; 72,35; 72,35; 72,36 (дБ). Проверить, содержит ли результат измерения грубую погрешность, если доверительная вероятность  $P_\sigma = 0,9$ .

Результаты измерения запишем в виде возрастающего ряда: 72,33; 72,34; 72,35; 72,35; 72,35; 72,36; 72,36; 72,36; 72,37.

Найдем среднее значение  $\bar{x}$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 72,352, \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,011$$

Определим отклонения:

$$S_{10} = \frac{x_{10} - \bar{x}}{\sigma} = 1,63; \quad S_1 = \frac{\bar{x} - x_1}{\sigma} = 2,0$$

Значения  $S_{10}$  и  $S_1$  сравним с предельным отклонением, взятым из справочных данных.

При  $\alpha = 1 - P_\sigma = 0,1$  и  $n = 10$  находим  $\beta = 2,03$ .

Вывод:  $S_{10} < 2,03$  и  $S_1 < 2,03$  следовательно, грубых погрешностей нет.