Погрешности при измерении

Точность измерений СИ определяется их погрешностью.

Погрешность средства измерений — это разность между показаниями СИ и истинным (действительным) значением измеряемой величины. Поскольку истинное значение физической величины неизвестно, то на практике пользуются ее действительным значением.

Классификация погрешностей

по форме количественного выражения:

• *абсолютная погрешность* – отклонение результата *x* от *xи* – истинного (или *xд* – действительного) значения измеряемой величины

• *относительная погрешность* – отношение абсолютной погрешности к истинному *xи* или действительному значению измеряемой величины *(xд)*
Дает возможность сравнивать качество, т.е. точность измерений).

• *приведенная погрешность* - это значение, вычисляемое как отношение значения абсолютной погрешности к нормирующему значению (потенциальная точность измерений). Нормирующем значением может быть, например, конечное значение шкалы)

по виду источника погрешности:

- *методические* – возникают из-за несовершенства метода измерений, некорректности алгоритмов или формул, по которым производятся вычисления, отличия принятой модели объекта измерений от верно описывающей его свойства, и вследствие влияния выбранного средства измерений на измеряемые параметры сигналов.

- *инструментальные погрешности* – возникают из-за несовершенства средств измерений, т.е. от их погрешностей (неточная градуировка, смещение нуля и пр.). Устраняется выбором более точного прибора.

- *внешняя погрешность* – связана с отклонением влияющих величин от нормальных значений (влияние влажности, температура, электромагнитных полей и пр.). Этот вид погрешности можно отнести к систематическим и дополнительным погрешностям средств измерения.

- *субъективная погрешность* – вызвана ошибками оператора при отчете показаний. Устраняется применением цифровых средств измерений или автоматических методов измерения.

по закономерности появления:

- *систематические погрешности* Δс – составляющие погрешности, остающиеся постоянными или закономерно изменяющиеся при многократных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях. Могут быть выявлены и уменьшены введением поправки или калибровкой полностью исключить не удается;

- *случайные погрешности* Δо – составляющие погрешности измерений, изменяющиеся случайным образом по значению и знаку при повторных измерениях одной и той же физической величины в одних и тех же условиях. Неизбежны, неустранимы, всегда имеют место в результате измерения. Их описание и оценка возможны только на основе теории вероятности и математической статистики. Их можно уменьшить многократными измерениями и последующей статистической обработкой результатов.

- *грубые погрешности (промахи)* – погрешности, существенно превышающие ожидаемые при данных условиях измерения. При многократных наблюдениях промахи выявляют и исключают из рассмотрения в соответствии с определенными правилами.

по характеру поведения измеряемой величины в процессе измерений:

•*статические* – возникают при измерении установившегося значения измеряемой величины

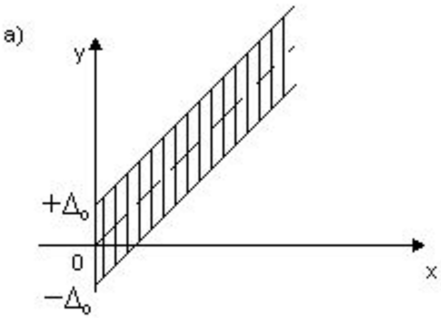
•*динамические* – возникают при динамических измерениях. Причина – несоответствия временных характеристик прибора и скорости изменения измеряемой величины.

по условиям эксплуатации средства измерения:

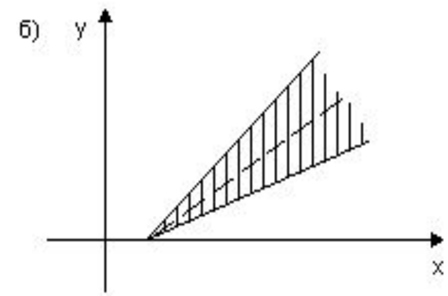
•*основная погрешность* – имеет место при нормальных условиях эксплуатации, оговоренных в паспорте или технических условиях средств измерения

•*дополнительная погрешность* – возникает из-за выхода какой-либо из влияющих величин за пределы нормальной области значений.

Аддитивная погрешность — это погрешность, возникающая по причине суммирования численных значений и не зависящая от значения измеряемой величины, взятого по модулю (абсолютного).



Мультипликативная погрешность — это погрешность, изменяющаяся вместе с изменением значений величины, подвергающейся измерениям.



При проверке СИ получают ряд значений выходной величины xi и ряд соответствующих им значений выходной величины yi если эти данные нанести на график x, y, то полученные точки разместятся в границах некоторой полосы: Если эти точки лежат в границах линий, параллельно друг другу (рис.а), т.е. абсолютная погрешность средства измерения во всем диапазоне измерений ограничена постоянным (не зависящим от текущего xi) пределом ±Δo, то такая погрешность называется аддитивной, т.е.получаемой путем сложения, или погрешностью нуля.
Если же положение границ полосы погрешностей имеет вид клина (рис.б), т.е. ширина полосы возрастает пропорционально росту входной величины xi, а при x=0 также равна 0, то погрешность называется мультипликативной, т.е. получаемой путем умножения, или погрешностью чувствительности.
Эти понятия относятся как к случайной, так и к систематической погрешностям.

Внесение известных поправок в результат измерения - исключение погрешностей вычислением.

Поправка по величине равна систематической погрешности и противоположна ей по знаку.
Величину поправки можно определить, в частности, используя метод сличения, сравнивая показания средства измерения с показаниями образцового прибора либо со значением меры в условиях, аналогичных условиям проведения измерения.

Методы исключения грубых погрешностей

Вопрос о том, содержит ли результат наблюдений грубую погрешность, решается общими методами **проверки статистических гипотез.** Проверяемая гипотеза состоит в утверждении, что результат наблюдения *xi* не содержит грубой погрешности, т.е. является одним из значений измеряемой величины. Пользуясь определенными статистическими критериями, пытаются опровергнуть выдвинутую гипотезу. Если это удается, то результат наблюдений рассматривают как содержащий грубую погрешность и его исключают.

Критерий «трех сигм» применяется для результатов измерений, распределенных по нормальному закону. Сомнительный результат отбрасывается, если

$$\left|\bar{x} - x_i\right| \succ 3\sigma\,,\ n \geq 20\ \ldots\ 50.$$

Критерий Романовского
при $n < 20$

При этом вычисляют отношение $$\left|\frac{\bar{x} - x_i}{\sigma}\right| = \beta$$

и полученное значение сравнивают с теоретическим β_τ – при выбираемом уровне значимости Р по таблице. Обычно выбирают $P = 0{,}01 \div 0{,}05$ и если

$$\beta \geq \beta_\tau$$

то результат отбрасывают.

Пример:

При диагностировании топливной системы автомобиля результаты пяти измерений расхода топлива составили 22, 24, 26, 28 и 48 $\text{л}/_{100}\text{км}$. Последний результат ставим под сомнение.

$$\bar{x} = \frac{22 + 24 + 26 + 28}{4} = 25\,\text{л}/_{100}\text{км}$$

Для оценки рассеяния отдельных результатов x_i измерения относительно среднего $\bar{x}$ определяем СКО при $n < 20$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum(x_i - \bar{x})^2}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(-3)^2 + (-1)^2 + 1^2 + 3^2}{4-1}} = \sqrt{\frac{9+1+1+9}{3}} = \sqrt{5{,}6} = 2{,}6\,\text{л}/_{100}\text{км}$$

Поскольку $n < 20$, то по критерию Романовского при $P = 0{,}01$, $n = 4$ $\beta_\tau = f(4)$, $\beta_\tau = 1{,}73$

$$\beta = \left|\frac{25 - 48}{2{,}6}\right| = 8{,}80\text{, т.к } \beta \geq \beta_\tau$$

Критерий свидетельствует о необходимости отбрасывания последнего результата.

Критерий Шовине

если число измерений невелико (до 10) $n < 10$. В этом случае промахом считается результат x_i, если разность $\left|\bar{x} - x_i\right|$ превышает значение σ, приведенное ниже, в зависимости от числа измерений

$$\left|\bar{x} - x_i\right| \succ \begin{cases} 1{,}6\sigma & при \quad n = 3 \\ 1{,}7\sigma & при \quad n = 6 \\ 1{,}9\sigma & при \quad n = 8 \\ 2{,}0\sigma & при \quad n = 10 \end{cases}$$

Пример:

Измерение силы тока дало следующие результаты: 10,07; 10,08; 10,10; 10,12; 10,13; 10,15; 10,16; 10,17; 10,20; 10,40 А. Необходимо проверить, не является ли промахом значение 10,40 А?

Подсчитаем $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{10} x_i = 10{,}16A$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{1}^{10}(x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{0{,}0083} = 0{,}094A$$

По критерию Шовине: $|10{,}16 - 10{,}40| = |0{,}24| \succ 2 \cdot 0{,}094$

$$0{,}24 > 0{,}188$$

Поэтому результат 10,40 является промахом.

УРОВЕНЬ ЗНАЧИМОСТИ $\beta_\tau = f(n)$

Вероятность, P	Число измерений						
	$n = 4$	$n = 6$	$n = 8$	$n = 10$	$n = 12$	$n = 15$	$n = 20$
0,01	1,73	2,16	2,43	2,62	2,75	2,90	3,08
0,02	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,05	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78
0,10	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

Выбор метода и средства измерений осуществляется исходя из условия выполнения измерительной задачи. Главное требование — обеспечить требуемую измерительной задачей точность измерений в данных условиях измерений.

Средства измерения линейных размеров изделий выбирают с учетом следующих основных факторов:

- производственной программы;
- особенностей конструкции изделия и точности его изготовления – допуска квалитета (IT);
- погрешности выбранного измерительного средства (ИС);
- себестоимости измерения. Допуск квалитета определяет общую допускаемую погрешность изготовления и размеров деталей и узлов машиностроительной продукции.

Класс точности средств измерений (класс точности)

- обобщенная характеристика данного типа средств измерения, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Обозначение классов точности СИ присваивают в соответствии с ГОСТ 8.401 –80 «ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования». Правила построения и примеры обозначения классов точности в документации и на средствах измерений приведены в таблице.

ОБОЗНАЧЕНИЕ КЛАССОВ ТОЧНОСТИ В ДОКУМЕНТАЦИИ И НА СРЕДСТВАХ ИЗМЕРЕНИЙ

Формула для определения пределов допускаемой основной погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности	Обозначение класса точности	
		в документации	на средстве измерений
Абсолютная: $\Delta = \pm a$	При измерении постоянного тока $\Delta = \pm 0,7$ А	Класс точности М	М
Абсолютная: $\Delta = (a + bx)$	При измерении линейно изменяющегося напряжения $\Delta = \pm(1 + 0,57x)$ мВ	Класс точности С	С
Приведенная $\gamma = \pm p$,	$\gamma = \pm 1,5$ %	Класс точности 1,5	**1,5**
	$\gamma = \pm 0,5$ %	Класс точности 0,5	$\underset{\vee}{0,5}$
Относительная $\delta = \pm q$	$\delta = \pm 0,5$ %	Класс точности 0,5	0,5
Относительная $\delta = \pm\left[c + d\left(\left\|\frac{x_k}{x}\right\| - 1\right)\right]$	$\delta = \pm\left[0,02 + 0,01\left(\left\|\frac{x_k}{x}\right\| - 1\right)\right]$	Класс точности 0,02/0,01	0,02/0,01