**5. Оценивание погрешностей измерений**

**5.1. Общие основы оценивания погрешностей измерений**

При измерении возникают разные составляющие погрешности измерения:

* Основная (при Н.У.)
* Дополнительные (неинформативные параметры входного сигнала (частота, амплитуда, фаза); свойства окружающей среды (температура, влажность, ЭМ наводки и т.д.)
* Взаимодействия (подключаемый прибор изменяет измеряемый сигнал)
* Отсчитывания (округление показания стрелки)
* Методическая (измерение массы в воздухе, сопротивление проводов при подключении омметра по двухпроводной линии, сопротивление изоляции тераомметра и т.д.)
* Динамическая (неустановившееся значение)

**При суммировании погрешности учитываются как случайные величины.**

Рассмотрим это подробнее.

Например, **основная погрешность**: производитель прибора гарантирует, что погрешность лежит в каких-то пределах.

У конкретного СИ в конкретном измерении - погрешность систематическая, те повторяется при повторе измерения (шкала ртутного термометра сбита). Но величина – неизвестна. Для конкретного экземпляра известны только пределы погрешности.

Но если провести измерения той же самой величины несколькими разными приборами, то у каждого прибора будет своя погрешность, не превышающая гарантированные производителем пределы (у каждого термометра шкала сбита по-своему). Те по множеству измерений, произведенных разными приборами, погрешность проявляется как случайная величина, ограниченная известными пределами.

(Еще раз: при множестве измерений, проведенных конкретным прибором, его погрешность имеет систематический характер, но при множестве измерений, проведенных приборами этого типа, его систематическую погрешность вынуждены учитывать как случайную величину).

ТЕ если мы взяли какой-то прибор для каких-то измерений, то его основную погрешность мы будем вынуждены учитывать как случайную величину.

Если проанализировать остальные составляющие погрешности, то придем к выводу, что их тоже следует учитывать как **случайные величины.**

При оценивании погрешности измерений обычно рассчитывают **доверительный интервал погрешности измерений для заданной вероятности.**

Результат измерений, **представляется следующим образом**:

*x*; *Δ*  от *Δн* до *Δв*; *Р* = *Рст.i*,

где *x* – округлённое измеренное значение;

*Δн*, *Δв* – округлённые нижнее и верхнее значения границ доверительного интервала погрешности;

*Рст.i* – одно из четырёх стандартных значений вероятности попадания погрешности в доверительный интервал (0,9; 0,95; 0,99; 1)

Если доверительный интервал погрешности симметричен относительно нулевого значения, т.е. *Δв* = +*Δгр*,  *Δн* =–*Δгр*, то используют **более компактную форму представления**:

*x* ± *Δгр*; *Р* = *Рст.i*,

**Правила округления** числовых значений *x*, *Δн*, *Δв*,  *Δгр*:

* значения *Δн*, *Δв*, *Δгр* округляются до двух значащих цифр (*значащие цифры в числе – это все цифры, начиная с первой ненулевой, например, 0,021 – 2 значащие цифры, 0,02100 – 4 значащие цифры, 350,00 – 5 значащих цифр, 300,05 – 5 значащих цифр)*
* значение *x* округляется до того же десятичного разряда, которым оканчивается округлённое значение характеристики погрешности

Пример. Результат измерения частоты, представленный с нарушением правил округления:

~~(12682±163)Гц;~~ *~~Р~~* ~~= 1.~~

После исправления:

(1268±16)∙10 Гц; *Р* = 1

Или

(12,68±0,16)кГц; *Р* = 1.

**Примечание.** Указанное округление *x*, *Δн*, *Δв*,  *Δгр* следует производить после завершения всех промежуточных вычислений, во время которых необходимо удерживать **не** **менее двух дополнительных значащих цифр** (во избежание накопления погрешности округления).

**5.2. Оценивание погрешностей прямых измерений**

**Общая погрешность для прямых измерений** определяется как сумма нескольких независимых **случайных** составляющих:

Δ =Δо + ∑Δд.j + Δвз +Δотс +∑ Δм.j +Δдин

где Δо – основная погрешность средства измерений;

Δд.j – дополнительная погрешность средства измерений, вызванная влиянием величины ξj ;

Δвз – погрешность взаимодействия;

Δотс– погрешность отсчитывания;

Δм.j – методические погрешности;

Δдин – динамическая погрешность.

Приведенное выражение является математической моделью погрешности прямого измерения для общего случая.

В частном случае **некоторые из указанных составляющих погрешности могут не учитываться** – одни в силу их принципиального отсутствия (например, погрешность отсчитывания не имеет смысла при измерениях, в которых не используются аналоговые измерительные приборы), другие по причине их малости в сравнении с прочими составляющими.

Распространённым **простейшим вариантом модели является выражение**

**Δ= Δо**,

Рассмотрим два метода расчёта погрешностей прямых измерений, применяемых при заданных значениях вероятности *Р* = 1 и *P* < 1 соответственно.

**5.2.1.** **Расчёт методом наихудшего случая** (*Р* = 1).

Наихудший для точности выполняемых измерений случай возникает, когда все составляющие погрешности принимают свои максимальные по модулю значения, при этом их знаки совпадают.

Такой расчёт даёт завышенную, но зато максимально надёжную, оценку погрешности. Его **применение оправдано в тех случаях**, когда получение результатов измерений, не соответствующих расчётным оценкам погрешностей, может привести к угрозе жизни или здоровью людей, или к большому материальному ущербу.

(например, альтИметр самолета)

Кроме того, данный метод расчёта погрешностей **применяют, когда невозможно использовать метод статистического суммирования.**

**Δп =Δо.п. + ∑Δд.j.п. + Δвз.п. +Δотс .п. +∑Δм .j.п. +Δдин.п.**

**Пример.** Расчёт доверительного интервала погрешности измерения и представление результата измерения для *Р* = 1.

**Исходные данные:**

Измерено напряжение постоянного тока с помощью аналогового вольтметра. Объект измерения – источник напряжения с внутренним сопротивлением *Rи* от 10 до 30 Ом.

Характеристики вольтметра:

* класс точности 0,25;

* диапазон показаний (0 – 15)В;
* конечное значение положения указателя на шкале (совпадающее с длиной шкалы) *aк* = 150 дел.;
* входное сопротивление вольтметра *RV* = (5,0±1,0) кОм;
* нормальная область температур (20,0±2,0)оС;
* рабочая область температур (10 – 35)оС.
* коэффициент дополнительной температурной погрешности: (*Δо.п* / 10оС)

Температура в момент измерения Т = 15оС.

Отсчёт по шкале вольтметра *a* = 100,5 дел. выполнен с округлением до половины деления шкалы.

**Решение:**

1. Цена деления

диапазон показаний (0 – 15)В;

конечное значение положения указателя на шкале (совпадающее с длиной шкалы) *aк* = 150 дел.;

*CU* = *Uк*/*aк* = 15 В / 150 дел. = 0,1 В/дел.

1. Измеренное значение

*U* = *a*∙*CU* = 100,5 дел.∙ 0,1 В/дел. = 10,05 В.

1. Модель погрешности измерения:

*Δ*= *Δо* + *Δд.Т* + *Δотс* + *Δвз*.

1. Предел допускаемого значения основной погрешности

класс точности 0,25;

диапазон показаний (0 – 15)В;

*Δо.п* = *γо.п* ∙ *Uк* / 100 % = 0,25 %∙ 15 В / 100 % = 0,0375 В.

1. Предел допускаемого значения дополнительной температурной погрешности

нормальная область температур (20,0 ± 2,0)оС;

рабочая область температур (10 – 35)оС.

коэффициент дополнительной температурной погрешности: (*Δо.п* / 10оС)

Температура в момент измерения Т = 15оС.

*Δд.Т.п* = (*Δо.п* / 10оС) ∙ │Т – 20оС│ = (0,0375 В / 10оС) ∙ 5оС = 0,01875 В.

1. Предел допускаемого значения погрешности отсчитывания.

Полагаем, что единственной существенной причиной погрешности отсчитывания является квантование (округление) отсчётов,

Отсчёт по шкале вольтметра *a* = 100,5 дел. выполнен с округлением до половины деления шкалы.

*Δотс.п* = 0,5∙ *q* = 0,5 ∙ 0,5 дел. ∙ *CU* = 0,025 В,

где *q* – квант напряжения, т.е. минимальное значение напряжения, на которое могут отличаться два измеренных значения вследствие округления соответствующих отсчётов по шкале аналогового вольтметра.

1. Погрешность взаимодействия

Объект измерения – источник напряжения с внутренним сопротивлением *Rи* от 10 до 30 Ом.

Входное сопротивление вольтметра *RV* = (5,0±1,0) кОм;

*Δвз* = – *U*∙*Rи* /*RV*,

*Δвз.п* = │– *U*∙*Rи.макс* /*RV.мин*│= 10,05 В ∙ 30 Ом / 4000 Ом = 0,075375 В,

.

8. Найдём предел допускаемого значения погрешности измерения для *Р* = 1 (методом наихудшего случая):

*Δп* = *Δо.п*+*Δд.Т.п* +*Δотс.п* + *Δвз.п* = (0,0375+0,01875+0,025+0,075375)В = 0,156625В.

После округления получаем:

*Δп* ≈ 0,16 В.

Результат измерения напряжения:

(10,05 ± 0,16) В; Р = 1