

Нормирование погрешностей средств измерений

Имеется два подхода к нормированию погрешностей средств измерений.

1. Единые правила установления пределов допускаемых погрешностей показаний по классам точности регламентирует ГОСТ 8.401-80. Под классом точности СИ понимают их обобщенные характеристики, определяемые пределами допускаемой основной и дополнительной погрешности. При этом нет деления на погрешность систематическую и случайную. ГОСТ 8.401-80 не устанавливает классы точности СИ, для которых предусмотрены нормы отдельно для систематической и случайной составляющих погрешностей, а так же если необходимо их учитывать динамические характеристики. Классы точности устанавливаются в тех случаях, когда погрешности СИ могут быть выражены числом или сравнительно простой формулой.

Нормирование погрешностей средств измерений

- **Второй метод сформулирован ГОСТ 8.009-84 . “ Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений”** Данный стандарт устанавливает комплекс метрологических характеристик, которые должны быть известны при выпуске СИ.
- Комплекс нормируемых характеристик должен быть полным и позволять производить расчет погрешностей СИ не только в нормальных условиях, но и в реальных условиях эксплуатации.

Нормирование погрешностей средств измерений

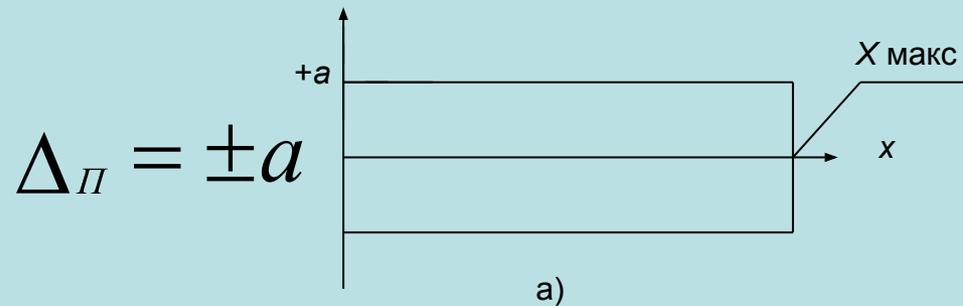
- Классы точности средств измерений

$$\Delta_{\text{П}} = \pm a; \quad \Delta_{\text{П}} = \pm (a + vx); \quad \Delta_{\text{П}} = f(x)$$

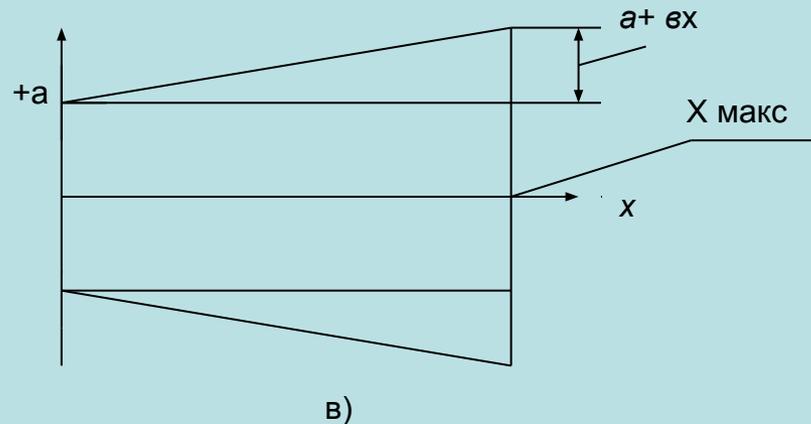
- Данные формулы характеризуют погрешности СИ разного типа. У некоторых СИ предел абсолютной погрешности не зависит от измеряемой величины, у некоторых линейно возрастает, у некоторых зависит по произвольному закону.

Нормирование погрешностей средств измерений

- Графики пределов погрешностей



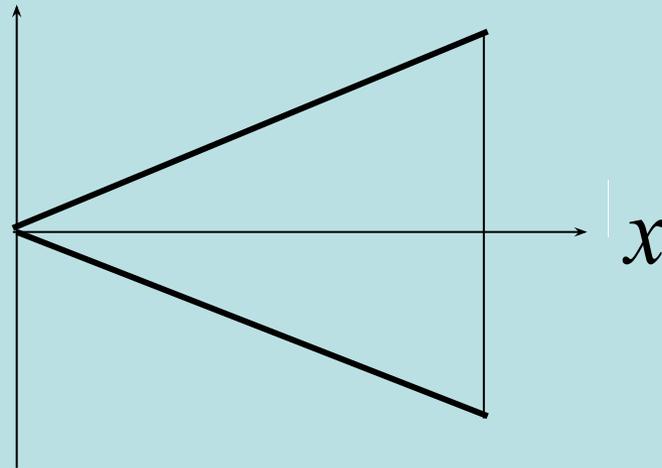
$$\Delta_{\Pi} = (a + vx)$$



Нормирование погрешностей средств измерений

Частный случай

$$\Delta_{\text{П}} = \pm vx$$



Пределы допускаемой относительной погрешности для данного случая выражаются формулой:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} = \pm q,$$

Такой вид зависимости у мостов и переменных мер.

Нормирование погрешностей средств измерений

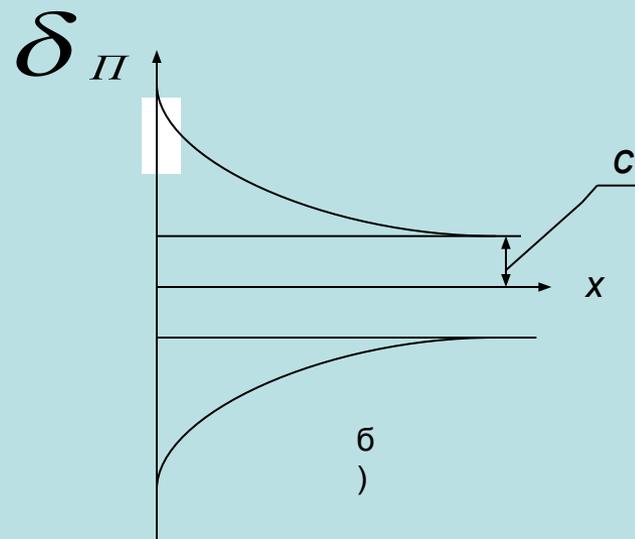
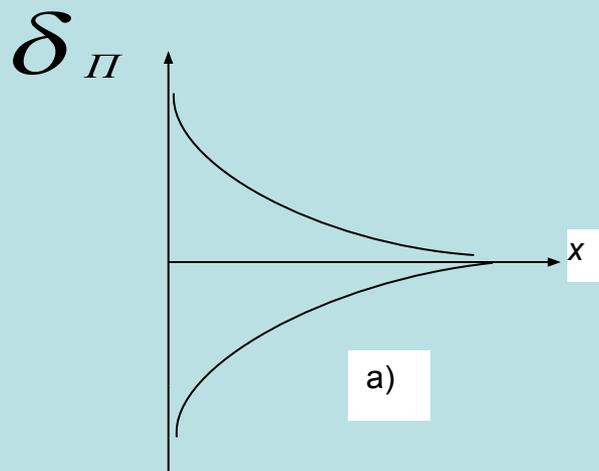
- В случае, когда погрешность зависит от измеряемой величины по линейному закону, нормирование осуществляется по формуле

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_K}{x} \right| - 1 \right) \right]$$

- где “с” и “d” – постоянные числа, X_K - предел измерения, x – измеряемая величина.

Нормирование погрешностей средств измерений

- Поля допусков для приведенных формул представлены на рисунках.



Нормирование погрешностей средств измерений

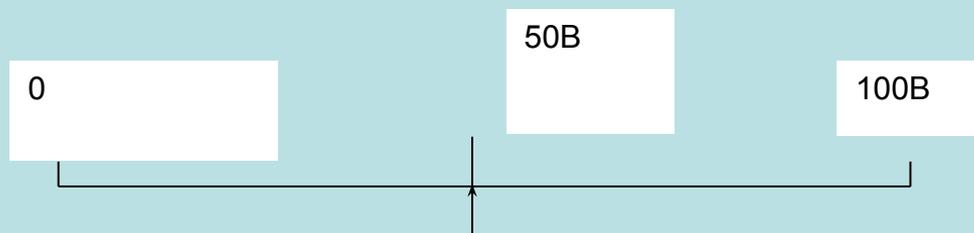
- Другой вариант нормирования- предел допускаемой приведенной погрешности:

$$\gamma = \frac{\Delta_{\text{П}}}{X_K} 100.$$

X_K – нормирующая величина, равная конечному значению шкалы

Нормирование погрешностей средств измерений

- **Примеры расчетов погрешностей.**
- Класс точности вольтметра 1,5. Верхний предел измерений Показание прибора $X=50$ В. Шкала прибора и положение стрелки показаны на рисунке.

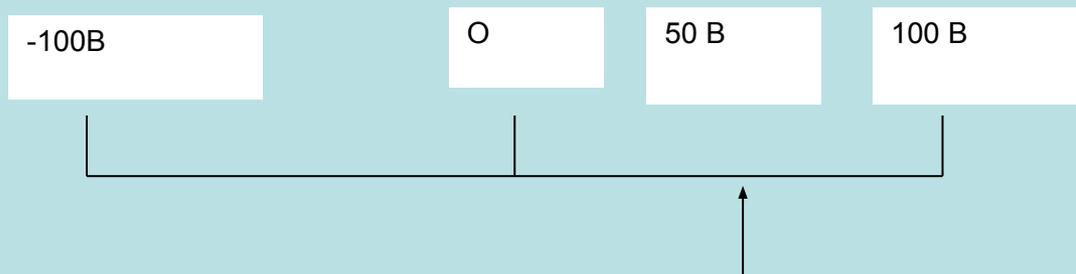


$$X_N = X_K = 100В \quad \Delta = \pm p \frac{X_N}{100} = \pm 1,5 \frac{100}{100} = \pm 1,5В$$

$$\delta = \pm p \frac{X_N}{x} = \pm 1,5 \frac{100}{50} = \pm 3\%.$$

Нормирование погрешностей средств измерений

- Пример 2
- Класс точности вольтметра 1,5. Верхний предел измерений +100 В, нижний -100 В. Показание прибора 50 В. Шкала и положение стрелки показаны на рисунке



- Решение

$$X_N = 100 + 100 = 200В$$

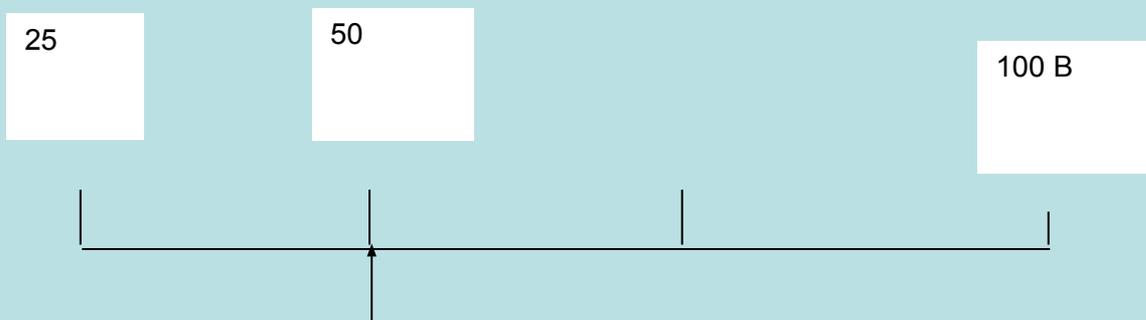
$$\gamma = 1,5$$

$$\Delta = \pm \gamma \cdot X_N = 1,5 \cdot 200 = \pm 3,0В.$$

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x_n} 100 = \pm \frac{3,0}{50} 100 = \pm 6\%.$$

Нормирование погрешностей средств измерений

- Класс точности прибора 1,5. Верхний предел измерений +100 В, нижний предел + 25 В. Показание прибора 50 В. Определить абсолютную, относительную и приведенную погрешности.



Приведенная погрешность

равна классу точности, т.е. 1,5%.

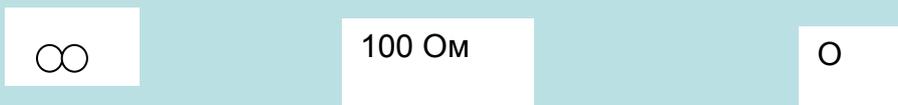
$$\Delta = \pm \gamma \cdot X_N = \pm 1,5 \cdot 100 = \pm 1,5 \text{ В.} \quad \delta = \pm \frac{\Delta}{x_n} 100 = \pm \frac{1,5}{50} 100 = \pm 3\%.$$

Нормирование погрешностей средств измерений

- Класс точности 1,0 . На средстве измерений класс точности обозначен



- Длина шкалы прибора = 10 см, показание прибора $X=5$ см, что соответствует 100 Ом. Внешний вид шкалы прибора показан на рисунке. Определить абсолютную и относительную погрешности.



$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} 100 = \pm 1,0.$$

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} = \pm p \frac{X_N}{x} = 1,0 \frac{10}{5} = 2,0$$

$$\Delta = \pm \delta \frac{x}{100} = \pm 2,0 \frac{100}{100} = \pm 2$$

- Величина x соответствует показанию прибора 100 Ом.

Нормирование погрешностей средств измерений

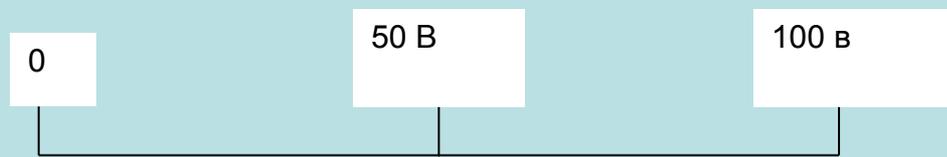
- Класс точности прибора 0,2 / 0,1. Показание прибора 33,3 В, конечное значение шкалы = 99,9. Определить абсолютную и относительную погрешности. Конечное значение шкалы 99,9 В свидетельствует, что прибор является цифровым и для решения задачи можно считать $c = 0,2\%$, а $d = 0,1\%$.

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_K}{x} \right| - 1 \right) \right] = \pm \left[0,2 + 0,1 \left(\left| \frac{99,9}{33,3} \right| - 1 \right) \right] = \pm 0,4\%.$$

Нормирование погрешностей средств измерений

- Класс точности прибора 1,5. На приборе класс точности обозначен

1.5



- Поскольку класс точности указан цифрой в кружке, у данного прибора нормирована относительная погрешность. $\delta = 1,5$
Следовательно .

- Абсолютная погрешность $\Delta = \frac{\delta x}{100} = 0,75 \text{ В.}$
- Приведенная погрешность .

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_K} 100 = \pm \frac{0,75}{100} 100 = \pm 7,5\%$$

Нормирование погрешностей средств измерений

Нормирование погрешностей измерителей уровня.

$$L = 20 \lg \frac{U}{0,775}$$

$$\Delta_{\Pi} = \pm \gamma \frac{U_K}{100}$$

$$U_K = 0,775 \cdot 10^{\frac{L_K}{20}}$$

$$\Delta_{\Pi} = \pm \frac{0,775 \gamma}{100} \cdot 10^{\frac{L_K}{20}}$$

Нормирование метрологических характеристик средств измерений.

- ГОСТ 8.009-84 “Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений”.
- Указанный стандарт дополнен весьма обстоятельным методическим материалом по его применению - РД50-453-84. “Нормирование метрологических характеристик средств измерений”.
- Данный стандарт позволяет произвести расчет погрешностей средства измерений в реальных условиях эксплуатации.
- ГОСТ 8.009-84 вводит статистические методы нормирования метрологических характеристик (МХ) средств измерений.

Нормирование метрологических характеристик средств измерений.

- Общие требования к нормируемым характеристикам средств измерений.
- ГОСТ 8.009-84 устанавливает нормируемые МХ такими, чтобы можно было осуществлять статистическое суммирование составляющих погрешности измерения. Кроме того нормируемые МХ должны:
- давать исчерпывающую характеристику всех метрологических свойств средств измерений;
- отражать определенные физические свойства средства измерений;
- служить основой для расчета некоторых производных характеристик, соответствующих различным критериям сравнения средств измерений между собой;
- легко контролироваться.

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- Номенклатура нормируемых метрологических характеристик.
- Характеристики, предназначенные для определения результатов измерений (без введения поправки):
- Функция преобразования измерительного преобразователя, а так же измерительного прибора с неименованной шкалой или шкалой, градуированной в единицах, отличных от единиц входной величины $f(x)$;
- значения однозначной или многозначной меры;
- цена деления прибора или многозначной меры;
- вид выходного кода, число разрядов кода цена единицы наименьшего разряда кода средств измерений, предназначенных для выдачи результата в цифровом коде.

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- Функция преобразования измерительного прибора- зависимость информативного параметра выходного сигнала измерительного прибора от информативного параметра его входного сигнала.
- Информативный параметр выходного сигнала средства измерения- параметр выходного сигнала, функционально связанный с информативным параметром входного сигнала измерительного преобразователя.
- Аналогично определяются эти параметры для измерительного преобразователя.

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- **Характеристики погрешности средств измерений.**
- Характеристики систематической составляющей погрешности средств измерений выбирают из числа следующих.
- Значение систематической составляющей Δ_S ,
-
- математическое ожидание $M[\Delta_S]$
- и среднее квадратическое отклонение
- систематической составляющей погрешности $\sigma[\Delta_S]$.

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- Характеристики случайной составляющей погрешности средств измерений

- среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности

$$\sigma \left[\overset{\boxtimes}{\Delta} \right]$$

- или нормализованная автокорреляционная функция

$$r_{\overset{\boxtimes}{\Delta}}(\tau)$$

- или функция спектральной плотности случайной составляющей погрешности ;

$$S_{\overset{\boxtimes}{\Delta}}(\omega)$$

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- Характеристика случайной составляющей погрешности от гистерезиса

$$\Delta_H$$

- – вариация H выходного сигнала (показания средства измерений).
- Характеристики чувствительности средств измерений к влияющим величинам
- функции влияния , $\psi(\xi)$
- изменения значений метрологических характеристик (МХ), вызванные изменениями влияющих величин в установленных пределах

$$\varepsilon(\xi)$$

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- **Динамические характеристики средств измерений**
- Полные динамические характеристики:
- переходная характеристика $h(t)$;
- импульсная переходная характеристика $g(t)$;
- амплитудно-фазовая характеристика $G(j\omega)$;
- амплитудно-частотная характеристика A для минимально-фазовых средств измерений;
- совокупность амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик;
- передаточная функция $G(S)$.

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- К частным динамическим характеристикам относят любые функционалы или параметры полных динамических характеристик:
- время реакции ;
- коэффициент демпфирования ;
- постоянную времени T ;
- значение амплитудно- частотной характеристики на резонансной частоте.

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- **Частные динамические характеристики аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и цифровых измерительных приборов (ЦИП),** время реакции которых не превышает интервала времени между двумя измерениями, соответствующего максимальной частоте (скорости) измерений: время реакции ;
- погрешность датирования отсчета ;
- максимальная частота (скорость измерения) .

- **Частные динамические характеристики ЦАП:**
- время реакции преобразователя ;
- переходная характеристика преобразователя $h(t)$.

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- Способы нормирования метрологических характеристик
- Характеристики систематической составляющей погрешности средств измерений нормируют путем установления:
- пределов (положительного и отрицательного) Δ_{SP} допускаемой систематической составляющей погрешности средств измерений данного типа или
- пределов допускаемой систематической составляющей погрешности,
- математического ожидания M и среднего квадратического отклонения систематической составляющей погрешности измерений данного типа $\sigma|\Delta_s|$.

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- Характеристики случайной составляющей погрешности нормируют путем установления:
- предела допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности средств измерения данного типа

$$\sigma_P \left[\begin{array}{c} \boxtimes \\ \Delta \end{array} \right]$$

- Характеристику случайной составляющей погрешности от гистерезиса

$$\begin{array}{c} \boxtimes \\ \Delta_H \end{array}$$

- нормируют путем установления (без учета знака) допускаемой вариации выходного сигнала (показания) средства измерений данного типа

$$H_p \cdot$$

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- **Функции влияния** нормируют путем установления: номинальной функции влияния

$$\psi_{sf}(\xi)$$

- и пределов допускаемых отклонений от нее или граничных функций влияния верхней

$$\psi^*(\xi)$$

- и нижней .

$$\psi_*(\xi)$$

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- **Возможность расчета погрешностей средств измерений в реальных условиях эксплуатации.**
- **Принято выделять четыре составляющие инструментальной погрешности:**
- **основную погрешность, обусловленную неидеальностью собственных свойств средств измерений, т.е. отличием в нормальных условиях действительных характеристик от номинальных;**
- **дополнительную погрешность, вызванную реакцией средств измерений на изменения внешних влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала относительно их нормальных значений;**

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- **Две остальные составляющие инструментальной погрешности:**
- динамическую погрешность, обусловленную реакцией средства измерений на скорость (частоту) изменения входного сигнала;
- погрешность взаимодействия, связанную с возможным изменением значения измеряемой величины относительно того значения, которое имела измеряемая величина до подключения средства измерений к объекту измерений и определение которого является целью измерений.

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

Первый метод расчета погрешности средства измерений в реальных условиях эксплуатации.

$$(\Delta_{M1})_1 = \Delta_{os} * \frac{\Delta}{\Delta_0} * \Delta_{OH} * \sum_{i=1}^l \Delta_{ci} * \Delta_{dyn} * \Delta_{int}$$

Первый метод дает вероятностную оценку погрешности СИ и основан на использовании так называемой модели 1, которая заключается в статистическом объединении характеристик пяти составляющих погрешностей СИ и составляющей

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- Основные соотношения при расчете погрешности СИ в реальных условиях эксплуатации по первому методу.
- Для рассмотрения примера расчета положим, что характеристики влияющих величин заданы, а функции влияния являются линейными

$$\psi_{s.sf}(\xi_j) K_{s.sff}(\xi_j - \xi_{ref.j})$$

- Математическое ожидание статической составляющей погрешности в общем случае вычисляется по формуле

$$M [\Delta_\xi] = M [\Delta_{os}] + \sum_{j=1}^n \psi_{s.sff}(\xi_j)$$

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- Дисперсия статической составляющей:

$$D [\Delta_{\xi}] = \sigma^2 [\Delta_{os}] + \left\{ \sigma_p [\Delta_o] + \sum_{j=1}^l \psi_{\sigma sf}(\xi_{j/}) \right\}^2 + \frac{1}{12} \left[H_{op} + \sum_{j=1}^k \psi_{Hsf}(\xi_j) \right]^2 + \frac{\mu_{sf}^2}{12}$$

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- **Пример расчета погрешности средства измерений в реальных условиях эксплуатации.**
- **Милливольтметр имеет следующие данные:**
- **Предел систематической составляющей погрешности = 10 мВ; предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей основной погрешности данного экземпляра прибора = 5 мВ; предел допускаемой вариации (гистерезиса) прибора при нормальных условиях $H_{op} = 6$ мВ.**

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- Функция влияния температуры и напряжения питания номинальные

$$\psi_{s.sf}(\xi_1) = K_{s.sf1}(\xi_1 - \xi_{ref1})$$

$$\psi_{s.sf}(\xi_2) = K_{s.sf2}(\xi_2 - \xi_{ref2})$$

$$\psi_{\sigma sf}(\xi_1) = K_{\sigma sf1}(\xi_1 - \xi_{ref1})$$

$$\psi_{\sigma sf}(\xi_2) = K_{\sigma sf2}(\xi_2 - \xi_{ref2})$$

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

- Основные соотношения при расчете погрешности СИ в реальных условиях эксплуатации по второму методу.
- В основу второго метода расчета погрешности СИ в реальных условиях эксплуатации доверительный интервал, с помощью которого оценивается погрешность вычисляется для доверительной вероятности равной 1.
- Нижняя $\Delta_{си.н}$ и верхняя $\Delta_{си.в}$ границы интервала, в которых с вероятностью $P=1$ находится погрешность СИ в реальных условиях эксплуатации, определяется по формулам:

$$\Delta_{си.в} = \Delta_{ор} + \sum_{j=1}^l \Delta_{сj} ; \quad \Delta_{си.н} = - \Delta_{си.в} ,$$

Нормирование метрологических характеристик средств измерений

Пример расчета

- Милливольтметр имеет следующие данные:
- Нормируемые метрологические характеристики:
- Предел систематической составляющей погрешности;
- предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей основной погрешности данного экземпляра прибора ;

$$\Delta_{OSP} = 10 \text{ мВ}$$

$$\sigma_P \begin{bmatrix} \Delta \\ \Delta \end{bmatrix} = 5 \text{ мВ}$$

Пример расчета

- предел допускаемой вариации (гистерезиса) прибора при нормальных условиях $H_{ор} = 6 \text{ мВ}$.
- Функция влияния температуры и напряжения питания номинальные
- $$\psi_{s.sf}(\xi_1) = K_{s.sf1}(\xi_1 - \xi_{ref1})$$
$$\psi_{s.sf}(\xi_2) = K_{s.sf2}(\xi_2 - \xi_{ref2})$$

Пример расчета

- Далее

$$\psi_{\sigma.sf}(\xi_1) = K_{\sigma.sf1}(\xi_1 - \xi_{ref1})$$

$$\psi_{\sigma.sf}(\xi_2) = K_{\sigma.sf2}(\xi_2 - \xi_{ref2})$$

$$K_{s.sf1}(\xi_1) = 0,5 \text{ мВ/}^\circ\text{C}; \quad K_{s.sf2}(\xi_2) = 0,4 \text{ мВ/В};$$

$$K_{\sigma.sf1}(\xi_1) = 0,1 \text{ мВ/}^\circ\text{C}, \quad K_{\sigma.sf2}(\xi_2) = 0,1 \text{ мВ/В}.$$

Номинальные значения влияющих величин

$$\xi_{ref1} = 20^\circ\text{C} \quad \text{и} \quad \xi_{ref2} = 220 \text{ В}.$$

Пример расчета

- Далее
- Характеристики влияющих величин:
- влияние температуры в пределах:
- $\xi_{н1} = 25 \text{ C}$; $\xi_{в1} = 35 \text{ C}$;
- влияние изменения напряжения питания в пределах: $\xi_{н2} = 200 \text{ В}$;
- $\xi_{в2} = 230 \text{ В}$.

Пример расчета

- Далее **Решение.**
- Поскольку по условиям задачи нет указаний на несимметричность распределения влияющих величин будем считать, что математическое ожидание систематической составляющей погрешности $M[\Delta]_{os} = 0$
- а математическое ожидание влияющих величин соответствует срединам интервалов, т.е.

$$M[\xi_1] = 0,5(\xi_{н1} + \xi_{б1}) = 0,5(25 + 35) = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Пример расчета

- Аналогично

$$M[\xi_2] = 0,5(\xi_{н2} + \xi_{б2}) = 0,5(200 + 230) = 215 \text{ В.}$$

Для мат. ожидания

$$M[\Delta_\xi] = M[\Delta_{os}] + K_{s.sf1} (M[\xi_1] - \xi_{ref.1}) + K_{s.sf2} (M[\xi_2] - \xi_{ref.2}) = 5 - 2 = 3 \text{ мВ}$$

Для дисперсии

$$D[\Delta_\xi] = \sigma^2[\Delta_{os}] + \left[\sigma_p[\Delta_0] + K_{\sigma.sf1} (\xi_{б1} - \xi_{ref1}) + K_{\sigma.sf2} (\xi_{н2} - \xi_{ref.2}) \right]^2 + K_{s.sf1}^2 \sigma^2[\xi_1] + K_{s.sf2}^2 \sigma^2[\xi_2] + H_{op}^2 / 12.$$

Пример расчета

- Окончательно Для случая, когда нет оснований выделить область предпочтительных значений
- систематической составляющей основной погрешности в интервале
- и области предпочтительных значений влияющих величин в заданных интервалах, на основании ГОСТ имеем:

Пример расчета

- Окончательно

$$D[\Delta_{os}] = \frac{\Delta_{osp}^2}{3} = \frac{100}{3} = 33,3 \text{ мВ}^2 ;$$

$$\sigma[\xi_1] = \frac{\xi_{B1} - \xi_{H1}}{2\sqrt{3}} = 2,9 \text{ }^\circ\text{C} ;$$

$$\sigma[\xi_2] = \frac{\xi_{B2} - \xi_{H2}}{2\sqrt{3}} = \frac{230 - 200}{2\sqrt{3}} = 8,7 \text{ В.}$$

$$D[\Delta_\xi] = 33,3 + (5 + 1,5 + 2)^2 + 0,25 \cdot 2,9^2 + 0,16 \cdot 8,7^2 + \frac{6^2}{12} = 123 \text{ мВ}^2 .$$