

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОГРЕШНОСТИ
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В РЕАЛЬНЫХ
УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ.
МЕТОДЫ РАСЧЕТА

РД 50-453-84

РАЗРАБОТАНЫ Государственным комитетом СССР по стандартам

ИСПОЛНИТЕЛИ:

В.П. Кузнецов, канд. техн. наук (руководитель темы), **В.А. Куликов**, канд. техн. наук, **Ф.А. Малинина**

ВНЕСЕНЫ Государственным комитетом СССР по стандартам

Член Госстандарта **В.И. Кипаренко**

УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 8 февраля 1984 г. № 448

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Характеристики погрешности средств измерений
в реальных условиях эксплуатации.

Методы расчета

РД

50-453-84

Введены впервые

Утверждены Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 8 февраля 1984 г. № 448.

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 28 мая 1985 г. № 1501 срок введения установлен

с 01.01.86

Настоящие методические указания устанавливают методы расчета характеристик составляющей погрешности прямых однократных измерений - погрешности средства измерений (СИ) - по нормируемым в соответствии с ГОСТ 8.009-84 метрологическим характеристикам СИ, известным характеристикам влияющих величин и входного сигнала.

Методические указания предназначены для использования при разработке нормативно-технических документов по расчету погрешности измерений или соответствующих разделов других нормативно-технических документов; при разработке методик выполнения измерений, в частности, при выборе методов измерений и СИ, обеспечивающих заданные нормы точности измерений.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Методы, рекомендуемые данными МУ, позволяют рассчитать следующие характеристики погрешности СИ.

1.1.1. Математическое ожидание $M[\Delta_{\text{СИ}}]$ и среднее квадратическое отклонение $\sigma[\Delta_{\text{СИ}}]$ погрешности СИ*.

* Список обозначений приведен в приложении 1.

1.1.2. Нижнюю $\Delta_{\text{СИ-н}}$ и верхнюю $\Delta_{\text{СИ-в}}$ границы интервала, в котором с вероятностью P находится погрешность СИ.

1.2. Для расчета характеристик погрешности СИ рекомендуется использовать один из методов, в зависимости от задач измерений, экономической целесообразности и доступной исходной информации.

1.2.1. Первый метод (п. 3.1) включает в себя расчет статистических моментов составляющих погрешности СИ и позволяет определить характеристики погрешности СИ как по п. 1.1.1, так и по п. 1.1.2.

Этот метод дает более рациональную (при числе составляющих погрешности СИ более трех) оценку погрешности СИ за счет пренебрежения редко реализующимися значениями погрешности, для чего назначается $P < 1$.

1.2.2. Второй метод (п. 3.2) включает в себя расчет наибольших возможных значений составляющих погрешности СИ и позволяет определить характеристики погрешности СИ только по п. 1.1.2 и только при $P = 1$. Этот метод дает грубую (при числе составляющих погрешности СИ более трех), хотя и надежную оценку погрешности СИ, включающую в себя редко реализующиеся значения погрешности.

Второй метод расчета целесообразно использовать, если:

хотя бы маловероятное нарушение требований к точности измерений может привести к серьезным отрицательным техническим или экономическим последствиям или связано с угрозой здоровью и жизни людей;

завышение требований к метрологическим характеристикам СИ, к которому ведет применение данного метода расчета при заданной норме точности измерений, и связанные с этим дополнительные затраты не препятствуют применению таких СИ.

1.3. В данных методических указаниях излагаются методы расчета, для которых в качестве исходных данных используются комплексы метрологических характеристик СИ, предусмотренные ГОСТ 8.009-84. В обоснованных случаях, в частности, для комплексов метрологических характеристик, отличающихся от предусмотренных ГОСТ 8.009-84, допускается применение других методов расчета характеристик погрешности СИ.

1.4. Характеристики погрешности СИ, рассчитанные в соответствии с настоящими методическими указаниями, в общем случае не следует отождествлять с характеристиками погрешности измерений. Помимо погрешности СИ погрешность измерений включает в себя методическую составляющую; составляющую от взаимодействия СИ с объектом измерений; составляющую, вносимую оператором при отсчете результатов измерений, методы расчета характеристик которых в данных методических указаниях не рассматриваются.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. Для расчета характеристик погрешности СИ в реальных условиях эксплуатации необходимо располагать следующими исходными данными:

- нормируемыми метрологическими характеристиками СИ (пп. 2.2.1 или 2.3.1);
- характеристиками влияющих величин (пп. 2.2.2 или 2.3.2);
- характеристиками входного сигнала (пп. 2.2.3 или 2.3.3).

2.2. В качестве исходных данных при расчете характеристик погрешности СИ первым методом (п. 3.1) используются следующие характеристики.

2.2.1. Нормируемые метрологические характеристики СИ:

математическое ожидание $M[\Delta_{os}]$ систематической составляющей основной погрешности СИ;

среднее квадратическое отклонение $\sigma[\Delta_{os}]$ систематической составляющей основной погрешности СИ;

предел $\sigma_p[\Delta_o]$ допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей основной погрешности СИ;

предел H_{op} допускаемой вариации СИ при нормальных условиях;

номинальная цена μ_{sf} единицы наименьшего разряда кода цифрового измерительного прибора (аналого-цифрового измерительного преобразователя);

номинальные функции влияния $\Psi_{s,sf}(\xi_j) j = 1, 2 \dots n$ на систематическую составляющую погрешности СИ;

номинальные функции влияния $\Psi_{\sigma,sf}(\xi_j) j = 1, 2 \dots l$ на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности СИ;

номинальные функции влияния $\Psi_{n,sf}(\xi_j) j = 1, 2 \dots k$ на вариацию СИ;

одна из полных динамических характеристик СИ: номинальная переходная характеристика $h_{sf}(t)$, номинальная импульсная переходная характеристика $g_{sf}(t)$, номинальная амплитудно-фазовая характеристика $G_{sf}(j\omega)$, номинальная передаточная функция $G_{sf}(S)$.

Примечания:

1. Перечисленные нормируемые метрологические характеристики указываются в нормативно-технической документации на СИ как характеристики любого экземпляра СИ данного типа. Вместо этих характеристик в качестве исходных данных могут использоваться индивидуальные метрологические характеристики СИ, определяемые в результате исследования конкретного экземпляра СИ:

наибольшая возможная по абсолютной величине Δ_{sm} неисключенная систематическая составляющая погрешности СИ;

среднее квадратическое отклонение $\sigma[\Delta_o]$ случайной составляющей погрешности СИ;

вариация H СИ;
цена μ единицы наименьшего разряда кода цифрового измерительного прибора (аналого-цифрового измерительного преобразователя);
функции влияния $\Psi_j(\xi_j), j = 1, 2 \dots n$ на систематическую составляющую погрешности СИ;
функции влияния $\Psi_\alpha(\xi_j), j = 1, 2 \dots l$ на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности СИ;
функции влияния $\Psi_n(\xi_j), j = 1, 2 \dots k$ на вариацию СИ;
одна из полных динамических характеристик СИ: переходная характеристика $h(t)$ импульсная переходная характеристика $g(t)$, амплитудно-фазовая характеристика $G(j\omega)$, передаточная функция $G(S)$.

2. В п. 2.2.1 указаны только те метрологические характеристики СИ из числа вошедших в комплексы, предусмотренных в ГОСТ 8.009-84, которые необходимы для расчета характеристик погрешности СИ.

3. В исходные данные могут входить не все метрологические характеристики, перечисленные в п. 2.2.1 и в примечании 1 к нему, если некоторые из них несущественны для СИ.

2.2.2. Характеристики влияющих величин ξ_j .

2.2.2.1. Значения $\xi_j, j = 1, 2 \dots n$ (l, k) влияющих величин.

2.2.2.2. Математические ожидания $M[\xi_j]$, средние квадратические отклонения $\sigma[\xi_j]$, наименьшие ξ_{nj} и наибольшие ξ_{vj} значения влияющих величин, соответствующие реальным условиям эксплуатации СИ, $j = 1, 2 \dots n$ (l, k).

2.2.3. Характеристики входного сигнала x : спектральная плотность $S_x(\omega)$ или автокорреляционная функция $R_x(\tau)$ входного сигнала СИ, соответствующие реальным условиям эксплуатации СИ.

2.3. В качестве исходных данных при расчете характеристик погрешности СИ вторым методом (п. 3.2) используются следующие характеристики.

2.3.1. Нормируемые метрологические характеристики СИ: предел Δ_{op} допускаемых значений основной погрешности СИ;

наибольшие допускаемые изменения $\varepsilon_p(\xi_j), j = 1, 2 \dots n$ погрешности СИ, вызванные изменением влияющих величин или неинформативных параметров входного сигнала (в дальнейшем, влияющих величин) ξ_j - в установленных пределах;

номинальная амплитудно-частотная характеристика $A_{sf}(\omega)$ СИ.

2.3.2. Характеристики влияющих величин ξ_j .

2.3.2.1. Значения $\xi_j, j = 1, 2 \dots n$ влияющих величин.

2.3.2.2. Наименьшие ξ_{nj} и наибольшие $\xi_{vj}, j = 1, 2 \dots n$ значения влияющих величин, соответствующие реальным условиям эксплуатации СИ.

Примечание. Под реальными условиями эксплуатации СИ понимаются условия конкретного применения СИ, составляющие часть или, в частном случае, совпадающие с рабочими условиями, регламентированными в нормативно-технической документации на СИ.

2.3.3. Характеристики входного сигнала x : нижняя ω_n и верхняя ω_v границы спектра частот реального входного сигнала СИ.

2.4. Все исходные данные, используемые для расчета, должны быть приведены к одной и той же точке схемы измерений: входу или выходу СИ и выражены в единицах, обеспечивающих получение всех составляющих погрешности СИ в одних и тех же абсолютных или относительных (в долях или процентах от одного и того же значения измеряемой величины) единицах.

3. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

3.1. Первый метод расчета характеристик погрешности СИ в реальных условиях эксплуатации (примеры расчета см. в приложении 2).

3.1.1. Математическое ожидание $M[\Delta_\xi]$ статической составляющей погрешности СИ при реальных значениях влияющих величин вычисляется по формулам:

если исходные данные о влияющих величинах ξ_j заданы в соответствии с п. 2.2.2.1, то

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

если исходные данные о влияющих величинах ξ_j - заданы в соответствии с п. 2.2.2.2, то

$$M[\Delta_{\xi}] = M[\Delta_{os}] + \sum_{j=1}^n M[\psi_{s.sf}(\xi_j)] \quad (2)$$

Суммирование выполняется для n влияющих величин, для которых нормированы метрологические характеристики $\psi_{s.sf}(\xi_j)$, $j = 1, 2 \dots n$ СИ по п. 2.2.1 и значения которых в момент измерения отличаются от установленных для данного СИ нормальных значений.

31.1.1. Для линейных функций влияния $\psi_{s.sf}(\xi_j) = K_{s.sfj}(\xi_j - \xi_{ref.j})$ значения $M[\psi_{s.sf}(\xi_j)]$ вычисляются по формуле

$$M[\psi_{s.sf}(\xi_j)] = K_{s.sfj}(M[\xi_j] - \xi_{ref.j}) \quad (3)$$

3.1.2.1. Для вычисления $M[\psi_{s.sf}(\xi_j)]$ нелинейной функции влияния $\psi_{s.sf}(\xi_j)$ необходимы данные о законе распределения $\varphi(\xi_j)$ влияющей величины ξ_j

$$M[\psi_{s.sf}(\xi_j)] = \int_{\xi_w}^{\xi_{ef}} \psi_{s.sf}(\xi_j) \cdot \varphi(\xi_j) d\xi_j \quad (4)$$

Приближенные значения $M[\psi_{s.sf}(\xi_j)]$ нелинейных функций влияния вычисляются по формуле

$$M[\psi_{s.sf}(\xi_j)] = \psi_{s.sf}(M[\xi_j]) + 0,5\psi_{s.sf}''(M[\xi_j]) \cdot \sigma^2[\xi_j] \quad (5)$$

Примечания:

1. Если для СИ нормирован предел Δ_{osp} допускаемых значений систематической составляющей основной погрешности без указания значения $M[\Delta_{os}]$ и если нет оснований предполагать несимметричность распределения указанной погрешности в пределах Δ_{osp} , то допускается для расчетов характеристик погрешности СИ пользоваться предположением $M[\Delta_{os}] = 0$.

2. Для СИ с индивидуальными метрологическими характеристиками (п. 2.2.1, примечание 1) для расчетов характеристик погрешности СИ принимается $M[\Delta_{os}] = 0$.

3. Если для j -й влияющей величины известны только ее наименьшее ξ_{nj} и наибольшее ξ_{bj} значения, соответствующие реальным условиям эксплуатации СИ, и нет оснований выделить области предпочтительных значений влияющей величины в границах от ξ_{nj} до ξ_{bj} , несимметрично расположенные относительно центра интервала, определяемого указанными границами, то допускается для расчетов характеристик погрешности СИ пользоваться предположением

$$M[\xi_j] = 0,5 \cdot (\xi_{nj} + \xi_{bj}).$$

3.1.2. Дисперсия $D[\Delta_{\xi}]$ статической составляющей погрешности СИ при реальных значениях влияющих величин вычисляется по формулам:

если исходные данные о влияющих величинах ξ_j заданы в соответствии с п. 2.2.2.1, то

$$D[\Delta_{\xi}] = \sigma^3[\Delta_{os}] + \left\{ \sigma_p[\Delta_o] + \sum_{j=1}^l \psi_{s.sim}(\xi_j) \right\}^2 + \frac{1}{12} \left[H_{op} + \sum_{j=1}^k \psi_{n.sim}(\xi_j) \right]^2 + \frac{\mu_{sf}^2}{12}, \quad (6)$$

если исходные данные о влияющих величинах ξ_j заданы в соответствии с п. 2.2.2.2, то

$$D[\Delta_{\xi}] = \sigma^2[\Delta_{os}] + \sum_{j=1}^n D[\psi_{s.sf}(\xi_j)] + \left[\sigma_p[\Delta_o] + \sum_{j=1}^l \psi_{s.sim}(\xi_j) \right]^2 + \frac{1}{12} \left[H_{op} + \sum_{j=1}^k \psi_{n.sim}(\xi_j) \right]^2 - \frac{\mu_{sf}^2}{12}. \quad (7)$$

Для аналоговых СИ $\mu_{sf} = 0$.

Суммирование выполняется для n , l и k влияющих величин, для которых нормированы метрологические характеристики $\psi_{s,sf}(\xi_j)$, $j = 1, 2 \dots n$; $\psi_{\sigma,sf}(\xi_j)$, $j = 1, 2 \dots l$; $\psi_{h,sf}(\xi_j)$, $j = 1, 2 \dots k$ по п. 2.2.1 и значения которых в момент измерения отличаются от установленных для данного СИ нормальных значений.

3.1.2.1. Для линейных функций влияния $\psi_{s,sf}(\xi_j) = K_{s,sfj} \cdot (\xi_j - \xi_{ref,j})$ значение $D[\psi_{s,sf}(\xi_j)]$ вычисляется по формуле

$$D[\psi_{s,sf}(\xi_j)] = K_{s,sfj}^2 \sigma^2(\xi_j). \quad (8)$$

3.1.2.2. Для вычисления $D[\psi_{s,sf}(\xi_j)]$ нелинейной функции влияния $\psi_{s,sf}(\xi_j)$ необходимы данные о законе распределения $\varphi(\xi_j)$ влияющей величины ξ_j

$$D[\psi_{s,sf}(\xi_j)] = \int_{\xi_w}^{\xi_n} \{\psi_{s,sf}(\xi_j) - M[\psi_{s,sf}(\xi_j)]\}^2 \varphi(\xi_j) d\xi_j. \quad (9)$$

Приближенные значения $D[\psi_{s,sf}(\xi_j)]$ для нелинейных функций влияния вычисляются по формуле

$$D[\psi_{s,sf}(\xi_j)] = [\psi'_{s,sf}(M[\xi_j])]^2 \sigma^2[\xi_j] + 0,4 [\psi''_{s,sf}(M[\xi_j])]^2 \sigma^4[\xi_j] \quad (10)$$

где $M[\psi_{s,sf}(\xi_j)]$ - вычисляется в соответствии с (4), (5).

Примечания:

1. Если для СИ нормирован предел Δ_{osp} допускаемых значений систематической составляющей основной погрешности без указания значения $\sigma[\Delta_{os}]$ и если нет оснований предполагать несимметричность и полимодальность распределения указанной погрешности в пределах Δ_{osp} , то допускается для расчетов

характеристик погрешности СИ пользоваться предположением $\sigma[\Delta_{os}] = \Delta_{osp} / \sqrt{3}$.

2. Для СИ с индивидуальными метрологическими характеристиками (п. 2.2.1, примечание 1) для расчетов характеристик погрешности СИ принимается $\sigma[\Delta_{os}] = \Delta_{sm} / \sqrt{3}$.

3. Если для j -й влияющей величины известны только ее наименьшее ξ_{nj} и наибольшее ξ_{bj} значения, соответствующие реальным условиям эксплуатации СИ, и нет оснований выделить области предпочтительных значений влияющей величины в границах от ξ_{nj} до ξ_{bj} , за исключением, может быть, области вокруг центра интервала, определяемого указанными границами, то допускается для расчетов характеристик погрешности СИ пользоваться предположением

$$\sigma[\xi_j] = (\xi_{bj} - \xi_{nj}) / 2\sqrt{3}.$$

3.1.3. Дисперсия $D[\Delta_{dyn}]$ приведенной к выходу динамической составляющей погрешности аналогового СИ вычисляется по формуле

$$D[\Delta_{dyn}] = 2 \int_0^{\infty} |G_{sf}(j\omega) - G_{sf}(j\omega_0)|^2 S_x(\omega) d\omega. \quad (11)$$

Примечания:

1. Если в качестве характеристики входного сигнала задана его автокорреляционная функция $R_x(\tau)$ (п. 2.2.3), то предварительно вычисляется спектральная плотность входного сигнала по формуле

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau. \quad (12)$$

2. Если в качестве динамической характеристики нормирована передаточная функция $G_{sf}(S)$ (п. 2.2.1), то предварительно заменой аргумента S на $j\omega$ получают амплитудно-фазовую характеристику $G_{sf}(j\omega)$.

3. Если в качестве динамической характеристики нормирована импульсная переходная характеристика $g_{sf}(t)$, то предварительно вычисляют амплитудно-фазовую характеристику $G_{sf}(j\omega)$ по формуле

$$G_{sf}(j\omega) = \int_0^{\infty} g_{sf}(t) e^{-i\omega t} dt. \quad (13)$$

4. Если в качестве динамической характеристики нормирована переходная характеристика $h_{st}(t)$, то предварительно вычисляют амплитудно-фазовую характеристику по формуле

$$G_{st}(j\omega) = j\omega \int_0^{\infty} h_{st}(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (14)$$

5. Рекомендуемые методы расчета динамической погрешности применимы для таких аналоговых СИ, которые могут рассматриваться как линейные.

6. Динамическая погрешность цифровых СИ рассчитывается в соответствии с рекомендациями РД 50-148-79 «Нормирование и определение динамических характеристик аналого-цифровых преобразователей мгновенного электрического напряжения и тока».

3.1.4. Определение характеристик погрешности СИ в реальных условиях его эксплуатации.

3.1.4.1. Характеристики погрешности СИ по п. 1.1.1 вычисляются по формулам

$$M[\Delta_{СИ}] = M[\Delta_{\xi}], \quad (15)$$

$$\sigma[\Delta_{СИ}] = \sqrt{D[\Delta_{\xi}] + D[\Delta_{\text{дуп}}]}. \quad (16)$$

3.1.4.2. Характеристики погрешности СИ по п. 1.1.2 вычисляются по формулам

$$\Delta_{СИ.Н} = M[\Delta_{СИ}] - K\sigma[\Delta_{СИ}], \quad (17)$$

$$\Delta_{СИ.В} = M[\Delta_{СИ}] + K\sigma[\Delta_{СИ}]. \quad (18)$$

3.1.5. Значение K зависит от вида закона распределения погрешности $\Delta_{СИ}$ и выбранного значения вероятности P . Приближенное значение K может быть найдено в соответствии с рекомендациями пп. 3.1.5.1 и 3.1.5.2.

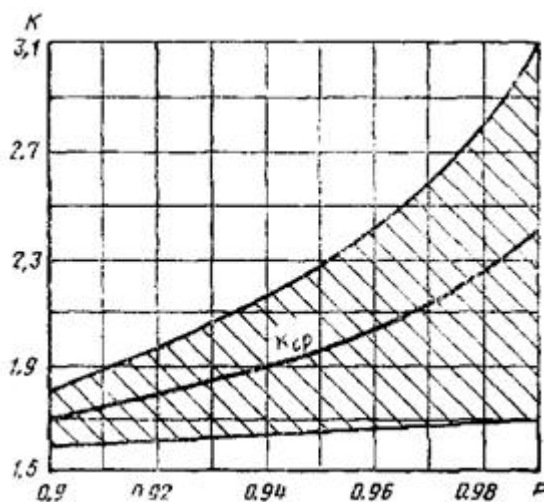
3.1.5.1. Если закон распределения погрешности $\Delta_{СИ}$ может быть отнесен к числу симметричных законов распределения с невозрастающей плотностью по мере удалений от центра распределения, то в качестве значения K может быть принято $K_{ср}$. График зависимости $K_{ср}(P)$ приведен на рисунке.

Заштрихованная на рисунке область соответствует возможным значениям K . Разность между кривой $K_{ср}$ и любой из граничных кривых определяет погрешность коэффициента $K_{ср}$ (при $P = 0,95$ эта погрешность лежит в границах $\pm 16\%$, при $P = 0,99$ - в границах $\pm 30\%$).

3.1.5.2. Для грубых, ориентировочных расчетов, если есть основания предполагать, что закон распределения погрешности $\Delta_{СИ}$ примерно удовлетворяет условиям п. 3.1.5.1, значение K может вычисляться по формуле

$$K = 5 \cdot (P - 0,5) \text{ для } 0,8 \leq P < 1 \quad (19)$$

Эта формула дает значения K несколько завышенные по отношению $K_{ср}$



3.1.5.3. Если для закона распределения погрешности $\Delta_{СИ}$, удовлетворяющего условиям п. 3.1.5.1, известна оценка параметра λ , равного $\lambda = \Delta / 2\sigma$, где Δ - основание усеченной функции плотности распределения вероятностей (т.е. длина интервала погрешности, соответствующая $P = 1$), то значения коэффициента K могут выбираться по таблице, где также указана δ_K , % - наибольшая возможная относительная погрешность K .

P	Значения K (числитель) и δ_K , % (знаменатель) при λ				
	2	3	4	5	6
0,90	$\frac{1,6}{7}$	$\frac{1,7}{25}$	$\frac{1,5}{40}$	$\frac{1,2}{65}$	-
0,95	$\frac{1,7}{8}$	$\frac{2,0}{25}$	$\frac{2,1}{40}$	$\frac{2,0}{45}$	$\frac{1,9}{55}$
0,98	$\frac{1,8}{8}$	$\frac{2,2}{25}$	$\frac{2,5}{40}$	$\frac{2,7}{45}$	$\frac{2,7}{50}$

3.2. Второй метод расчета характеристик погрешности СИ в реальных условиях эксплуатации.

3.2.1. Наибольшее по абсолютной величине возможное значение $\Delta_{СИ}$ дополнительной погрешности СИ от j -й, влияющей величины вычисляется по формуле

$$\Delta_{СИ} = \varepsilon_p(\xi_j) \cdot K_2(\xi_j), \quad (20)$$

где

$$K_2(\xi_j) = \begin{cases} 0, & \text{если } \xi_j = \xi_{ref,j} \\ 1, & \text{если } \xi_j \neq \xi_{ref,j} \end{cases} \quad (21)$$

если диапазон изменения $\Delta\xi_{ej}$, влияющей величины, для которого нормирована метрологическая характеристика $\varepsilon_p(\xi_j)$, равен диапазону рабочих условий применения СИ; или

$$K_2(\xi_j) = \frac{|\xi_j - \xi_{ref,j}|}{\Delta\xi_{ej}} \quad (22)$$

если диапазон изменения $\Delta\xi_{ej}$ влияющей величины, для которого нормирована метрологическая характеристика $\varepsilon_p(\xi_j)$, равен лишь части диапазона рабочих условий применен СИ, причем для любой части рабочих условий нормируется одно и то же значение $\varepsilon_p(\xi_j)$.

Примечание. Выражение (21) предполагает наихудший из всех возможных характер зависимости (ступенчатая функция) дополнительной погрешности СИ $\Delta_{СИ}$ от ξ_j в рабочей области значений влияющей величины. Если в результате исследования определена функция влияния конкретного экземпляра СИ, то расчет $\Delta_{СИ}$ может производиться с использованием этой функции влияния. Например, если в результате исследования установлен линейный характер зависимости $\Delta_{СИ}$ от ξ_j , то для расчета может использоваться выражение (22) вместо (21).

3.2.1.1. Если исходные данные о влияющих величинах ξ_j заданы в соответствии с п. 2.3.2.1, то при определении значения $K_\varepsilon(\xi_j)$ в соответствии с выражениями (21) и (22) в качестве ξ_j используются конкретные значения влияющей величины.

3.2.1.2. Если исходные данные о влияющих величинах заданы в соответствии с п. 2.3.2.2, то при определении значения $K_\varepsilon(\xi_j)$ в соответствии с выражениями (21) и (22) в качестве ξ_j используется то из значений ξ_{Hj} или ξ_{Bj} , при котором $K_\varepsilon(\xi_j)$ имеет наибольшее значение.

3.2.2. Оценка сверху относительного значения $\delta_{\text{dyn.m}}$ динамической погрешности для СИ с линейной фазовочастотной характеристикой вычисляется по формуле

$$\delta_{\text{dyn.m}} = \left| 1 - \frac{A_{\text{sf}}(\omega_0)}{A_{\text{sf}}(\omega_m)} \right| \quad (23)$$

где $A_{\text{sf}}(\omega_0)$ - номинальная амплитудно-частотная характеристика при нормальном значении ω_0 частоты;

$A_{\text{sf}}(\omega_m)$ - номинальная амплитудно-частотная характеристика, наиболее отклоняющаяся на интервале $\omega_n \leq \omega_m \leq \omega_v$ (п. 2.3.3) от значения $A_{\text{sf}}(\omega_0)$

3.2.3. Нижняя $\Delta_{\text{си.н}}$ и верхняя $\Delta_{\text{си.в}}$ - границы интервала, в котором с вероятностью $P = 1$ находится погрешность СИ в реальных условиях эксплуатации (п. 1.1.2), вычисляются по формулам

$$\Delta_{\text{си.в}} = \Delta_{\text{ор}} + \sum_{j=1}^n \Delta_{\text{с.м}} + \delta_{\text{dyn.m}} R; \quad (24)$$

$$\Delta_{\text{си.н}} = - \Delta_{\text{си.в}}, \quad (25)$$

где R - результат измерения.

Суммирование выполняется для n влияющих величин, для которых нормированы метрологические характеристики $\varepsilon_p(\xi_j)$ $j = 1, 2 \dots n$ СИ по п. 2.3.1 и значения которых в момент измерения отличаются от установленных для данного СИ нормальных значений.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $\Delta_{\text{СИ}}$ - погрешность СИ в реальных условиях эксплуатации;
 $\Delta_{\text{СИ.Н}}$, $\Delta_{\text{СИ.В}}$ - нижняя и верхняя границы интервала, в котором с вероятностью P находится погрешность СИ;
 $\Delta_{\text{ос}}$ - систематическая составляющая основной погрешности СИ;
 $\Delta_{\text{см}}$ - наибольшее возможное по абсолютной величине значение не исключенной систематической составляющей погрешности конкретного экземпляра СИ;
 $\sigma_p[\Delta^{\circ}_0]$ - предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей основной погрешности конкретного экземпляра СИ;
 $H_{\text{оп}}$ - предел допускаемой вариации СИ при нормальных условиях
 μ_{sf} - номинальная цена единицы наименьшего разряда кода цифрового измерительного прибора (аналого-цифрового измерительного преобразователя);
 $\psi_{\text{s.sf}}(\xi_j)$ - номинальная функция влияния j -й влияющей величины на систематическую составляющую погрешности СИ;
 $\psi_{\sigma.\text{sf}}(\xi_j)$ - номинальная функция влияния j -й влияющей величины на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности СИ;
 $\psi_{\text{н.sf}}(\xi_j)$ - номинальная функция влияния j -й влияющей величины на вариацию СИ;
 $\epsilon_p(\xi_j)$ - наибольшее допускаемое изменение погрешности СИ, вызванное отклонением j -й влияющей величины от нормального значения;
 $\Delta\xi_{ej}$ - приращение j -й влияющей величины, для которой нормирована метрологическая характеристика $\epsilon_p(\xi_j)$;
 $K_{\text{s.sfj}}$ - номинальный коэффициент влияния j -й влияющей величины на систематическую составляющую погрешности СИ;
 $K_{\sigma.\text{sfj}}$ - номинальный коэффициент влияния j -й влияющей величины на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности СИ;
 $K_{\text{н.sfj}}$ - номинальный коэффициент влияния j -й влияющей величины на вариацию СИ;
 $\Delta_{\text{оп}}$ - предел допускаемой основной погрешности СИ;
 $h_{\text{sf}}(t)$ - номинальная переходная характеристика СИ;
 $g_{\text{sf}}(t)$ - номинальная импульсная переходная характеристика СИ;
 $G_{\text{sf}}(j\omega)$ - номинальная амплитудно-фазовая характеристика;
 $G_{\text{sf}}(S)$ - номинальная передаточная функция;
 $A_{\text{sf}}(\omega)$ - номинальная амплитудно-частотная характеристика;
 ξ_j - j -я влияющая величина;
 $\xi_{\text{ни}}$, $\xi_{\text{еj}}$ - наименьшие и наибольшие значения j -й влияющей величины, соответствующие реальным условиям эксплуатации СИ;
 $\xi_{\text{ref.j}}$ - нормальное значение j -й влияющей величины;
 $\varphi(\xi_j)$ - закон распределения влияющей величины ξ_j ;
 X - значение входного сигнала;
 $\omega_{\text{н}}$, $\omega_{\text{в}}$ - нижняя и верхняя границы спектра частот входного сигнала СИ;
 $S_x(\omega)$ - спектральная плотность входного сигнала СИ;
 $R_x(\tau)$ - автокорреляционная функция входного сигнала СИ;
 Δ_{ϵ} - статическая составляющая погрешность СИ при реальных значениях влияющих величин;
 $\psi_{\text{s.sf}}(M[\xi_j])$ - номинальная функция влияния $\psi_{\text{s.sf}}(\xi_j)$ при $\xi_j = M[\xi_j]$;
 $\psi'_{\text{s.sf}}(M[\xi_j])$, $\psi''_{\text{s.sf}}(M[\xi_j])$ - первая и вторая производные от номинальной функции влияния $\psi_{\text{s.sf}}(\xi_j)$ при $\xi_j = M[\xi_j]$;

$\Psi_{н.сfm}(\xi_j)$, $\Psi_{\sigma.сfm}(\xi_j)$ - наибольшие на интервале $\xi_{нj} \leq \xi_j \leq \xi_{вj}$ номинальные функции влияния $\Psi_{н.sf}(\xi_j)$, и $\Psi_{\sigma.sf}(\xi_j)$;

Δ_{dyn} - динамическая составляющая погрешности СИ;

K - коэффициент, используемый для вычисления интервальной оценки погрешности СИ по ее среднему квадратическому отклонению;

$\Delta_{сjm}$ - наибольшая возможная дополнительная погрешность СИ от j -й влияющей величины;

$K_{\varepsilon}(\xi_j)$ - коэффициент, используемый для вычисления наибольшей возможной дополнительной погрешности СИ;

$\delta_{dyn.m}$ - оценка сверху относительной динамической погрешности СИ;

$M[\cdot]$ - символ математического ожидания;

$D[\cdot]$ - символ дисперсии;

$\sigma[\cdot]$ - символ среднего квадратического отклонения.

**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ
ИЗМЕРЕНИЙ
В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Пример 1. Расчет характеристик погрешности аналогового средства измерений мгновенных значений напряжения по первому методу (п. 3.1)

1.1. Исходные данные.

1.1.1. Нормируемые метрологические характеристики СИ:

предел допускаемой систематической составляющей основной погрешности $\Delta_{osp} = 10$ мВ;

предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей

основной погрешности $\sigma_p \left[\Delta_o \right] = 5$ мВ;

предел допускаемой вариации $H_{op} = 6$ мВ;

номинальные функции влияния на систематическую составляющую погрешности

$$\psi_{s.sf}(\xi_1) = K_{s.sf1} \cdot (\xi_1 - \xi_{ref.1}), \psi_{s.sf}(\xi_2) = K_{s.sf2} \cdot (\xi_2 - \xi_{ref.2})$$

где $K_{s.sf1} = 0,5$ мВ / °С; $K_{s.sf2} = 0,4$ мВ/В - номинальные значения коэффициентов влияния температуры и напряжения питания на систематическую составляющую погрешности;

$\xi_{ref.1} = 20$ °С; $\xi_{ref.2} = 220$ В - нормальные значения влияющих величин;

номинальные функции влияния на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности

$$\psi_{\sigma.sf}(\xi_1) = K_{\sigma.sf1} \cdot (\xi_1 - \xi_{ref.1}), \psi_{\sigma.sf}(\xi_2) = K_{\sigma.sf2} \cdot (\xi_2 - \xi_{ref.2})$$

где $K_{\sigma.sf1} = 0,1$ мВ / °С; $K_{\sigma.sf2} = 0,1$ мВ/В - номинальные значения коэффициентов влияния температуры и напряжения питания на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности;

номинальная амплитудно-фазовая характеристика

$$G_{sf}(j\omega) = \frac{K_{sf}}{1 + j\omega T}$$

где $K_{st} = 1$ - номинальный коэффициент преобразования СИ при нормальном значении $\omega_0 = 0$ частоты входного сигнала; $T = 5$ мс - постоянная времени.

1.1.2. Характеристики влияющих величин.

$\xi_{H1} = 25$ °С, $\xi_{B1} = 35$ °С, $\xi_{H2} = 200$ В, $\xi_{B2} = 230$ В.

1.1.3. Автокорреляционная функция измеряемого напряжения (характеристика входного сигнала) $R(\tau) = D_u \cdot e^{-\alpha|\tau|}$, где $D_u = 0,1$ В² - дисперсия измеряемого напряжения; $\alpha = 0,2$ с⁻¹.

1.2. Расчет математического ожидания и дисперсии статической составляющей погрешности СИ при значениях влияющих величин, отличающихся от нормальных значений.

1.2.1. Математическое ожидание $M[\Delta_\xi]$ статической составляющей погрешности СИ для заданных характеристик влияющих величин вычисляется по формулам п. 3.1.1.

Для случая, когда нет оснований предполагать несимметричность распределения значений систематической составляющей основной погрешности в интервале $(-\Delta_{osp}, \Delta_{osp})$ и значений влияющих величин ξ_1, ξ_2 в интервалах $(\xi_{H1}, \xi_{B1}), (\xi_{H2}, \xi_{B2})$

$$M[\Delta_{os}] = 0, M[\xi_1] = 0,5 \cdot (\xi_{H1} + \xi_{B1}) = 0,5 \cdot (25 + 35) = 30 \text{ °С,}$$

$$M[\xi_{2,}] = 0,5 \cdot (\xi_{н2} + \xi_{в2}) = 0,5 \cdot (200 + 230) = 215 \text{ В.}$$

В соответствии с формулами (2), (3)

$$M[\Delta\xi] = M[\Delta_{ос}] + K_{s,сf1} \cdot (M[\xi_1] - \xi_{ref,1}) + K_{s,сf2} \cdot (M[\xi_2] - \xi_{ref,2}) = 0,5 \cdot 10 - 0,4 \cdot 5 = 3 \text{ мВ.}$$

1.2.2. Дисперсия $D[\Delta\xi]$ статической составляющей погрешности СИ для заданных характеристик влияющих величин вычисляется по формулам (7), (8)

$$D[\Delta\xi] = \sigma^2[\Delta_{ос}] + \left\{ \sigma_p[\Delta_{ос}] + K_{\sigma,сf1}(\xi_{в1} - \xi_{ref,1}) + K_{\sigma,сf2}(\xi_{в2} - \xi_{ref,2}) \right\}^2 + K_{s,сf1}^2 \sigma^2[\xi_1] + K_{s,сf2}^2 \sigma^2[\xi_2] + H_{оп}^2 / 12.$$

Для случая, когда нет оснований выделить область предпочтительных значений систематической составляющей основной погрешности в интервале $(-\Delta_{осп}, \Delta_{осп})$ и области предпочтительных значений влияющих величин ξ_1, ξ_2 в интервалах $(\xi_{н1}, \xi_{в1}), (\xi_{н2}, \xi_{в2})$

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

$$\sigma[\xi_1] = \frac{\xi_{в1} - \xi_{н1}}{\sqrt{12}} = \frac{35 - 25}{\sqrt{12}} = 2,9 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\sigma[\xi_2] = \frac{\xi_{в2} - \xi_{н2}}{\sqrt{12}} = \frac{230 - 200}{\sqrt{12}} = 8,7 \text{ В.}$$

С учетом полученных значений средних квадратических отклонений

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

1.3. Расчет дисперсии $D[\xi_{dyn}]$ динамической составляющей погрешности СИ производится по формулам (11), (12) п. 3.1.3. Предварительно по автокорреляционной функции измеряемого напряжения вычисляется спектральная плотность энергии измеряемого напряжения

$$S_u(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} D_u e^{-2|\tau|} e^{-j\omega\tau} d\tau = \frac{D_u \alpha}{\pi(\alpha^2 + \omega^2)} \left[\frac{\text{мВ}^2}{\text{Рад}} \right].$$

Дисперсия динамической составляющей погрешности, приведенной ко входу СИ, вычисляется по формуле

$$D[\Delta_{dyn}] = 2 \int_0^{\infty} \left| \frac{1}{1 + j\omega T} - 1 \right|^2 S_u(\omega) d\omega = \frac{D_u \alpha T}{1 + \alpha T} = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 0,2 \cdot 0,005}{1 + 0,2 \cdot 0,005} = 100 \text{ мВ}^2.$$

1.4. Расчет характеристик погрешности СИ в реальных условиях его эксплуатации.

1.4.1. Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение погрешности СИ вычисляется по формулам (15), (16) п. 3.1.4.

$$M[\Delta_{сн}] = M[\Delta\xi] = 3 \text{ мВ};$$

$$\sigma[\Delta_{сн}] = \sqrt{D[\Delta_{сн}] + D[\Delta_{dyn}]} = \sqrt{123 + 100} = 15 \text{ мВ.}$$

1.4.2. Границы интервальной оценки погрешности СИ вычисляются по формулам (17), (18) п. 3.1.4.2. Если есть основания предполагать, что закон распределения

погрешности $\Delta_{\text{СИ}}$ является симметричным, одномодальным и не более островершинным, чем нормальное распределение, то значение коэффициента $K_{\text{ср}}$ можно определять по кривой, представленной на рисунке. Для значения $P = 0,95$ коэффициент $K_{\text{ср}}$ составляет 1,95, тогда

$$\Delta_{\text{СИ.н}} = M[\Delta_{\text{СИ}}] - K_{\text{ср}} \cdot \sigma[\Delta_{\text{СИ}}] = 3 - 1,95 \cdot 15 = -26,3 \text{ мВ.}$$

$$\Delta_{\text{СИ.в}} = M[\Delta_{\text{СИ}}] + K_{\text{ср}} \cdot \sigma[\Delta_{\text{СИ}}] = 3 + 1,95 \cdot 15 = 32,3 \text{ мВ}$$

Пример 2. Расчет характеристик погрешности аналогового средства измерений мгновенных значений напряжения по второму методу (п. 3.2)

2.1. Исходные данные.

2.1.1. Нормируемые метрологические характеристики СИ:

предел допускаемых значений основной погрешности $\Delta_{\text{оп}} = 20 \text{ мВ}$;

наибольшее допускаемое изменение $\varepsilon_p(\xi_1)$ погрешности, вызванное отклонением температуры от нормального значения ($20 \text{ }^\circ\text{C}$), составляет 5 мВ на каждые $10 \text{ }^\circ\text{C}$ отклонения температуры;

наибольшее допускаемое изменение $\varepsilon_p(\xi_2)$ погрешности, вызванное отклонением напряжения питания от нормального значения (220 В) на $\pm 10 \%$, составляет 10 мВ;

номинальная амплитудно-частотная характеристика

$$A_{\text{сф}} = \frac{K_{\text{сф}}}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}},$$

где $K_{\text{сф}} = 1$ - номинальный коэффициент преобразования СИ при нормальном значении $\omega_0 = 0$ частоты входного сигнала; $T = 5 \text{ мс}$ - постоянная времени.

2.1.2. Характеристики влияющих величин

$$\xi_{\text{н1}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}, \xi_{\text{в1}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}, \xi_{\text{н2}} = 200 \text{ В}, \xi_{\text{в2}} = 230 \text{ В.}$$

2.1.3. Спектр частот входного сигнала лежит в диапазоне $0 - 10 \text{ Гц}$ (характеристика входного сигнала).

2.2. Расчет наибольших возможных значений дополнительных погрешностей (п. 3.2.1)

$$\Delta_{\text{с1м}} = \varepsilon_p(\xi_1) \frac{\xi_{\text{в1}} - \xi_{\text{н1}}}{\Delta \xi_1} = \frac{(35 - 20)5}{10} = 7,5 \text{ мВ};$$

$$\Delta_{\text{с2м}} = \varepsilon_p(\xi_2) \cdot (\xi_2) = 10 \text{ мВ.}$$

2.3. Расчет оценки сверху относительного значения динамической погрешности (п. 3.2.2)

$$\delta_{\text{дин.м}} = \left| 1 - \frac{K_{\text{сф}}}{A_{\text{сф}}(\omega_s)} \right| = \left| 1 - \sqrt{1 + \omega_s^2 T^2} \right| = 0,05.$$

2.4. Расчет характеристик погрешности СИ в реальных условиях эксплуатации (п. 3.2.3).

Нижняя $\Delta_{\text{СИ.н}}$ и верхняя $\Delta_{\text{СИ.в}}$ границы интервала, в котором с вероятностью $P = 1$ находится погрешность СИ, вычисляется в соответствии с формулами (24), (25)

$$\Delta_{\text{СИ.н}} = -(\Delta_{\text{оп}} + \Delta_{\text{с1м}} + \Delta_{\text{с2м}} + \delta_{\text{дин.м}} \cdot U) = -(20 + 7,5 + 10 + 0,05 \cdot U) \text{ мВ} = -(37,5 + 0,05 \cdot U) \text{ мВ},$$

$$\Delta_{\text{СИ.в}} = -\Delta_{\text{СИ.н}} = (37,5 + 0,05 \cdot U) \text{ мВ.}$$

Для конкретного значения измеренного мгновенного напряжения $U = 0,6 \text{ В}$ границы интервала погрешности составляют $\Delta_{\text{СИ.н}} = -68 \text{ мВ}$, $\Delta_{\text{СИ.в}} = 68 \text{ мВ}$.

Пример 3. Расчет характеристик погрешности аналого-цифрового преобразователя постоянного тока (п. 3.1)

3.1. Исходные данные.

3.1.1. Нормируемые метрологические характеристики АЦП:

предел допускаемых значений систематической составляющей основной погрешности $\Delta_{osp} = 1$ мА;

предел допускаемых значений среднего квадратического отклонения случайной

$$\sigma_p \left[\Delta_o \right] = 0,3 \text{ мА};$$

составляющей основной погрешности

номинальная функция влияния температуры на систематическую составляющую погрешности

$$\psi_{s.sfl}(\xi_1) = K_{s.sfl} \cdot (\xi_1 - \xi_{ref.1})^2, \psi_{s.sfl}(\xi_1) = 0 \text{ при } \xi_1 \leq \xi_{ref.1},$$

где $K_{s.sfl} = 0,001$ мА / (°C)², $\xi_{ref.1} = 20$ °C;

номинальная цена единицы наименьшего разряда кода $\mu_{sf} = 1$ мА.

3.1.2. Характеристики влияющей величины:

$$\xi_{н1} = 30 \text{ °C}, \xi_{в1} = 60 \text{ °C}.$$

3.2. Расчет математического ожидания и дисперсии статической составляющей погрешности АЦП при значениях влияющей величины, отличающихся от нормального значения.

3.2.1. Математическое ожидание $M[\Delta_\xi]$ статической составляющей погрешности для заданных характеристик влияющей величины вычисляется по формулам п. 3.1. Для случая, когда нет оснований выделить области предпочтительных значений систематической составляющей основной погрешности в интервале $(-\Delta_{osp}, \Delta_{osp})$ и области предпочтительных значений влияющей величины в интервале $(\xi_{в1}, \xi_{н1})$, несимметрично расположенные относительно центров указанных интервалов, получим

$$M[\Delta_{osp}] = 0, \cdot M[\xi_1] = 0,5 \cdot (\xi_{н1} + \xi_{в1}) = 0,5 \cdot (0 + 60) = 45 \text{ °C}.$$

В соответствии с формулами (2), (3), (5) и принятым способом представления нормированной основной погрешности АЦП

$$\begin{aligned} M[\Delta_\xi] &= M[\Delta_{osp}] + K_{s.sfl} (M[\xi_1] - \xi_{ref.1})^2 + K_{s.sfl} \sigma^2(\xi_1) = \\ &= 1 \cdot 10^{-3} (45 - 20)^2 + 1 \cdot 10^{-3} \frac{(60 - 30)^2}{12} = 0,7 \text{ мА}. \end{aligned}$$

3.2.2. Дисперсия $D[\Delta_\xi]$ статической составляющей погрешности АЦП для заданных характеристик влияющей величины вычисляется по формулам (7), (8), (10)

$$\begin{aligned} D[\Delta_\xi] &= \sigma^2[\Delta_{osp}] + [2K_{s.sfl} (M[\xi_1] - \xi_{ref.1})]^2 \cdot \sigma^2[\xi_1] + 1,6K_{s.sfl}^2 \sigma^4[\xi_1] + \sigma^2 \left[\Delta_o \right] + \frac{\mu_{sf}^2}{12} = \\ &= 0,33 + (2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (45 - 20)^2 \frac{(60 - 30)^2}{12} + 1,6 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \frac{(60 - 30)^4}{12^2} + 0,09 + 0,083 = 0,7 \text{ мА}^2. \end{aligned}$$

3.2.3. Расчет границ интервальной оценки погрешности АЦП производится по формулам (17), (18). Для случая, когда закон распределения погрешности может быть отнесен к числу симметричных законов распределения с невозрастающей плотностью по мере удаления от центра распределения, значение коэффициента K_{cp} вычисляется по формуле (19). Для значения $P = 0,9$ коэффициент K_{cp} равен 2, тогда

$$\Delta_{си.н} = M[\Delta_{си}] - K_{cp} \cdot \sigma[\Delta_{си}] = 0,7 - 1,7 \cdot 0,84 = -0,7 \text{ мА}$$

$$\Delta_{си.в} = M[\Delta_{си}] + K_{cp} \cdot \sigma[\Delta_{си}] = 0,7 + 1,7 \cdot 0,84 = 2,1 \text{ мА}$$

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения
 2. Исходные данные для расчета характеристик погрешности средства измерений
 3. Расчет характеристик погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации
- Приложение 1 Условные обозначения
- Приложение 2 Примеры расчета характеристик погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации