

**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*.

1.1.2. Нижнюю $\Delta_{\text{си},\text{н}}$ и верхнюю $\Delta_{\text{си},\text{в}}$ 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.

* Список обозначений приведен в приложении I.

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 $\sigma_p [\overset{\circ}{\Delta}_0]$ 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 $G_{sf} (S)$.

П р и м е ч а н и я:

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 $\sigma[\overset{\circ}{\Delta}]$ случайной составляющей погрешности СИ;

вариация H СИ;

цена μ единицы наименьшего разряда кода цифрового измерительного прибора (аналого-цифрового измерительного преобразователя);

функции влияния $\Psi_s (\xi_j)$, $j = 1, 2 \dots n$ на систематическую составляющую погрешности СИ;

функции влияния $\Psi_{\sigma} (\xi_j)$, $j = 1, 2 \dots l$ 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 $G(S)$.

? 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 примечании 1 к нему, если некоторые из них несущественны для СИ.

2.2.2. Характеристики влияющих величин ξ_j .

2.2.2.1. Значения ξ_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_{n_j} и наибольшие ξ_{b_j} 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 $\epsilon_p(\xi_j)$, $j=1, 2\dots n$ 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 ξ_j , $j=1, 2\dots n$ влияющих величин.

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

П р и м е ч а н и е. 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_b 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: выходу 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.

3.1.1.1. 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

$$M[\Psi_{s,sf}(\xi_j)] = \int_{\xi_{nj}}^{\xi_{bj}} \Psi_{s,sf}(\xi_j) \cdot \varphi(\xi_j) d\xi_j. \quad (4)$$

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 применяется $M[\Delta_{os}] = 0$.

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_j до ξ_{bj} , несимметрично расположенные относительно центра интервала, определяемого указанными границами, то допускается для расчетов характеристик погрешности СИ пользоваться предположением

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

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

$$D[\Delta_{\xi}] = \sigma^2[\Delta_{os}] + \{\sigma_p[\dot{\Delta}_0] + \sum_{j=1}^l \Psi_{s, sf}(\xi_j)\}^2 + \frac{1}{12}[H_{op} + \sum_{j=1}^k \Psi_{n, sf}(\xi_j)]^2 + \frac{\mu_{sf}^2}{12}, \quad (6)$$

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

$$\begin{aligned} D[\Delta_{\xi}] = & \sigma^2[\Delta_{os}] + \sum_{j=1}^n D[\Psi_{s, sf}(\xi_j)] + \{\sigma_p[\dot{\Delta}_0] + \sum_{j=1}^l \Psi_{s, sm}(\xi_j)\}^2 + \\ & + \frac{1}{12}[H_{op} + \sum_{j=1}^k \Psi_{n, sm}(\xi_j)]^2 + \frac{\mu_{sf}^2}{12}. \end{aligned} \quad (7)$$

Для аналоговых СИ $\mu_{sf} = 0$

Суммирование выполняется для n , l и k влияющих величин, для которых нормированы метрологические характеристики $\Psi_{s, sf}(\xi_j)$, $j = 1, 2 \dots n$; $\Psi_{s, sm}(\xi_j)$, $j = 1, 2 \dots l$; $\Psi_{n, sf}(\xi_j)$, $j = 1, 2 \dots k$ 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 $\Psi_{s, sf}(\xi_j) = K_{s, sf}(\xi_j - \xi_{ref})$ значение $D[\Psi_{s, sf}(\xi_j)]$ вычисляется по формуле

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

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

$$D[\Psi_{s, sf}(\xi_j)] = \int_{\xi_{nj}}^{\xi_{bj}} \{\Psi_{s, sf}(\xi_j) - M[\Psi_{s, sf}(\xi_j)]\}^2 \varphi(\xi_j) d\xi_j. \quad (9)$$

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

ции СИ, и нет оснований выделить области предпочтительных значений влияющей величины в границах от $\xi_{\text{н}j}$ до $\xi_{\text{в}j}$, за исключением, может быть, области вокруг центра интервала, определяемого указанными границами, то допускается для расчетов характеристик погрешности СИ пользоваться предположением

$$\sigma[\xi_j] = (\xi_{\text{в}j} - \xi_{\text{н}j}) / 2\sqrt{3} .$$

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

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

П р и м е ч а н и я:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Delta_{\text{си.н}} = M[\Delta_{\text{си}}] - K\sigma[\Delta_{\text{си}}], \quad (17)$$

$$\Delta_{\text{си.в}} = M[\Delta_{\text{си}}] + K\sigma[\Delta_{\text{си}}]. \quad (18)$$

3.1.5. Значение K зависит от вида закона распределения погрешности $\Delta_{\text{си}}$ 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.

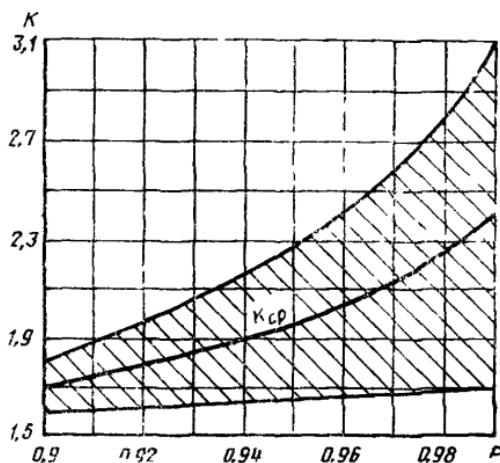
3.1.5.1. Если закон распределения погрешности $\Delta_{\text{си}}$ может быть отнесен к числу симметричных законов распределения с невозрастающей плотностью по мере удалений от центра распределения, то в качестве значения K может быть принято $K_{\text{ср}}$. График зависимости $K_{\text{ср}}$ (P) приведен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

Заштрихованная на рисунке область соответствует возможным значениям K . Разность между кривой $K_{\text{ср}}$ и любой из граничных кривых определяет погрешность коэффициента $K_{\text{ср}}$ (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 $\Delta_{\text{си}}$ примерно удовлетворяет условиям п. 3.1.5.1, значение K может вычисляться по формуле

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

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



3.1.5.3. Если для закона распределения погрешности $\Delta_{\text{си}}$, 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 Δ_{cjm} дополнительной погрешности СИ от j -й, влияющей величины вычисляется по формуле

$$\Delta_{cjm} = \varepsilon_p(\xi_j) K_e(\xi_j), \quad (28)$$

где

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

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

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

если диапазон изменения $\Delta\xi_e$, 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 $\Delta_{c/j}$ от ξ_j в рабочей области значений влияющей величины. Если в результате исследования определена функция влияния конкретного экземпляра СИ, то расчет Δ_{cjm} может производиться с использованием этой функции влияния. Например, если в результате исследования установлен линейный характер зависимости $\Delta_{c/j}$ 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 $K_e(\xi_j)$ 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 $K_e(\xi_j)$ в соответствии с выражениями (21) и (22) в качестве ξ_j , используется то из значений ξ_{hj} или ξ_{bj} , при котором $K_e(\xi_j)$ имеет наибольшее значение.

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

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

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

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

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

$$\Delta_{ci\ b} = \Delta_{op} + \sum_{j=1}^n \Delta_{cjm} + \delta_{dyn\ m} R, \quad (24)$$

$$\Delta_{ci\ n} = -\Delta_{ci\ b}, \quad (25)$$

где R — результат измерения.

Суммирование выполняется для n влияющих величин, для которых нормированы метрологические характеристики $e_p(\xi_j)$, $j=1, 2...n$ 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,
 Δ_{os} — систематическая составляющая основной погрешности СИ,
 Δ_{sm} — наибольшее возможное по абсолютной величине значение неисключенной систематической составляющей погрешности конкретного экземпляра СИ;
 $\sigma_p[\dot{\Delta}_0]$ — 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);
 $\Psi_{s,\text{sf}}(\xi_j)$ — номинальная функция влияния j -й влияющей величины на систематическую составляющую погрешности СИ,
 $\Psi_{o,\text{sf}}(\xi_j)$ — номинальная функция влияния j -й влияющей величины на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности СИ,
 $\Psi_{n,\text{sf}}(\xi_j)$ — номинальная функция влияния j -й влияющей величины на вариацию СИ,
 $\varepsilon_p(\xi_j)$ — наибольшее допускаемое изменение погрешности СИ, вызванное отклонением j -й влияющей величины от нормального значения,
 $\Delta\xi_j$ — приращение j -й влияющей величины, для которой нормирована метрологическая характеристика $\varepsilon_p(\xi_j)$;
 $K_{s,\text{sf}j}$ — номинальный коэффициент влияния j -й влияющей величины на систематическую составляющую погрешности СИ,
 $K_{o,\text{sf}j}$ — номинальный коэффициент влияния j -й влияющей величины на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности СИ,
 $K_{n,\text{sf}j}$ — 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
 $\xi_{\text{н}j}, \xi_{\text{в}j}$ — наименьшие и наибольшие значения j -й влияющей величины, соответствующие реальным условиям эксплуатации СИ,

- $\xi_{\text{ref},j}$ — нормальное значение j -й влияющей величины;
 $\Phi(\xi_j)$ — закон распределения влияющей величины ξ_j ;
 x — значение входного сигнала;
 ω_n , ω_b — 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_ξ — статическая составляющая погрешность СИ при реальных значениях влияющих величин;
 $\Psi_{s,sf}(M[\xi_j])$ — номинальная функция влияния $\Psi_{s,sf}(\xi_j)$ при $\xi_j = M[\xi_j]$;
 $\Psi'_{s,sf}(M[\xi_j]), \Psi''_{s,sf}(M[\xi_j])$ — первая и вторая производные от номинальной функции влияния $\Psi_{s,sf}(\xi_j)$ при $\xi_j = M[\xi_j]$;
 $\Psi_{n,sfm}(\xi_j), \Psi_{o,sfm}(\xi_j)$ — наибольшие на интервале $\xi_{nj} \leq \xi_j \leq \xi_{bj}$ номинальные функции влияния $\Psi_{n,sf}(\xi_j)$ и $\Psi_{o,sf}(\xi_j)$;
 Δ_{dyn} — динамическая составляющая погрешности СИ;
 K — коэффициент, используемый для вычисления интервальной оценки погрешности СИ по ее среднему квадратическому отклонению;
 $\Delta_{c,j,m}$ — наибольшая возможная дополнительная погрешность СИ от j -й влияющей величины;
 $K_e(\xi_j)$ — коэффициент, используемый для вычисления наибольшей возможной дополнительной погрешности СИ;
 $\delta_{\text{dyn},m}$ — 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 $\Delta_{osp} = 10 \text{ мВ}$;

предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей основной погрешности $\sigma_p[\Delta_0] = 5 \text{ мВ}$;

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

номинальные функции влияния на систематическую составляющую погрешности

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

где $K_{s,sf1} = 0,5 \text{ мВ/}^{\circ}\text{C}$; $K_{s,sf2} = 0,4 \text{ мВ/В}$ — номинальные значения коэффициентов влияния температуры и напряжения питания на систематическую составляющую погрешности;

$\xi_{ref.1} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\xi_{ref.2} = 220 \text{ В}$ — нормальные значения влияющих величин;

номинальные функции влияния на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности

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

где $K_{\sigma,sf1} = 0,1 \text{ мВ/}^{\circ}\text{C}$; $K_{\sigma,sf2} = 0,1 \text{ мВ/В}$ — 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 $K_{sf} = 1$ — номинальный коэффициент преобразования СИ при нормальном значении $\omega_0 = 0$ частоты входного сигнала; $T = 5 \text{ мс}$ — постоянная времени.

1.1.2. Характеристики влияющих величин.

$$\xi_{h1} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad \xi_{v1} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad \xi_{h2} = 200 \text{ В}, \quad \xi_{v2} = 230 \text{ В}.$$

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

$$\alpha = 0,2 \text{ с}^{-1}.$$

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 (ξ_{h1}, ξ_{v1}) , (ξ_{h2}, ξ_{v2})

$$M[\Delta_{os}] = 0, \quad M[\xi_1] = 0,5(\xi_{h1} + \xi_{v1}) = 0,5(25 + 35) = 30 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$M[\xi_2] = 0,5(\xi_{h2} + \xi_{b2}) = 0,5(200 + 230) = 215 \text{ В.}$$

В соответствии с формулами (2), (3)

$$\begin{aligned} M[\Delta_\xi] &= M[\Delta_{os}] + K_{s,sf1}(M[\xi_1] - \xi_{ref,1}) + K_{s,sf2}(M[\xi_2] - \xi_{ref,2}) = \\ &= 0,5 \cdot 10 - 0,4 \cdot 5 = 3 \text{ мВ.} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} D[\Delta_\xi] &= \sigma^2[\Delta_{os}] + \{\sigma_p[\dot{\Delta}_0] + K_{s,sf1}(\xi_{b1} - \xi_{ref,1}) + K_{s,sf2}(\xi_{h2} - \xi_{ref,2})\}^2 + \\ &\quad + K_{s,sf1}^2 \sigma^2[\xi_1] + K_{s,sf2}^2 \sigma^2[\xi_2] + H_{op}^2 / 12. \end{aligned}$$

Для случая, когда нет оснований выделить область предпочтительных значений систематической составляющей основной погрешности в интервале ($-\Delta_{osp}$, Δ_{osp}) и области предпочтительных значений влияющих величин ξ_1 , ξ_2 в интервалах (ξ_{h1}, ξ_{b1}) , (ξ_{h2}, ξ_{b2})

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

$$\sigma[\xi_1] = \frac{\xi_{b1} - \xi_{h1}}{\sqrt{12}} = \frac{35 - 25}{\sqrt{12}} = 2,9^\circ\text{C};$$

$$\sigma[\xi_2] = \frac{\xi_{b2} - \xi_{h2}}{\sqrt{12}} = \frac{230 - 200}{\sqrt{12}} = 8,7 \text{ В.}$$

С учетом полученных значений средних квадратических отклонений

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

1.3. Расчет дисперсии $D[\Delta_{dyn}]$ 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

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

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.

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

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

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 Δ_{ci} является симметричным, одномодальным и не бо-

лее островесшим, 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

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

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

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°C), составляет 5 мВ на каждые 10°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

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

где $K_{\text{sf}} = 1$ — 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

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

2.1.3. Спектр частот входного сигнала лежит в диапазоне 0—10 Гц (характеристика входного сигнала).

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

$$\Delta_{\text{c1m}} = \varepsilon_p(\xi_1) \frac{\xi_{\text{в1}} - \xi_{\text{ref.1}}}{\Delta \xi_{\text{в1}}} = \frac{(35-20)5}{10} = 7,5 \text{ мВ};$$

$$\Delta_{\text{c2m}} = \varepsilon_p(\xi_2) \cdot K_e(\xi_2) = 10 \text{ мВ}.$$

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

$$\delta_{\text{dyn.m}} = \left| 1 - \frac{K_{\text{sf}}}{A_{\text{sf}}(\omega_B)} \right| = \left| 1 - \sqrt{1 + \omega_B^2 T^2} \right| = 0,05.$$

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)

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{си.н}} &= -(\Delta_{\text{оп}} + \Delta_{\text{c1m}} + \Delta_{\text{c2m}} + \delta_{\text{dyn.m}} U) = -(20 + 7,5 + 10 + 0,05U) \text{ мВ} = \\ &= -(37,5 + 0,05U) \text{ мВ}, \end{aligned}$$

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

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 $\Delta_{osp} = 1 \text{ mA}$;
 предел допускаемых значений среднего квадратического отклонения случайной составляющей основной погрешности $\sigma_p[\Delta_0] = 0,3 \text{ mA}$;
 номинальная функция влияния температуры на систематическую составляющую погрешности

$$\Psi_{s,sf1}(\xi_1) = K_{s,sf1} (\xi_1 - \xi_{ref,1})^2, \quad \Psi_{s,sf1}(\xi_1) = 0 \text{ при } \xi_1 \ll \xi_{ref,1},$$

где $K_{s,sf1} = 0,001 \text{ mA}/(\text{ }^\circ\text{C})^2$, $\xi_{ref,1} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;

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

3.1.2. Характеристики влияющей величины:

$$\xi_{h1} = 30 \text{ }^\circ\text{C}, \quad \xi_{b1} = 60 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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 (ξ_{b1}, ξ_{h1}) , несимметрично расположенные относительно центров указанных интервалов, получим

$$M[\Delta_{osp}] = 0, \quad M[\xi_1] = 0,5(\xi_{h1} + \xi_{b1}) = 0,5(30 + 60) = 45 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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

$$\begin{aligned} M[\Delta_\xi] &= M[\Delta_{osp}] + K_{s,sf1} (M[\xi_1] - \xi_{ref,1})^2 + K_{s,sf1} \sigma^2(\xi_1) = \\ &= 1 \cdot 10^{-3} (45 - 20)^2 + 1 \cdot 10^{-3} \frac{(60 - 30)^2}{12} = 0,7 \text{ mA}. \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} D[\Delta_\xi] &= \sigma^2[\Delta_{osp}] + [2K_{s,sf1} (M[\xi_1] - \xi_{ref,1})]^2 \sigma^2[\xi_1] + 1,6K_{s,sf1}^2 \sigma^4[\xi_1] + \\ &+ \sigma_p^2 [\Delta_0] + \frac{\mu_{sf}^2}{12} = 0,33 + (2 \cdot 10^{-3})^2 (45 - 20)^2 \frac{(60 - 30)^2}{12} + \\ &+ 1,6 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \frac{(60 - 30)}{12^2} + 0,09 + 0,083 = 0,7 \text{ mA}^2. \end{aligned}$$

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

$$\Delta_{ci,h} = M[\Delta_{ci}] - K_{cp} \sigma[\Delta_{ci}] = 0,7 - 1,7 \cdot 0,84 = -0,7 \text{ mA}$$

$$\Delta_{ci,b} = M[\Delta_{ci}] + K_{cp} \sigma[\Delta_{ci}] = 0,7 + 1,7 \cdot 0,84 = 2,1 \text{ mA}$$

СОДЕРЖАНИЕ

ГОСТ 8.009—84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений	5
Методический материал по применению ГОСТ 8.009—84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений	43
РД 50—453—84 Методические указания. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета	133

Редактор *Е И Глазкова*
Технический редактор *О Н Никитина*
Корректор *Б А Мурадов*

Сдано в наб 06 09 84 Подп к печ 20 06 85 Формат 60×90¹/₁₆ Бумага типографская № 1
Гарнитура литературная Печать высокая 9,5 усл печ л 9 625 усл кр отт 10¹⁰ 1/4 изд п
Тираж 30000 Зак 2561 Цена 55 коп

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов 120840 Москва ГСП
Новопресненский пер, 3
Калужская типография стандартов ул Московская 256

Величина	Единица			
	Наименование	Обозначение		
		международное	русское	
ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ				
Длина	метр	m		м
Масса	килограмм	kg		кг
Время	секунда	s		с
Сила электрического тока	ампер	A		А
Термодинамическая темпера- тура	kelвин	K		К
Количество вещества	моль	mol		моль
Сила света	кандела	cd		кд
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ				
Плоский угол	радиан	rad		рад
Телесный угол	стерадиан	sr		ср
ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ, ИМЕЮЩИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ				
Величина	Единица			Выражение через основные и до- полнительные единицы СИ
	Наименова- ние	Обозначение		
		междуна- родное	русское	
Частота	герц	Hz	Гц	с^{-1}
Сила	ньютон	N	Н	м кг с^{-2}
Давление	паскаль	Pa	Па	$\text{м}^{-1} \text{ кг с}^{-2}$
Энергия	джоуль	J	Дж	$\text{м}^2 \text{ кг с}^{-2}$
Мощность	ватт	W	Вт	$\text{м}^2 \text{ кг с}^{-3}$
Количество электричества	кулон	C	Кл	с А
Электрическое напряжение	вольт	V	В	$\text{м}^2 \text{ кг с}^{-3} \text{ А}^{-1}$
Электрическая емкость	фарад	F	Ф	$\text{м}^{-2} \text{ кг}^{-1} \text{ с}^4 \text{ А}^2$
Электрическое сопротивление	ом	Ω	Ом	$\text{м}^2 \text{ кг с}^{-3} \text{ А}^{-2}$
Электрическая проводимость	сименс	S	См	$\text{м}^{-2} \text{ кг}^{-1} \text{ с}^3 \text{ А}^2$
Поток магнитной индукции	вебер	Wb	Вб	$\text{м}^2 \text{ кг с}^{-2} \text{ А}^{-1}$
Магнитная индукция	tesла	T	Тл	$\text{кг с}^{-2} \text{ А}^{-1}$
Индуктивность	генри	H	Гн	$\text{м}^2 \text{ кг с}^{-2} \text{ А}^{-2}$
Световой поток	люмен	lm	лм	кд ср
Освещенность	люкс	lx	лк	$\text{м}^{-2} \text{ кд ср}$
Активность радионуклида	беккерель	Bq	Бк	с^{-1}
Поглощенная доза ионизирующего излучения	грей	Gy	Гр	$\text{м}^2 \text{ с}^{-2}$
Эквивалентная доза излучения	зиверт	Sv	Зв	$\text{м}^2 \cdot \text{ с}^{-2}$