

**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

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

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

\* Список обозначений приведен в приложении 1.

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  $\sigma_p[\Delta_0]$  допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей основной погрешности СИ;

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

номинальная цена  $\mu_{sf}$  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  $\Psi_{H, sf}(\xi_j)$ ,  $j=1, 2 \dots k$  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  $\Delta_{sm}$  неисключенная систематическая составляющая погрешности СИ;

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

вариация  $H$  СИ;

цена  $\mu$  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  $\Psi_H(\xi_j)$ ,  $j=1, 2 \dots k$  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  $\xi_j$ .

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  $\xi_{nj}$  и наибольшие  $\xi_{vj}$  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  $\Delta_{op}$  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)  $\xi_j$  в установленных пределах;

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

2.3.2. Характеристики влияющих величин  $\xi_j$ .

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

2.3.2.2. Наименьшие  $\xi_{nj}$  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  $\omega_n$  и верхняя  $\omega_v$  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  $\xi_j$  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  $\xi_j$  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  $\xi_j$

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

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  $\Delta_{osp}$  допускаемых значений систематической составляющей основной погрешности без указания значения  $M[\Delta_{os}]$  и если нет оснований предполагать несимметричность распределения указанной погрешности в пределах  $\Delta_{osp}$ , 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  $\xi_{nj}$  и наибольшее  $\xi_{sj}$  значения, соответствующие реальным условиям эксплуатации СИ, и нет оснований выделить области предпочтительных значений влияющей величины в границах от  $\xi_j$  до  $\xi_{sj}$ , несимметрично расположенные относительно центра интервала, определяемого указанными границами, то допускается для расчетов характеристик погрешности СИ пользоваться предположением

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

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  $\xi_j$  заданы в соответствии с п. 2.2.2.1, то

$$D[\Delta_{\xi}] = \sigma^2[\Delta_{os}] + \{\sigma_p[\Delta_0] + \sum_{j=1}^l \Psi_{s, sf}(\xi_j)\}^2 + \frac{1}{12} [H_{op} + \sum_{j=1}^k \Psi_{n, sf}(\xi_j)]^2 + \frac{\mu_{sf}^2}{12}, \quad (6)$$

если исходные данные о влияющих величинах  $\xi_j$  заданы в соответствии с п. 2.2.2.2, то

$$D[\Delta_{\xi}] = \sigma^2[\Delta_{os}] + \sum_{j=1}^n D[\Psi_{s, sf}(\xi_j)] + \{\sigma_p[\Delta_0] + \sum_{j=1}^l \Psi_{s, sm}(\xi_j)\}^2 + \frac{1}{12} [H_{op} + \sum_{j=1}^k \Psi_{n, sn}(\xi_j)]^2 + \frac{\mu_{st}^2}{12}. \quad (7)$$

Для аналоговых СИ  $\mu_{sf} = 0$

Суммирование выполняется для  $n$ ,  $l$  и  $k$  влияющих величин, для которых нормированы метрологические характеристики  $\Psi_{s, sf}(\xi_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, n$ ;  $\Psi_{s, sm}(\xi_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, l$ ;  $\Psi_{n, sf}(\xi_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, k$  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  $\Psi_{s, sf}(\xi_j) = K_{s, sf}(\xi_j - \xi_{refj})$  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  $\xi_j$

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

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  $\Delta_{osp}$  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  $\Delta_{osp}$ , 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  $\xi_{nj}$  и наибольшее  $\xi_{pj}$  значения, соответствующие реальным условиям эксплуата-

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

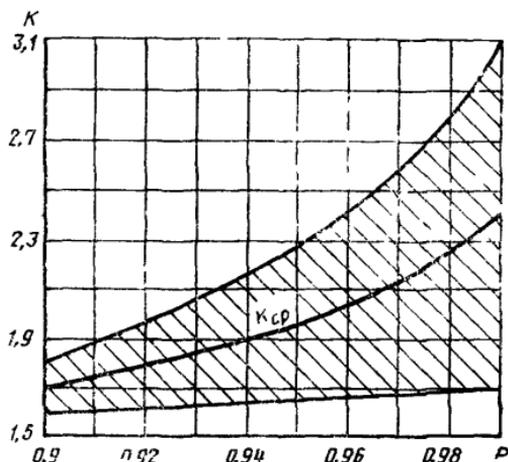
3.1.5.1. Если закон распределения погрешности  $\Delta_{\text{си}}$  может быть отнесен к числу симметричных законов распределения с невозрастающей плотностью по мере удалений от центра распределения, то в качестве значения  $K$  может быть принято  $K_{\text{ср}}$ . График зависимости  $K_{\text{ср}}(P)$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

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

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  $\lambda$ ,

равного  $\lambda = \Delta/2\sigma$ , где  $\Delta$  — 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  $\delta_K, \%$  — наибольшая возможная относительная погрешность  $K$ .

P	Значения $K$ (числитель) и $\delta_K, \%$ (знаменатель) при $\lambda$				
	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  $\Delta_{с/м}$  дополнительной погрешности СИ от  $j$ -й, влияющей величины вычисляется по формуле

$$\Delta_{с/м} = \varepsilon_p(\xi_j) K_\varepsilon(\xi_j), \quad (20)$$

где

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

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

$$K_\varepsilon(\xi_j) = \frac{|\xi_j - \xi_{ref\ j}|}{\Delta\xi_{\varepsilon_j}}, \quad (22)$$

если диапазон изменения  $\Delta\xi_{\varepsilon_j}$  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 наилучший из всех возможных характер зависимости (ступенчатая функция) дополнительной погрешности СИ  $\Delta_{с/м}$  от  $\xi_j$  в рабочей области значений влияющей величины. Если в результате исследования определена функция влияния конкретного экземпляра СИ, то расчет  $\Delta_{с/м}$  может производиться с использованием этой функции влияния. Например, если в результате исследования установлен линейный характер зависимости  $\Delta_{с/м}$  от  $\xi_j$ , то для расчета может использоваться выражение (22) вместо (21).

3.2.1.1. Если исходные данные о влияющих величинах  $\xi_j$  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  $\xi_j$  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  $\xi_j$  используется то из значений  $\xi_{nj}$  или  $\xi_{vj}$ , при котором  $K_e(\xi_j)$  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  $\omega_0$  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

$$\Delta_{\text{си в}} = \Delta_{\text{ор}} + \sum_{j=1}^n \Delta_{\text{с}j\text{м}} + \delta_{\text{d}j\text{н м}} R, \quad (24)$$

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

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,  
 $\Delta_{\text{сн.в}}$  — 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 неисключенной систематической составляющей погрешности конкретного экземпляра СИ;  
 $\sigma_p[\Delta_{\text{ос}}]$  — предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей основной погрешности конкретного экземпляра СИ,  
 $H_{\text{оп}}$  — предел допускаемой вариации СИ при нормальных условиях;  
 $\mu_{\text{ст}}$  — номинальная цена единицы наименьшего разряда кода цифрового измерительного прибора (аналогоцифрового измерительного преобразователя);  
 $\Psi_{\text{с.ст}}(\xi_j)$  — номинальная функция влияния  $j$ -й влияющей величины на систематическую составляющую погрешности СИ,  
 $\Psi_{\sigma,\text{ст}}(\xi_j)$  — номинальная функция влияния  $j$ -й влияющей величины на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности СИ,  
 $\Psi_{\text{н.ст}}(\xi_j)$  — 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,  
 $\Delta\xi_{\varepsilon_j}$  — приращение  $j$ -й влияющей величины, для которой нормирована метрологическая характеристика  $\varepsilon_p(\xi_j)$ ;  
 $K_{\text{с.ст}j}$  — номинальный коэффициент влияния  $j$ -й влияющей величины на систематическую составляющую погрешности СИ,  
 $K_{\sigma,\text{ст}j}$  — номинальный коэффициент влияния  $j$ -й влияющей величины на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности СИ,  
 $K_{\text{н ст}j}$  — номинальный коэффициент влияния  $j$ -й влияющей величины на вариацию СИ,  
 $\Delta_{\text{оп}}$  — предел допускаемой основной погрешности СИ,  
 $h_{\text{ст}}(t)$  — номинальная переходная характеристика СИ;  
 $g_{\text{ст}}(t)$  — номинальная импульсная переходная характеристика СИ,  
 $G_{\text{ст}}(j\omega)$  — номинальная амплитудно-фазовая характеристика;  
 $G_{\text{ст}}(S)$  — номинальная передаточная функция,  
 $A_{\text{ст}}(\omega)$  — номинальная амплитудно-частотная характеристика.  
 $\xi_j$  —  $j$ -я влияющая величина  
 $\xi_{\text{н}j}, \xi_{\text{в}j}$  — наименьшие и наибольшие значения  $j$ -й влияющей величины, соответствующие реальным условиям эксплуатации СИ,

- $\xi_{ref,j}$  — нормальное значение  $j$ -й влияющей величины;  
 $\Phi(\xi_j)$  — закон распределения влияющей величины  $\xi_j$ ;  
 $x$  — значение входного сигнала;  
 $\omega_n, \omega_b$  — 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;  
 $\Delta_\xi$  — статическая составляющая погрешности 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  $\xi_j = M[\xi_j]$ ;  
 $\Psi_{n.sfm}(\xi_j), \Psi_{\sigma.sfm}(\xi_j)$  — наибольшие на интервале  $\xi_{nj} \leq \xi_j \leq \xi_{bj}$  номинальные функции влияния  $\Psi_{n.sf}(\xi_j)$  и  $\Psi_{\sigma.sf}(\xi_j)$ ;  
 $\Delta_{dyn}$  — 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;  
 $K_e(\xi_j)$  — 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  $\sigma_p[\Delta_0] = 5$  мВ;

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

номинальные функции влияния на систематическую составляющую погрешности

$$\Psi_{s, sf}(\xi_1) = K_{s, sfl}(\xi_1 - \xi_{ref,1}), \Psi_{s, sf}(\xi_2) = K_{s, sf2}(\xi_2 - \xi_{ref,2}),$$

где  $K_{s, sfl} = 0,5$  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

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

где  $K_{\sigma, sfl} = 0,1$  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  $K_{sf} = 1$  — номинальный коэффициент преобразования СИ при нормальном значении  $\omega_0 = 0$  частоты входного сигнала;  $T = 5$  мс — постоянная времени.

1.1.2. Характеристики влияющих величин.

$$\xi_{n1} = 25^\circ\text{C}, \xi_{B1} = 35^\circ\text{C}, \xi_{n2} = 200\text{В}, \xi_{B2} = 230\text{В}.$$

1.1.3. Автокорреляционная функция измеряемого напряжения (характеристика входного сигнала)  $R(\tau) = D_u \cdot e^{-\alpha|\tau|}$ , где  $D_u = 0,1$  В<sup>2</sup> — 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  $\xi_1, \xi_2$  в интервалах  $(\xi_{n1}, \xi_{B1}), (\xi_{n2}, \xi_{B2})$

$$M[\Delta_{os}] = 0, M[\xi_1] = 0,5(\xi_{n1} + \xi_{B1}) = 0,5(25 + 35) = 30^\circ\text{C},$$

$$M[\xi_2] = 0,5(\xi_{н2} + \xi_{в2}) = 0,5(200 + 230) = 215 \text{ В.}$$

В соответствии с формулами (2), (3)

$$M[\Delta_{\xi}] = M[\Delta_{ос}] + K_{с,сф1}(M[\xi_1] - \xi_{ref,1}) + K_{с,сф2}(M[\xi_2] - \xi_{ref,2}) = \\ = 0,5 \cdot 10 - 0,4 \cdot 5 = 3 \text{ мВ.}$$

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

$$D[\Delta_{\xi}] = \sigma^2[\Delta_{ос}] + \{\sigma_p[\Delta_0] + K_{с,сф1}(\xi_{в1} - \xi_{ref,1}) + K_{с,сф2}(\xi_{н2} - \xi_{ref,2})\}^2 + \\ + K_{с,сф1}^2 \sigma^2[\xi_1] + K_{с,сф2}^2 \sigma^2[\xi_2] + H_{оп}^2 / 12.$$

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  $\xi_1, \xi_2$  в интервалах  $(\xi_{н1}, \xi_{п1}), (\xi_{н2}, \xi_{п2})$

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

$$\sigma[\xi_1] = \frac{\xi_{в1} - \xi_{п1}}{\sqrt{12}} = \frac{35 - 25}{\sqrt{12}} = 2,9 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\sigma[\xi_2] = \frac{\xi_{в2} - \xi_{п2}}{\sqrt{12}} = \frac{230 - 200}{\sqrt{12}} = 8,7 \text{ В.}$$

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

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

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.

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

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

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  $\Delta_{СИ}$  является симметричным, одномодальным и не бо-

лее островершинным, чем нормальное распределение, то значение коэффициента  $K_{ср}$  можно определять по кривой, представленной на рисунке. Для значения  $P=0,95$  коэффициент  $K_{ср}$  составляет 1,95, тогда

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

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

**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  $\Delta_{ор} = 20 \text{ мВ}$ ,

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

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

где  $K_{sf} = 1$  — 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

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

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)

$$\Delta_{с1м} = \varepsilon_p(\xi_1) \frac{\xi_{в1} - \xi_{ref 1}}{\Delta \xi_{_1}} = \frac{(35 - 20)5}{10} = 7,5 \text{ мВ};$$

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \Delta_{сн.н} &= -(\Delta_{ор} + \Delta_{с1м} + \Delta_{с2м} + \delta_{dyn м} U) = -(20 + 7,5 + 10 + 0,05U) \text{ мВ} = \\ &= -(37,5 + 0,05U) \text{ мВ}, \end{aligned}$$

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

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

**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 составляющей основной погрешности  $\sigma_p [\Delta_0] = 0,3$  мА;

номинальная функция влияния температуры на систематическую составляющую погрешности

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

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

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

### 3.1.2. Характеристики влияющей величины:

$$\xi_{н1} = 30^\circ\text{С}, \xi_{в1} = 60^\circ\text{С}.$$

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

$$M[\Delta_{osp}] = 0, M[\xi_1] = 0,5(\xi_{н1} + \xi_{в1}) = 0,5(30 + 60) = 45^\circ\text{С}.$$

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)

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

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

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

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

## 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 60×90<sup>1/8</sup> Бумага типографская № 1  
Гарнитура литературная Печать высокая 9,5 усл печ л 9 625 усл кр отт 10 10 14 нзд л  
Тираж 30000 Зак 2561 Цена 55 коп

---

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов 123840 Москва ГСП  
Новопресненский пер., 3  
Калужская типография стандартов ул. Московская 256

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