

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

1.2. Для расчета характеристик погрешности СИ рекомендует-ся 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 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 $\Psi_{H, sf}(\xi_j)$, $j=1, 2 \dots k$ 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 Δ_{sm} неисключенная систематическая составляющая погрешности СИ;

среднее квадратическое отклонение $\sigma[\Delta]$ 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 $\Psi_H(\xi_j)$, $j=1, 2 \dots k$ 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 ξ_j .

2.2.2.1. Значения ξ_j , $j=1, 2...n$ (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, $j=1, 2...n$ (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 $\varepsilon_p(\xi_j)$, $j=1, 2...n$ 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 , $j=1, 2...n$ влияющих величин.

2.3.2.2. Наименьшие ξ_{nj} и наибольшие ξ_{vj} , $j=1, 2...n$ 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.

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

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

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 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_{sj} значения, соответствующие реальным условиям эксплуатации СИ, и нет оснований выделять области предпочтительных значений влияющей величины в границах от ξ_{nj} до ξ_{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 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

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

Для аналоговых СИ $\mu_{sf} = 0$

Суммирование выполняется для n , l и k влияющих величин, для которых нормированы метрологические характеристики $\Psi_{s, sf}(\xi_j)$, $j=1, 2, \dots, n$; $\Psi_{s, sf}(\xi_j)$, $j=1, 2, \dots, l$; $\Psi_{n, sf}(\xi_j)$, $j=1, 2, \dots, k$ 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 ξ_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 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_{pj} значения, соответствующие реальным условиям эксплуата-

ции 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

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

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 $G_{st}(S)$ (п. 2.2.1), то предварительно заменой аргумента S на $j\omega$ получают амплитудно-фазовую характеристику $G_{st}(j\omega)$.

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

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

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

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

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

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.

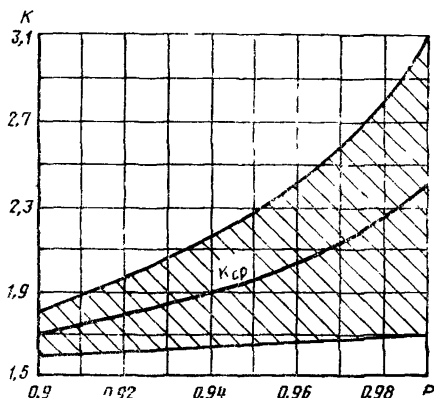
3.1.5.1. Если закон распределения погрешности $\Delta_{\text{СИ}}$ может быть отнесен к числу симметричных законов распределения с невозрастающей плотностью по мере удалений от центра распределения, то в качестве значения K может быть принято $K_{\text{ср}}$. График зависимости $K_{\text{ср}}$ (P) приведен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

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

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 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 $\delta_K, \%$ — наибольшая возможная относительная погрешность K .

| P | Значения K (числитель) и $\delta_K, \%$ (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 $\Delta_{с/м}$ 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 $\Delta\xi_{ej}$ влияющей величины, для которого нормирована метрологическая характеристика $\varepsilon_p(\xi_j)$, равен диапазону рабочих условий применения СИ; или

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

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 наилучший из всех возможных характер зависимости (ступенчатая функция) дополнительной погрешности СИ $\Delta_{с/м}$ от ξ_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 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 $K_*(\xi_j)$ 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 $K_*(\xi_j)$ в соответствии с выражениями (21) и (22) в качестве ξ_j используется то из значений ξ_{nj} или ξ_{vj} , при котором $K_*(\xi_j)$ 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 $\omega_n \leq \omega_m \leq \omega_v$ (п. 2.3.3) от значения $A_{sf}(\omega_0)$.

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

$$\Delta_{сн.в} = \Delta_{оп} + \sum_{j=1}^n \Delta_{сjm} + \delta_{dyn m} R, \quad (24)$$

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

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;
 $\sigma_p[\Delta_0]$ — предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей основной погрешности конкретного экземпляра СИ,
 $H_{\text{ор}}$ — предел допускаемой вариации СИ при нормальных условиях;
 μ_{sf} — номинальная цена единицы наименьшего разряда кода цифрового измерительного прибора (аналого-цифрового измерительного преобразователя);
 $\Psi_{\text{с.сф}}(\xi_j)$ — номинальная функция влияния j -й влияющей величины на систематическую составляющую погрешности СИ,
 $\Psi_{\sigma,\text{сф}}(\xi_j)$ — номинальная функция влияния j -й влияющей величины на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности СИ,
 $\Psi_{\text{н.сф}}(\xi_j)$ — 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 $\varepsilon_p(\xi_j)$;
 $K_{\text{с.сф}j}$ — номинальный коэффициент влияния j -й влияющей величины на систематическую составляющую погрешности СИ,
 $K_{\sigma,\text{сф}j}$ — номинальный коэффициент влияния j -й влияющей величины на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности СИ,
 $K_{\text{н.сф}j}$ — номинальный коэффициент влияния j -й влияющей величины на вариацию СИ,
 $\Delta_{\text{ор}}$ — 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,

- $\xi_{ref,j}$ — 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 $\xi_j = M[\xi_j]$;
 $\Psi_{n.sfm}(\xi_j), \Psi_{\sigma.sfm}(\xi_j)$ — наибольшие на интервале $\xi_{nj} \leq \xi_j \leq \xi_{bj}$ номинальные функции влияния $\Psi_{n.sf}(\xi_j)$ и $\Psi_{\sigma.sf}(\xi_j)$;
 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;
 $K_*(\xi_j)$ — 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 $\Delta_{\text{осп}} = 10$ мВ;

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

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

номинальные функции влияния на систематическую составляющую погрешности

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

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;

$\xi_{\text{ref},1} = 20$ °С; $\xi_{\text{ref},2} = 220$ В — нормальные значения влияющих величин;

номинальные функции влияния на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности

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

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 $K_{sf} = 1$ — 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 $D_u = 0,1$ В² — 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 $(-\Delta_{\text{осп}}, \Delta_{\text{осп}})$ и значений влияющих величин ξ_1, ξ_2 в интервалах (ξ_{n1}, ξ_{b1}) , (ξ_{n2}, ξ_{b2})

$$M[\Delta_{\text{осп}}] = 0, M[\xi_1] = 0,5(\xi_{n1} + \xi_{b1}) = 0,5(25 + 35) = 30^\circ\text{C},$$

$$M[\xi_2] = 0,5(\xi_{n2} + \xi_{B2}) = 0,5(200 + 230) = 215 \text{ В.}$$

В соответствии с формулами (2), (3)

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

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

$$D[\Delta_{\xi}] = \sigma^2[\Delta_{os}] + \{\sigma_p[\Delta_0] + K_{s, sf1} (\xi_{B1} - \xi_{ref,1}) + K_{s, sf2} (\xi_{n2} - \xi_{ref,2})\}^2 + \\ + K_{s, sf1}^2 \sigma^2[\xi_1] + K_{s, sf2}^2 \sigma^2[\xi_2] + H_{op}^2 / 12.$$

Для случая, когда нет оснований выделить область предпочтительных значений систематической составляющей основной погрешности в интервале $(-\Delta_{osp}, \Delta_{osp})$ и области предпочтительных значений влияющих величин ξ_1, ξ_2 в интервалах $(\xi_{n1}, \xi_1), (\xi_{n2}, \xi_{B2})$

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

$$\sigma[\xi_1] = \frac{\xi_{B1} - \xi_{n1}}{\sqrt{12}} = \frac{35 - 25}{\sqrt{12}} = 2,9^\circ \text{C};$$

$$\sigma[\xi_2] = \frac{\xi_{B2} - \xi_{n2}}{\sqrt{12}} = \frac{230 - 200}{\sqrt{12}} = 8,7 \text{ В.}$$

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

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

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

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

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°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

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

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)

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

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

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 $\Delta_{осп} = 1$ 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/(°C)², $\xi_{ref.1} = 20$ °C;

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

3.1.2. Характеристики влияющей величины:

$$\xi_{n1} = 30^\circ\text{C}, \xi_{s1} = 60^\circ\text{C}.$$

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 $(-\Delta_{осп}, \Delta_{осп})$ и области предпочтительных значений влияющей величины в интервале (ξ_{s1}, ξ_{n1}) , несимметрично расположенные относительно центров указанных интервалов, получим

$$M[\Delta_{осп}] = 0, M[\xi_1] = 0,5(\xi_{n1} + \xi_{s1}) = 0,5(30 + 60) = 45^\circ\text{C}.$$

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

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

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

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

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 $K_{ср}$ вычисляется по формуле (19). Для значения $P = 0,9$ коэффициент $K_{ср}$ равен 2, тогда

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

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

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 60×90¹/₁₆ Бумага типографская № 1
Гарнитура литературная Печать высокая 9,5 усл печ л 9 625 усл кр отт 10 10 14 изд л
Тираж 30000 Зак 2561 Цена 55 коп

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов 125840 Москва ГСП
Новопрессненский 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 температура | кельвин | 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 дополнительные единицы СИ |
| | Наименование | Обозначение | | |
| | | международное | 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 | сиemens | 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 | тесла | 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 | грэй | Gy | Гр | $\text{м}^2 \text{с}^{-2}$ |
| Эквивалентная доза излучения | зиверт | Sv | Зв | $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$ |