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

## РД 50-453—84

gost.e-ecolog.ru

**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**

УДК 389.14:089.6

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 $M[\Delta_{си}]$ 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 $\sigma_p\ [\mathring{\Delta}_0]$ 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 $\Psi_{s.sf}(\xi_j)$, $j=1, 2...n$ на систематическую составляющую погрешности СИ;

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

номинальные функции влияния $\Psi_{н.sf}(\xi_j)$, $j=1, 2...k$ 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 $\sigma[\mathring{\Delta}]$ случайной составляющей погрешности СИ;

вариация $H$ СИ;

цена $\mu$ единицы наименьшего разряда кода цифрового измерительного прибора (аналого-цифрового измерительного преобразователя);

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

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

функции влияния $\Psi_н(\xi_j)$, $j=1, 2...k$ на вариацию СИ;

одна из полных динамических характеристик СИ: переходная характеристика $h(t)$ импульсная переходная характеристика $g(t)$, амплитудно-фазовая характеристика $G(j\omega)$, передаточная функция $G(S)$.

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

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

2.2.2. Характеристики влияющих величин $\xi_j$ .

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

2.2.2.2. Математические ожидания $M[\xi_j]$, средние квадратические отклонения $\sigma[\xi_j]$, наименьшие $\xi_{нj}$ и наибольшие $\xi_{вj}$ 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 $\Delta_{ор}$ допускаемых значений основной погрешности СИ;

наибольшие допускаемые изменения $\varepsilon_р(\xi_j)$, $j=1, 2...n$ 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 $\xi_j$, $j=1, 2...n$ влияющих величин.

2.3.2.2. Наименьшие $\xi_{нj}$ и наибольшие $\xi_{вj}$ , $j=1, 2...n$ 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 $\omega_н$ и верхняя $\omega_в$ 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

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

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

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

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

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

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

**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 $\xi_j$

$$M[\Psi_{s.sf}(\xi_j)]=\int_{\xi_{нj}}^{\xi_{вj}}\Psi_{s.sf}(\xi_j)\cdot\varphi(\xi_j)\,d\xi_j. \qquad (4)$$

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

$$M[\Psi_{s.sf}(\xi_j)]=\Psi_{s.sf}(M[\xi_j])+0,5\Psi''_{s.sf}(M[\xi_j])\cdot\sigma^2[\xi_j]. \qquad (5)$$

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 $\xi_{нj}$ и наибольшее $\xi_{вj}$ значения, соответствующие реальным условиям эксплуатации СИ, и нет оснований выделить области предпочтительных значений влияющей величины в границах от $\xi_{нj}$ до $\xi_{вj}$, несимметрично расположенные относительно центра интервала, определяемого указанными границами, то допускается для расчетов характеристик погрешности СИ пользоваться предположением

$$M[\xi_j]=0,5(\xi_{нj}+\xi_{вj}).$$

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

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

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

$$D[\Delta_\xi]=\sigma^2[\Delta_{os}]+\sum_{j=1}^{n}D[\Psi_{s\,sf}(\xi_j)]+[\sigma_p[\mathring{\Delta}_0]+\sum_{j=1}^{l}\Psi_{\sigma\,sm}(\xi_j)]^2+$$

$$+\frac{1}{12}[H_{op}+\sum_{j=1}^{k}\Psi_{H\,sm}(\xi_j)]^2+\frac{\mu^2_{sf}}{12}. \quad (7)$$

Для аналоговых СИ $\mu_{sf}=0$

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

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

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

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 $\xi_j$

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

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 $\xi_{vj}$ значения, соответствующие реальным условиям эксплуата-

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Delta_{\text{си н}} = M[\Delta_{\text{си}}] - K\sigma[\Delta_{\text{си}}] \ , \tag{17}$$

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

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.

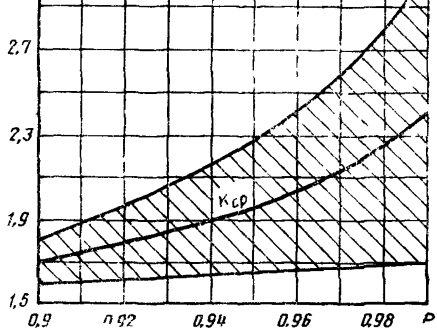
3.1.5.1. Если закон распределения погрешности $\Delta_{\text{си}}$ может быть отнесен к числу симметричных законов распределения с невозрастающей плотностью по мере удалений от центра распределения, то в качестве значения $K$ может быть принято $K_{\text{ср}}$. График зависимости $K_{\text{ср}}(P)$ приведен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

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

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 | 1,6 / 7 | 1,7 / 25 | 1,5 / 40 | 1,2 / 65 | — |
| 0,95 | 1,7 / 8 | 2,0 / 25 | 2,1 / 40 | 2,0 / 45 | 1,9 / 55 |
| 0,98 | 1,8 / 8 | 2,2 / 25 | 2,5 / 40 | 2,7 / 45 | 2,7 / 50 |

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

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

$$\Delta_{cjm}=\varepsilon_p(\xi_j)K_\varepsilon(\xi_j), \tag{20}$$

где

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

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

$$K_c(\xi_j)=\frac{|\xi_j-\xi_{ref\,j}|}{\Delta\xi_{\varepsilon j}}, \tag{22}$$

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 наихудший из всех возможных характер зависимости (ступенчатая функция) дополнительной погрешности СИ $\Delta_{cj}$ от $\xi_j$ в рабочей области значений влияющей величины. Если в результате исследования определена функция влияния конкретного экземпляра СИ, то расчет $\Delta_{cjm}$ может производиться с использованием этой функции влияния. Например, если в результате исследования установлен линейный характер зависимости $\Delta_{cj}$ 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 $K_\varepsilon$ ($\xi_j$) 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 $K_\varepsilon$ ($\xi_j$) в соответствии с выражениями (21) и (22) в качестве $\xi_j$ используется то из значений $\xi_{нj}$ или $\xi_{вj}$, при котором $K_\varepsilon(\xi_j)$ имеет наибольшее значение.

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

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

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

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

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

$$\Delta_{си.в}=\Delta_{ор}+\sum_{j=1}^{n}\Delta_{cjm}+\delta_{dyn\,m}R, \qquad (24)$$

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

где $R$ — результат измерения.

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

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$\Delta_{си}$ — погрешность СИ в реальных условиях эксплуатации,

$\Delta_{си\,н}$, $\Delta_{сн.в}$ — нижняя и верхняя границы интервала, в котором с вероятностью $P$ находится погрешность СИ,

$\Delta_{os}$ — систематическая составляющая основной погрешности СИ,

$\Delta_{sm}$ — наибольшее возможное по абсолютной величине значение неисключенной систематической составляющей погрешности конкретного экземпляра СИ;

$\sigma_p[\mathring{\Delta}_0]$ — предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей основной погрешности конкретного экземпляра СИ,

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

$\mu_{sf}$ — номинальная цена единицы наименьшего разряда кода цифрового измерительного прибора (аналого-цифрового измерительного преобразователя);

$\Psi_{s.sf}(\xi_j)$ — номинальная функция влияния $j$-й влияющей величины на систематическую составляющую погрешности СИ,

$\Psi_{\sigma.sf}(\xi_j)$ — номинальная функция влияния $j$-й влияющей величины на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности СИ,

$\Psi_{н.sf}(\xi_j)$ — 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,

$\Delta\xi_{\varepsilon_j}$ — приращение $j$-й влияющей величины, для которой нормирована метрологическая характеристика $\varepsilon_p(\xi_j)$;

$K_{s.sfj}$ — номинальный коэффициент влияния $j$-й влияющей величины на систематическую составляющую погрешности СИ,

$K_{\sigma.sfj}$ — номинальный коэффициент влияния $j$-й влияющей величины на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности СИ,

$K_{н\,sfj}$ — номинальный коэффициент влияния $j$-й влияющей величины на вариацию СИ,

$\Delta_{op}$ — предел допускаемой основной погрешности СИ,

$h_{sf}(t)$ — номинальная переходная характеристика СИ;

$g_{sf}(t)$ — номинальная импульсная переходная характеристика СИ,

$G_{sf}(j\omega)$ — номинальная амплитудно-фазовая характеристика;

$G_{sf}(S)$ — номинальная передаточная функция,

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

$\xi_j$ — $j$-я влияющая величина

$\xi_{нj}$, $\xi_{вj}$ — наименьшие и наибольшие значения $j$-й влияющей величины, соответствующие реальным условиям эксплуатации СИ,

$\xi_{ref.j}$ — нормальное значение $j$-й влияющей величины;

$\varphi(\xi_j)$ — закон распределения влияющей величины $\xi_j$;

$x$ — значение входного сигнала;

$\omega_н$, $\omega_в$ — нижняя и верхняя границы спектра частот входного сигнала СИ;

$S_x(\omega)$ — спектральная плотность входного сигнала СИ;

$R_x(\tau)$ — автокорреляционная функция входного сигнала СИ;

$\Delta_\xi$ — 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 $\xi_j = (M[\xi_j])$;

$\Psi_{н.sfm}(\xi_j)$, $\Psi_{\sigma.sfm}(\xi_j)$ — наибольшие на интервале $\xi_{нj} \leqslant \xi_j \leqslant \xi_{вj}$ номинальные функции влияния $\Psi_{н.sf}(\xi_j)$ 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;

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

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

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

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

$D[\cdot]$ — символ дисперсии;

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

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

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

1.1. Исходные данные.

1.1.1. Нормируемые метрологические характеристики СИ:

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

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

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

номинальные функции влияния на систематическую составляющую погрешности

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

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

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

номинальные функции влияния на среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности

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

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

номинальная амплитудно-фазовая характеристика

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

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

1.1.2. Характеристики влияющих величин.

$$\xi_{н1}=25°С,\ \xi_{в1}=35°С,\ \xi_{н2}=200В,\ \xi_{в2}=230В.$$

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

$\alpha=0{,}2$ с$^{-1}$.

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

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

Для случая, когда нет оснований предполагать несимметричность распределения значений систематической составляющей основной погрешности в интервале $(-\Delta_{osp}, \Delta_{osp})$ и значений влияющих величин $\xi_1$, $\xi_2$ в интервалах $(\xi_{н1}, \xi_{в1})$, $(\xi_{н2}, \xi_{в2})$

$$M[\Delta_{os}]=0,\ M[\xi_1]=0{,}5(\xi_{н1}+\xi_{в1})=0{,}5(25+35)=30°С,$$

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

В соответствии с формулами (2), (3)

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

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

$$D[\Delta_\xi]=\sigma^2[\Delta_{os}]+\{\sigma_p[\mathring{\Delta}_0]+K_{s.sf1}(\xi_{в1}-\xi_{ref.1})+K_{\sigma.sf2}(\xi_{н2}-\xi_{ref.2})\}^2+$$
$$+K^2_{s.sf1}\sigma^2[\xi_1]+K^2_{s\ sf2}\sigma^2[\xi_2]+H^2_{op}/12.$$

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 $\xi_1$, $\xi_2$ в интервалах $(\xi_{н1}, \xi_{в1}), (\xi_{н2}, \xi_{в2})$

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

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

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

С учетом полученных значений средних квадратических отклонений

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

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

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

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

**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 $\Delta_{ор}=20$ мВ,

наибольшее допускаемое изменение $\varepsilon_р(\xi_1)$ погрешности, вызванное отклонением температуры от нормального значения (20 °С), составляет 5 мВ на каждые 10 °С отклонения температуры,

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

номинальная амплитудно-частотная характеристика

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

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

2 1 2 Характеристики влияющих величин

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

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)

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

$$\Delta_{c2m}=\varepsilon_р(\xi_2)\cdot K_\varepsilon(\xi_2)=10\ мВ.$$

2 3 Расчет оценки сверху относительного значения динамической погрешности (п 3.2.2)

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

2 4 Расчет характеристик погрешности СИ в реальных условиях эксплуатации (п 3 2 3).

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

$$\Delta_{си.н}=-(\Delta_{ор}+\Delta_{c1m}+\Delta_{c2m}+\delta_{dyn\,m}U)=-(20+7{,}5+10+0{,}05U)мВ=$$

$$=-(37{,}5+0{,}05U)мВ,$$

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

Для конкретного значения измеренного мгновенного напряжения $U=0{,}6$ В границы интервала погрешности составляют $\Delta_{си\,н}=-68$ мВ, $\Delta_{си.в}=68$ 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 $\sigma_p[\mathring{\Delta}_0] = 0{,}3$ 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)$^2$, $\xi_{ref.1} = 20$ °С;

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

3.1.2. Характеристики влияющей величины:

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

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

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

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

$$M[\Delta_\xi] = M[\Delta_{osp}] + K_{s.sfl}(M[\xi_1] - \xi_{ref.1})^2 + K_{s.sfl}\sigma^2(\xi_1) =$$

$$= 1 \cdot 10^{-3}(45 - 20)^2 + 1 \cdot 10^{-3}\frac{(60-30)^2}{12} = 0{,}7 \text{ мА}.$$

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

$$D[\Delta_\xi] = \sigma^2[\Delta_{osp}] + [2K_{s.sfl}(M[\xi_1] - \xi_{ref.1})]^2\sigma^2[\xi_1] + 1{,}6K_{s.sfl}^2\sigma^4[\xi_1] +$$

$$+ \sigma_p^2[\mathring{\Delta}_0] + \frac{\mu_{sf}^2}{12} = 0{,}33 + (2 \cdot 10^{-3})^2(45 - 20)^2\frac{(60-30)^2}{12} +$$

$$+ 1{,}6 \cdot 1 \cdot 10^{-6}\frac{(60-30)}{12^2} + 0{,}09 + 0{,}083 = 0{,}7 \text{ мА}^2.$$

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

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

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

## 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 ,0 уч изд 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

**Цена 55 коп.**

## ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ

| Величина | Единица: Наименование | Обозначение: международное | Обозначение: русское |
|---|---|---|---|
| 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

| Величина | Единица: Наименование | Обозначение: международное | Обозначение: русское |
|---|---|---|---|
| Плоский угол | радиан | rad | рад |
| Телесный угол | стерадиан | sr | ср |

## ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ, ИМЕЮЩИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ

| Величина | Единица: Наименование | Обозначение: международное | Обозначение: русское | Выражение через основные и дополнительные единицы СИ |
|---|---|---|---|---|
| Частота | герц | Hz | Гц | $с^{-1}$ |
| 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 $с^{-3}$ $А^{-1}$ |
| Электрическая емкость | фарад | F | Ф | $м^{-2}$ $кг^{-1}$ $с^4$ $А^2$ |
| Электрическое сопротивление | ом | Ω | Ом | $м^2$ кг $с^{-3}$ $А^{-2}$ |
| Электрическая проводимость | сименс | S | См | $м^{-2}$ $кг^{-1}$ $с^3$ $А^2$ |
| Поток магнитной индукции | вебер | Wb | Вб | $м^2$ кг $с^{-2}$ $А^{-1}$ |
| Магнитная индукция | тесла | T | Тл | кг $с^{-2}$ $А^{-1}$ |
| Индуктивность | генри | H | Гн | $м^2$ кг $с^{-2}$ $А^{-2}$ |
| 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 | $м^2 \cdot с^{-2}$ |

gost.e-ecolog.ru