

ДИОДЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СВЧ  
СМЕСИТЕЛЬНЫЕМетоды измерения нормированного  
коэффициента шумаSemiconductor UHF mixer diodes. Measurement  
methods of standard overall noise figureГОСТ  
19656.6—74\*

(СТ СЭВ 3997—83)

ОКП 62 1810

Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров  
СССР от 29 марта 1974 г. № 753 срок введения установлен

с 01.07.75

Проверен в 1983 г. Постановлением Госстандарта от 30.05.83 № 2391  
срок действия продлен

до 01.07.88

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт распространяется на полупроводниковые смесительные диоды СВЧ и устанавливает в диапазоне частот от 0,3 до 78,3 ГГц 2-го метода измерения нормированного коэффициента шума  $F_{\text{норм}}$ :

метод шумового генератора;

метод определения  $F_{\text{норм}}$  по измеренным значениям потерь преобразования и шумового отношения.

Стандарт соответствует полностью СТ СЭВ 3997—83 и Публикации МЭК 147—2К в части принципа измерения.

Общие требования при измерении и требования безопасности — по ГОСТ 19656.0—74.

(Измененная редакция, Изм. № 2).

## 1. МЕТОД ШУМОВОГО ГЕНЕРАТОРА

## 1.1. Принцип и режим измерения

1.1.1. Принцип измерения основан на определении нормированного коэффициента шума при включении смесительного диода в качестве преобразователя на входе супергетеродинного приемника, коэффициент шума усилителя промежуточной частоты которого, а также мощность генератора шума, подаваемая на вход приемника, известны.

Издание официальное

Перепечатка воспрещена

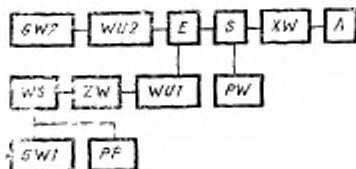


\* Переиздание (октябрь 1984 г.) с Изменениями № 1, 2, утвержденными в июне 1976 г.; в июне 1984 г., Пост. № 1946 по 15.06.84 (ИУС 7—76, 9—84).

1.1.2. Режим измерения (уровень СВЧ мощности, длина волны или частота, на которой проводят измерения, сопротивление нагрузки диода по постоянному току, промежуточная частота и требования к измерительной камере) должны соответствовать установленным в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов.

## 1.2. Аппаратура

1.2.1. Нормированный коэффициент шума следует измерять на установке, схема которой приведена на чертеже.



GW1—генератор СВЧ мощности; PF—частотомер; WS—вентиль; ZW—фильтр СВЧ или другое устройство, обеспечивающее подавление шумов генератора GW1; WU1—переменный аттенуатор; GW2—генератор шума; WU2—прецизионный аттенуатор; E—направленный ответвитель; S—переключатель СВЧ; PW—измеритель мощности; XW—измерительная диодная камера с диодом; A—усилитель промежуточной частоты

1.2.2. Фильтр СВЧ ZW, обеспечивающий подавление шумов генератора GW1 на частотах измерения до 17,78 ГГц, должен удовлетворять следующим требованиям:

рабочая частота должна быть равна частоте измерения  $f_0$ ;

полоса пропускания  $2\Delta f_1$  на уровне 25 дБ от вершины его частотной характеристики должна быть не более  $2f_{пч}(f_{пч} - \text{промежуточная частота})$ ;

полоса пропускания  $2\Delta f_2$  на уровне 0,5 дБ от вершины его частотной характеристики должна удовлетворять условию

$$2\Delta f_2 \geq 0,4(2\Delta f_1).$$

При использовании других устройств, обеспечивающих подавление шумов генератора GW1 на частотах измерения свыше 17,78 до 78,3 ГГц, погрешность измерения нормированного коэффициента шума должна быть в пределах, указанных в п. 1.5.

1.2.3. Генератор шума GW2 должен удовлетворять следующим требованиям:

спектральная плотность мощности шума  $G$  должна быть не менее  $40 \text{ кТ}_0$  (где  $\kappa = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ ,  $T_0 = 293 \text{ К}$ ) или не менее 40 единиц для относительной спектральной плотности шума;

погрешность определения спектральной плотности мощности шума должна быть в пределах  $\pm 0,3$  дБ;

рабочая полоса частот должна перекрывать диапазон частот от  $f_0 - f_{\text{пч}}$  до  $f_0 + f_{\text{пч}}$ , где  $f_0$  — значение частоты генератора  $GW1$ , на которой проводят измерения;

неравномерность спектральной плотности мощности шума в рабочей полосе частот должна быть в пределах  $\pm 0,1$  дБ.

Коэффициент стоячей волны по напряжению выхода генератора как в включенном, так и в выключенном состоянии должен быть не более 1,25.

1.2.4. Прецизионный аттенюатор  $WU2$  в диапазоне частот от 0,3 до 37,5 ГГц должен удовлетворять следующим требованиям:

КСВН входа и выхода должен быть не более 1, 2;

максимальное ослабление должно быть не менее 30 дБ;

погрешность отсчета вносимого ослабления должна быть в пределах  $\pm (0,01 + 0,005A)$ , где  $A$  — устанавливаемое значение ослабления.

В диапазоне частот свыше 37,5 до 300 ГГц пределы погрешности отсчета вносимого ослабления должны соответствовать установленным в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов.

1.2.5. Направленный ответвитель  $E$  должен удовлетворять следующим требованиям:

направленность должна быть не менее 20 дБ;

переходное ослабление должно обеспечивать подачу номинального уровня СВЧ мощности  $P_0$  от генератора  $GW1$  и уровня мощности шума от генератора шума  $GW2$  на вход измерительной диодной камеры  $XW$ .

1.2.6. СВЧ тракт от генератора шума  $GW2$  до измерительной диодной камеры  $XW$  должен быть прокалиброван по ослаблению на частотах  $f_0 + f_{\text{пч}}$  и  $f_0 - f_{\text{пч}}$ . Значения ослаблений на этих частотах  $r_1$  и  $r_2$  (в относительных единицах) должны быть установлены с погрешностью в пределах  $\pm 0,2$  дБ. При калибровке тракта аттенюатор  $WU2$  должен иметь показание, соответствующее минимальному ослаблению.

1.2.7. Усилитель промежуточной частоты  $A$  должен удовлетворять следующим требованиям:

рабочая частота должна соответствовать промежуточной частоте  $f_{\text{пч}}$ ;

полоса пропускания должна быть не более  $0,1 f_{\text{пч}}$ ;

входное сопротивление по постоянному току должно быть равно нагрузке диода по постоянному току и установлено с погрешностью в пределах  $\pm 1\%$ ;

схема трансформации на входе должна обеспечивать согласование выходных сопротивлений проверяемых диодов  $r_{\text{вых}}$  со входом усилителя;

коэффициент шума во всем диапазоне  $f_{\text{вых}}$  проверяемых диодов должен быть равен 1,5 дБ и определен с погрешностью в пределах  $\pm 0,3$  дБ;

коэффициент усиления должен быть не менее 50 дБ с плавной регулировкой не менее 6 дБ;

относительная нестабильность коэффициента усиления должна быть в пределах  $\pm 2\%$ ;

выходной каскад должен иметь детектор с квадратичной характеристикой, отклонение от квадратичности которой в динамическом диапазоне 15 дБ должно быть в пределах  $\pm 2\%$ ;

индикаторный прибор на выходе должен иметь класс точности не ниже 1,0.

### 1.3. Проведение измерения

1.3.1. Измерение проводят двумя способами: способом удваивания выходной мощности и способом двух отсчетов.

#### 1.3.2. Способ удваивания выходной мощности

1.3.2.1. При выключенном генераторе шума  $GW2$  устанавливают заданный режим измерения: рабочую частоту и СВЧ мощность на входе измерительной диодной камеры  $XW$ .

1.3.2.2. В измерительную диодную камеру  $XW$  устанавливают проверяемый диод и при включенном генераторе шума  $GW2$  с помощью трансформатора на входе усилителя  $A$  получают максимальное показание его индикаторного прибора.

Выключают генератор шума и регулировкой усилителя  $A$  устанавливают показание его индикаторного прибора на участке от трети до половины его шкалы.

1.3.2.3. Включают генератор шума  $GW2$  и аттенуатором  $WU2$  устанавливают при этом же усилении усилителя  $A$  удвоенное показание его индикаторного прибора.

Примечание. Допускается использование прецизионного аттенуатора с ослаблением 3 дБ в тракте усилителя  $A$ . При этом включают  $GW2$ , вводят ослабление 3 дБ в тракте усилителя  $A$ , аттенуатором  $WU2$  добиваются первоначального показания индикаторного прибора усилителя.

1.3.2.4. Определяют значение ослабления  $d_{WU2}$  в СВЧ тракте аттенуатором  $WU2$ .

#### 1.3.3. Способ двух отсчетов

1.3.3.1. При использовании этого способа аттенуатор  $WU2$  исключают из функциональной схемы или его наличие учитывают при калибровке участка СВЧ тракта от  $GW2$  до  $XW$ .

1.3.3.2. При выключенном генераторе шума  $GW2$  устанавливают заданный режим измерения: рабочую частоту и СВЧ мощность на входе  $XW$ .

1.3.3.3. В измерительную диодную камеру  $XW$  устанавливают проверяемый диод и при включенном генераторе шума  $GW2$  с помощью трансформатора на входе усилителя  $A$  получают максимальное значение его индикаторного прибора.

Выключают генератор шума и регулировкой усиления усилителя  $A$  устанавливают показание его индикаторного прибора  $a_1$ , равное одной трети шкалы.

1.3.3.4. Включают генератор шума  $GW2$  и при том же усилении усилителя  $A$  отмечают показание  $a_2$  по индикаторному прибору усилителя.

**Примечания:**

1. Допускается использование прецизионного аттенуатора в тракте усилителя  $A$ . При этом включают генератор шума  $GW2$ , при помощи аттенуатора в тракте усилителя  $A$  получают первоначальное показание  $a_1$  и измеряют изменение его ослабления  $\alpha$  в относительных единицах.

2. Допускается измерение по методу шумового генератора общего (ненормированного) и коэффициента шума  $F_{\text{общ}}$  приемного устройства при использовании усилителя  $A$  с коэффициентом шума  $F_{\text{увч}}$ , не равным 1,5 дБ с последующим пересчетом его значения в значение нормированного коэффициента шума диода  $F_{\text{норм}}$ .

#### 1.4. Обработка результатов

1.4.1. При измерении способом удваивания выходной мощности вычисляют нормированный коэффициент шума  $F_{\text{норм}}$  в относительных единицах по формуле (1) при  $r_1$ , не равном  $r_2$ , или по формуле (2) при  $r_1 = r_2 = r$

$$F_{\text{норм}} = \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right) \cdot \frac{G-1}{r_1 \cdot \alpha_{WU2}}, \quad (1)$$

$$F_{\text{норм}} = \frac{2 \cdot (G-1)}{r \cdot \alpha_{WU2}}, \quad (2)$$

где  $G$  — относительная спектральная плотность мощности шума генератора  $GW2$  в относительных единицах;

$\alpha_{WU2}$  — показание аттенуатора  $WU2$ , переведенное в относительные единицы;

$r_1$  — значение ослабления СВЧ тракта на частоте  $f_0 + f_{\text{увч}}$  в относительных единицах;

$r_2$  — значение ослабления СВЧ тракта на частоте  $f_0 - f_{\text{увч}}$  в относительных единицах.

1.4.2. При измерении способом двух отсчетов вычисляют нормированный коэффициент шума  $F_{\text{норм}}$  в относительных единицах по формуле (3)

$$F_{\text{норм}} = \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right) \cdot \frac{G-1}{r_1 \cdot \left(\frac{a_1}{a_2} - 1\right)}, \quad (3)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  — показания индикаторного прибора усилителя  $A$  в относительных единицах.

При использовании прецизионного аттенюатора в тракте усилителя промежуточной частоты вычисляют нормированный коэффициент шума  $F_{\text{норм}}$  по формуле (4)

$$F_{\text{норм}} = \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right) \cdot \frac{\alpha - 1}{r_1 \cdot (\alpha - 1)}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  — показание аттенюатора в тракте усилителя  $A$  в относительных единицах.

1.4.3. При измерении по методу шумового генератора общего коэффициента шума вычисляют нормированный коэффициент шума по формуле (5)

$$F_{\text{норм}} = F_{\text{общ}} - (F_{\text{унич}} - 1,41) \cdot L_{\text{прб}}, \quad (5)$$

где  $F_{\text{общ}}$  — общий коэффициент шума в относительных единицах;

$F_{\text{унич}}$  — коэффициент шума используемого усилителя, определенный с погрешностью в пределах  $\pm 0,3$  дБ, в относительных единицах;

$L_{\text{прб}}$  — потери преобразования проверяемого диода, определенные по ГОСТ 19656.4—74 и переведенные в относительные единицы.

При использовании компенсации шумов усилителя ( $F_{\text{унич}} = 1$ ) в результате измерений и последующих вычислений в соответствии с пп. 1.4.1 и 1.4.2 получают коэффициент шума смесителя  $F_{\text{см}} = L_{\text{прб}} N_{\text{ш}}$  и нормированный коэффициент шума  $F_{\text{норм}}$  вычисляют по формуле (6)

$$F_{\text{норм}} = F_{\text{см}} + 0,41 L_{\text{прб}}, \quad (6)$$

где  $F_{\text{см}}$  — коэффициент шума смесителя в относительных единицах.

## 1.5. Показатели точности измерений

1.5.1. Погрешность измерения нормированного коэффициента шума в диапазоне частот от 0,3 до 37,5 ГГц не должна выходить за пределы  $\pm 20\%$  с доверительной вероятностью 0,997.

В диапазоне частот выше 37,5 до 78,3 ГГц показатели точности измерения должны соответствовать установленным в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов.

1.5.2. Расчет показателей точности измерения нормированного коэффициента шума приведен в обязательном приложении 2.

## 2. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМИРОВАННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ШУМА ПО ИЗМЕРЕННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ПОТЕРЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ШУМОВОГО ОТНОШЕНИЯ

### 2.1. Принцип и режим измерения

2.1.1. Принцип измерения основан на определении коэффициента шума  $F_{\text{норм}}$  путем измерения потерь преобразования  $L_{\text{прб}}$

по ГОСТ 19656.4—74 и шумового отношения  $N_{ш}$  или  $N_{ш1}$  по ГОСТ 19656.5—74.

2.1.2. Режим измерения  $L_{прб}$  и  $N_{ш}(N_{ш1})$  — по ГОСТ 19656.4—74 и ГОСТ 19656.5—74.

2.2. Аппаратура — по ГОСТ 19656.4—74 и ГОСТ 19656.5—74.

2.3. Проведение измерения — по ГОСТ 19656.4—74 и ГОСТ 19656.5—74.

2.4. Обработка результатов

2.4.1. Нормированный коэффициент шума  $F_{норм}$  в относительных единицах вычисляют по формуле (7) или в децибелах по формуле (8)

$$F_{норм} = L_{прб} \cdot (N_{ш} + 0,41), \quad (7)$$

где  $L_{прб}$  — потери преобразования в относительных единицах;  
 $N_{ш}$  ( $N_{ш1}$ ) — шумовое отношение в относительных единицах.

$$F_{норм} = L_{прб} + 10 \lg(N_{ш} + 0,41), \quad (8)$$

где  $L_{прб}$  — потери преобразования, дБ.

2.5. Показатели точности измерений

2.5.1. Погрешность измерения нормированного коэффициента шума в диапазоне частот от 0,3 до 37,5 ГГц не должна выходить за пределы  $\pm 25\%$  с доверительной вероятностью 0,997.

В диапазоне частот свыше 37,5 до 300 ГГц показатели точности измерения должны соответствовать установленным в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов.

2.5.2. Расчет погрешности измерения нормированного коэффициента шума приведен в обязательном приложении 2.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Справочное

#### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ О СООТВЕТВИИ ГОСТ 19656.5—74 СТ СЭВ 3997—83

ГОСТ 19656.6—74 соответствует разд. 2 и 3 СТ СЭВ 3997—83.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Обязательное

## РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НОРМИРОВАННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ШУМА

При расчете погрешности принят нормальный закон распределения составляющих погрешностей и суммарной погрешности.

## 1. Метод шумового генератора

1.1. Нормированный коэффициент шума в относительных единицах рассчитывают по формуле

$$F_{\text{норм}} = \left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right) \cdot \frac{G-1}{r_1 \cdot \alpha_{\text{АП}}} \quad (1)$$

Логарифмируем формулу (1) и после почленного дифференцирования с заменой дифференциалов приращениями получаем алгебраическую сумму частных составляющих погрешности измерения

$$\frac{\Delta F_{\text{норм}}}{F_{\text{норм}}} = \left(\frac{r_2}{r_2+r_1}\right) \cdot \frac{\Delta r_1}{r_1} + \left(\frac{r_1}{r_2+r_1}\right) \cdot \frac{\Delta r_2}{r_2} + \left(\frac{G}{G-1}\right) \cdot \frac{\Delta G}{G} + \frac{\Delta \alpha_{\text{АП}}}{\alpha_{\text{АП}}} \quad (2)$$

1.2. Интервал погрешности измерения  $F_{\text{норм}}$  с доверительной вероятностью 0,997 определяют по формуле

$$\Delta F_{\text{норм}} = \pm \sqrt{\left(\frac{r_2}{r_1+r_2}\right)^2 \cdot \Delta r_1^2 + \left(\frac{r_1}{r_2+r_1}\right)^2 \cdot \Delta r_2^2 + \left(\frac{G}{G-1}\right)^2 \Delta G^2 + \Delta \alpha_{\text{АП}}^2} \quad (3)$$

где  $\Delta r_1 = \Delta r_2$  — погрешность калибровки СВЧ тракта на частотах  $f_0 + f_{\text{шч}}$  и  $f_0 - f_{\text{шч}}$ ;

$\Delta G$  — погрешность определения спектральной плотности мощности шума генератора шума;

$\Delta \alpha_{\text{АП}}$  — погрешность определения ослабления по прецизионному аттенюатору.

1.3. Коэффициенты влияния при  $\Delta r_1$ ,  $\Delta r_2$  и  $\Delta G$  имеют максимальное значение, равное 1, и формула (3) принимает вид

$$\Delta F_{\text{норм}} = \pm \sqrt{\Delta r_1^2 + \Delta r_2^2 + \Delta G^2 + \Delta \alpha_{\text{АП}}^2} \quad (4)$$

1.4 В подкоренное выражение (4) следует добавить погрешность  $\Delta_{\text{шч}}$ , обусловленную погрешностью  $\Delta F_{\text{ушч}}$  установления  $F_{\text{ушч}} = 1,5$  дБ; нестабильностью коэффициента усиления усилителя  $\Delta_{\text{несг}}$ ; отклонением от квадратичности амплитудной характеристики выходного каскада усилителя  $\Delta_{\text{хар}}$ ; рассогласованием выходного сопротивления диода и входного сопротивления усилителя  $\Delta_{\text{рас}}$ ; а также составляющую погрешности  $\Delta P$  за счет неточности установления, поддержания и контроля уровня СВЧ мощности с коэффициентом влияния, равным 1.

$$\Delta_{\text{шч}} = \pm \sqrt{\Delta F_{\text{ушч}}^2 + \Delta_{\text{несг}}^2 + \Delta_{\text{хар}}^2 + \Delta_{\text{рас}}^2} \quad (5)$$



Выражение (4) принимает вид

$$\delta F_{\text{норм}} = \pm \sqrt{\delta r_1^2 + \delta r_2^2 + \delta G^2 + 3\alpha_{\text{АП}}^2 + 3F_{\text{звч}}^2 + \gamma_{\text{несст}}^2 + \delta x_{\text{хар}}^2 + \delta r_{\text{рас}}^2 + \delta P^2}. \quad (6)$$

1.5. Значения погрешностей  $\delta r_1$ ,  $\delta r_2$ ,  $\delta G$ ,  $\delta F_{\text{звч}}$ ,  $\delta \gamma_{\text{несст}}$ ,  $\delta x_{\text{хар}}$ ,  $\delta r_{\text{рас}}$  равны:  $\delta r_1 = \delta r_2 = \delta r = \pm 5\%$ ;  $\delta G = \pm 7\%$ ;  $\delta F_{\text{звч}} = \pm 7\%$ ,  $\delta \gamma_{\text{несст}} = \pm 2\%$ ;  $\delta x_{\text{хар}} = \pm 2\%$ ;  $\delta r_{\text{рас}} = \pm 10\%$ .

В погрешность  $\delta \alpha_{\text{АП}}$  входят погрешность калибровки начального ослабления  $\pm 0,2$  дБ или  $\pm 5\%$  и погрешность градуировки шкалы аттенюатора  $\pm 2\%$ .

$$\delta \alpha_{\text{АП}} = \pm \sqrt{5^2 + 2^2} = \pm 5,4\%.$$

Погрешность  $\delta P = \pm 7\%$  (ГОСТ 19656.0—74) для уровней мощности  $10^{-2} - 5 \cdot 10^{-3}$  Вт, что соответствует режимам измерений смесительных диодов.

1.6. Подставив значения погрешностей  $\delta r_1$ ,  $\delta r_2$ ,  $\delta G$ ,  $\delta \alpha_{\text{АП}}$ ,  $\delta F_{\text{звч}}$ ,  $\delta \gamma_{\text{несст}}$ ,  $\delta x_{\text{хар}}$ ,  $\delta r_{\text{рас}}$ ,  $\delta P$  в формулу (6), получаем  $\delta F_{\text{норм}} = \pm 16\%$ .

Принимаем  $F_{\text{норм}} = \pm 20\%$ .

## 2. Метод определения нормированного коэффициента шума по измеренным значениям потерь преобразования и шумового отношения

2.1. Нормированный коэффициент шума в относительных единицах рассчитывают по формуле

$$F_{\text{норм}} = L_{\text{прб}} \cdot (N_{\text{ш}} + 0,41). \quad (7)$$

2.2. Логарифмируем формулу (7) и после почленного дифференцирования с заменой дифференциалов приращениями получаем алгебраическую сумму частных составляющих погрешности измерения

$$\frac{\Delta F_{\text{норм}}}{F_{\text{норм}}} = \frac{\Delta L_{\text{прб}}}{L_{\text{прб}}} + \frac{1}{1 + \frac{0,41}{N_{\text{ш}}}} \cdot \frac{\Delta N_{\text{ш}}}{N_{\text{ш}}}. \quad (8)$$

2.3. Коэффициент влияния при  $\frac{\Delta N_{\text{ш}}}{N_{\text{ш}}}$  для значения  $N_{\text{ш}} = 3$  равен 0,88.

При этом формула (8) принимает вид

$$\frac{\Delta F_{\text{норм}}}{F_{\text{норм}}} = \frac{\Delta L_{\text{прб}}}{L_{\text{прб}}} + 0,88 \frac{\Delta N_{\text{ш}}}{N_{\text{ш}}}. \quad (9)$$

Интервал погрешности  $\delta F_{\text{норм}}$  с доверительной вероятностью 0,997 определяют по формуле

$$\delta F_{\text{норм}} = \pm \sqrt{\delta L_{\text{прб}}^2 + (0,88 \delta N_{\text{ш}})^2} \quad (10)$$

где  $\delta L_{\text{прб}}$  — погрешность измерения потерь преобразования, равная  $\pm 12\%$  (ГОСТ 19656.4—74);

$\delta N_{\text{ш}}$  — погрешность измерения шумового отношения, равная  $\pm 20\%$  (ГОСТ 19656.5—74).

Подставив в формулу (10) значения  $\delta L_{\text{прб}}$  и  $\delta N_{\text{ш}}$ , получаем  $\delta F_{\text{норм}} = \pm 22\%$ .

Принимаем  $\delta F_{\text{норм}} = \pm 25\%$ .