

ДИОДЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СВЧ  
СМЕСИТЕЛЬНЫЕ

ГОСТ

19656.6—74\*

Методы измерения нормированного  
коэффициента шумаSemiconductor UHF mixer diodes. Measurement  
methods of standard overall noise figure

(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

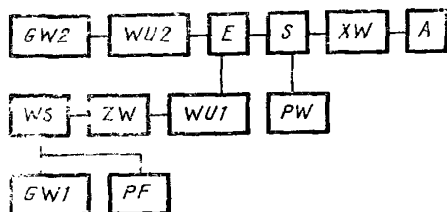


\* Переиздание (октябрь 1984 г.) с Изменениями № 1, 2, утвержденными в июне 1976 г.; в июне 1984 г., Пост. № 1946 по 15.06.84 (ИУС 7—76, 9—84).

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; WV1—переменный аттенюатор; GW2—генератор шума; WV2—прецизионный аттенюатор; 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  $2f_{пч}$  ( $f_{пч}$  — 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  $d_{WU2}$ , вносимого аттенуатором  $WU2$  в СВЧ тракт.

#### 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 аттенюатора в тракте усилителя  $A$ . При этом включают генератор шума  $GW2$ , при помощи аттенюатора 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  $F_{\text{усл}}$ , 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  $r_1 = r_2 = r$

$$F_{\text{норм}} = \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right) \cdot \frac{G-1}{r_1 \cdot \alpha_{WV2}}, \quad (1)$$

$$F_{\text{норм}} = \frac{2 \cdot (G-1)}{r \cdot \alpha_{WV2}}, \quad (2)$$

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

$\alpha_{WV2}$  — показание аттенюатора  $WU2$ , переведенное в относительные единицы;

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

$r_2$  — значение ослабления СВЧ тракта на частоте  $f_0 - f_{\text{пч}}$  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)

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

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)

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

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

$F_{\text{упч}}$  — 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 ( $F_{\text{упч}} = 1$ ) 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 СООТВЕТСТВИИ 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  $f_0$  и  $f_{\text{пч}}$  и  $f_0 - f_{\text{пч}}$ ;

$\delta G$  — 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  $\delta_{\text{упч}}$ , обусловленную погрешностью  $\delta F_{\text{упч}}$  установления  $F_{\text{упч}} = 1,5$  дБ; нестабильностью коэффициента усиления усилителя  $\delta_{\text{нест}}$ ; 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.

$$\delta_{\text{упч}} = \pm \sqrt{\delta F_{\text{упч}}^2 + \delta_{\text{нест}}^2 + \delta_{\text{хар}}^2 + \delta_{\text{рас}}^2}. \quad (5)$$



Выражение (4) принимает вид

$$\delta F_{\text{норм}} = \pm \sqrt{\delta r_1^2 + \delta r_2^2 + \delta G^2 + 3\alpha_{\text{АП}}^2 + \delta F_{\text{упч}}^2 + \delta_{\text{нест}}^2 + \delta_{\text{хар}}^2 + \delta_{\text{рас}}^2 + \delta P^2}. \quad (6)$$

1.5. Значения погрешностей  $\delta r_1$ ,  $\delta r_2$ ,  $\delta G$ ,  $\delta F_{\text{упч}}$ ,  $\delta_{\text{нест}}$ ,  $\delta_{\text{хар}}$ ,  $\delta_{\text{рас}}$  равны:  $\delta r_1 = \delta r_2 = \delta r = \pm 5\%$ ;  $\delta G = \pm 7\%$ ;  $\delta F_{\text{упч}} = \pm 7\%$ ,  $\delta_{\text{нест}} = \pm 2\%$ ;  $\delta_{\text{хар}} = \pm 2\%$ ;  $\delta_{\text{рас}} = \pm 10\%$ .

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  $10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$  Вт, что соответствует режимам измерений смесительных диодов.

1.6. Подставив значения погрешностей  $\delta r_1$ ,  $\delta r_2$ ,  $\delta G$ ,  $\delta \alpha_{\text{АП}}$ ,  $\delta F_{\text{упч}}$ ,  $\delta_{\text{нест}}$ ,  $\delta_{\text{хар}}$ ,  $\delta_{\text{рас}}$ ,  $\delta P$  в формулу (6), получаем  $\delta F_{\text{норм}} \approx \pm 16\%$ .  
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  $\delta F_{\text{норм}} = \pm 25\%$ .