

25786-83



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ  
СОЮЗА ССР

## Л А З Е Р Ы

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ,  
СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ ИМПУЛЬСА, ОТНОСИТЕЛЬНОЙ  
НЕСТАБИЛЬНОСТИ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРНОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ

ГОСТ 25786—83

Издание официальное



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ  
Москва

## ЛАЗЕРЫ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ,  
СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ ИМПУЛЬСА, ОТНОСИТЕЛЬНОЙ  
НЕСТАБИЛЬНОСТИ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ  
ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯГОСТ  
25786-83Lasers. Measuring methods of average power, pulse  
average power, relative average power instability

ОКСТУ 6341

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18 мая  
1983 г. № 2247 срок введения установлен

с 01.07.84

Настоящий стандарт распространяется на лазеры и излучатели лазеров непрерывного и импульсного режимов работы (далее — лазеры) в диапазоне длин волн 0,25—11,8 мкм. Стандарт устанавливает методы измерений следующих параметров лазерного излучения:

средней мощности от  $10^{-8}$  до  $10^2$  Вт;средней мощности импульса от  $10^{-4}$  до  $10^4$  Вт;

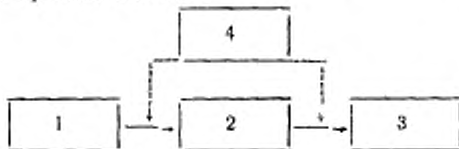
относительной нестабильности средней мощности от 1,0 до 30%.

Общие требования при измерении и требования безопасности — по ГОСТ 24714—81.

## 1. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

## 1.1. Аппаратура

1.1.1. Схема расположения средств измерений должна соответствовать приведенной на чертеже. Перечень средств измерений, вспомогательных устройств и их характеристики приведен в рекомендуемом приложении 1.



1 — исследуемый лазер; 2 — оптическая система; 3 — средства измерений; 4 — средство юстировки

1.1.2. Оптическая система (диафрагмы, линзы, ослабитель и другие элементы) должна соответствовать следующим требованиям:

1.1.2.1. Обеспечивать распространение лазерного излучения в таком телесном угле, чтобы диаметр пучка в плоскости расположения входного окна средства измерений средней мощности (далее — средства измерений) находился в пределах, установленных для данного средства измерений.

1.1.2.2. Обеспечивать поглощение и отражение установленной доли средней мощности лазерного излучения. Коэффициент ослабления оптической системы  $K_1$  должен удовлетворять условию:

$$K_1 \geq \frac{P_1}{P_2}, \quad (1)$$

где  $P_1$  — средняя мощность лазерного излучения, указанная в стандарте или ТУ на конкретный тип лазера;

$P_2$  — верхний предел энергетического диапазона средства измерений.

1.1.2.3. Погрешность измерений, вносимая оптической системой, должна быть в пределах  $\pm 7\%$ .

1.1.3. Если диаметр лазерного пучка в плоскости расположения выходного окна средства измерений соответствуют требованиям, установленным для средства измерений, а плотность мощности и средняя мощность лазерного излучения не превышают предельно допустимые для средства измерений значения этих параметров, оптическую систему допускается не применять.

1.1.4. Спектральный, энергетический и временной диапазоны средства измерений должны быть такими, чтобы оно обеспечивало измерение средней мощности излучения исследуемого лазера.

Основная погрешность средства измерений должна быть в пределах  $\pm 18\%$ .

1.1.5. Средство юстировки должно обеспечивать совмещение оси диаграммы направленности пучка лазерного излучения с центрами приемной площадки оптической системы и входной апертуры средства измерений. В качестве средства юстировки рекомендуется применять визуализаторы (термочувствительные тушащиеся или визуализирующие вспыхивающие люминесцентные экраны) или газовые лазеры непрерывного режима работы, излучающие в видимой области спектра, с расходимостью не более  $10'$  и другие вспомогательные устройства.

1.1.6. Система накачки, применяемая при измерении средней мощности излучателей, должна обеспечивать режим накачки, установленный в стандартах или ТУ на конкретные типы излучателей.

Погрешность измерения, обусловленная неточностью установления и поддержания режима накачки, должна быть в интервале  $\pm 10\%$ .

## 1.2. Подготовка и проведение измерений

1.2.1. Исследуемый лазер, оптическую систему, средство измерений, средство юстировки подготавливают к работе в соответствии с эксплуатационной документацией на них.

1.2.2. Исследуемый лазер включают и прогревают в течение времени не менее времени готовности лазера, указанного в стандартах или ТУ на конкретный тип лазера.

1.2.3. Проводят юстировку, добиваясь попадания пучка лазерного излучения в центр приемной площадки оптической системы и входной апертуры средства измерений. Контроль прохождения лазерного пучка осуществляют визуально или с помощью средства юстировки.

1.2.4. Если в качестве средства юстировки используют специальный газовый лазер, то исследуемый лазер включают после окончания процесса юстировки.

1.2.5. Включают средство измерений и регистрируют его показание  $P'$ .

## 1.3. Обработка результатов. Показатели точности

1.3.1. Среднюю мощность лазерного излучения  $P$  определяют по формуле

$$P = P' K_1, \quad (2)$$

где  $K_1$  — коэффициент ослабления оптической системы.

1.3.2. Погрешность измерения средней мощности излучения лазеров  $\delta_{P\text{д}}$  находится в интервале  $\pm 19\%$  с установленной вероятностью 0,95. Погрешность измерения средней мощности излучателя  $\delta_{P\text{и}}$  находится в интервале  $\pm 23\%$  с установленной вероятностью 0,95. Расчет погрешности измерений приведен в справочном приложении 2.

## 2. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ ИМПУЛЬСА

2.1. Измерение средней мощности импульса лазерного излучения основано на измерении средней мощности, длительности и частоты повторения импульса лазерного излучения.

2.2. Среднюю мощность лазерного излучения измеряют в соответствии с разд. 1.

2.3. Длительность  $\tau_{\text{и}}$  и частоту повторения  $F_{\text{и}}$  импульса излучения измеряют по ГОСТ 25213—82.

2.4. Среднюю мощность импульса излучения  $P_{\text{имп}}$  определяют по формуле

$$P_{\text{имп}} = \frac{P}{\tau_n F_n}, \quad (3)$$

2.5. Погрешность измерения средней мощности импульса излучения лазера находится в интервале  $\pm 28\%$  с установленной вероятностью 0,95. Погрешность измерения средней мощности импульса излучения излучателя находится в интервале  $\pm 30\%$  с установленной вероятностью 0,95. Расчет погрешности измерений приведен в справочном приложении 2.

### 3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

3.1. Метод дискретного измерения средней мощности

3.1.1. Аппаратура по пп. 1.1.1—1.1.3, 1.1.5, 1.1.6. Энергетический, спектральный и временной диапазоны средства измерений — по п. 1.1.4. Основная погрешность средства измерений должна быть в пределах  $\pm 12\%$ .

3.1.2. Подготовка и проведение измерений

3.1.2.1. Подготовка к измерениям — по пп. 1.2.1—1.2.4.

3.1.2.2. Включают средство измерений и регистрируют значения  $P_i$  через промежутки времени, равные отношению  $\frac{t}{n}$ , где  $t$  — время измерения относительной неустойчивости средней мощности, установленное в стандартах или ТУ на конкретный тип лазера,  $n$  — количество наблюдений ( $n \geq 10$ ).

3.1.3. Обработка результатов. Показатели точности

3.1.3.1. Относительную неустойчивость средней мощности определяют в процентах по формуле

$$S_P = \frac{100}{\bar{P}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}}, \quad (4)$$

где  $\bar{P}$  — среднее арифметическое значений средней мощности  $P_i$ .

3.1.3.2. Допускается определять относительную неустойчивость средней мощности в процентах по формуле

$$S_P = \frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{P_{\text{max}} + P_{\text{min}}} \cdot 100, \quad (5)$$

где  $P_{\text{max}}$  и  $P_{\text{min}}$  — максимальное и минимальное значения средней мощности  $P_i$ , полученные при измерениях.

3.1.3.3. Показатели точности измерения относительной нестабильности средней мощности должны соответствовать установленным в стандартах или ТУ на конкретные типы лазеров.

Границы интервала  $\delta_{S_P}$ , в котором с установленной вероятностью 0,95 находится погрешность измерения относительной нестабильности средней мощности, определяют расчетным путем.

Если  $S_P$  определена по формуле (4), то

$$\delta_{S_P} = \pm \frac{15,7}{n(n-1)S_P^2 \bar{P}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( P_i^2 n \bar{P} - P_i \sum_{i=1}^n P_i^2 \right)}. \quad (6)$$

Если  $S_P$  определена по формуле (5), то

$$\delta_{S_P} = \pm \frac{31,6 P_{\max} P_{\min}}{P_{\max}^2 - P_{\min}^2}. \quad (7)$$

Расчет погрешности измерения приведен в справочном приложении 2.

3.2. Метод непрерывного измерения напряжения электрического сигнала

### 3.2.1. Аппаратура

3.2.1.1. Схема расположения средств измерений должна соответствовать приведенной на чертеже, где средство измерений средней мощности заменяется измерительным преобразователем и самопишущим прибором. Перечень измерительных преобразователей и самопишущих приборов приведен в рекомендуемом приложении 1.

3.2.1.2. Требования к оптической системе — по п. 1.1.1. Относительная нестабильность коэффициента ослабления за время измерения должна быть не менее чем в 5 раз меньше относительной нестабильности средней мощности лазерного излучения.

3.2.1.3. Спектральный, временной и энергетический диапазоны измерительного преобразователя должны быть такими, чтобы обеспечивать линейное (с погрешностью не более 3%) преобразование излучения исследуемого лазера в электрический сигнал. Относительная нестабильность коэффициента преобразования за время измерения должна быть не менее чем в 5 раз меньше относительной нестабильности средней мощности лазерного излучения. Время нарастания переходной характеристики измерительного преобразователя должно быть не менее 1 с, если иные требования не установлены в стандартах или ТУ на конкретный тип лазера.

3.2.1.4. Основная погрешность самопишущего прибора должна быть в пределах  $\pm 2,5\%$ .

### 3.2.2. Подготовка и проведение измерений

3.2.2.1. Подготовка к измерениям — по пп. 1.2.1.—1.2.4

3.2.2.2. Измерительный преобразователь соединяют с самопишущим прибором.

3.2.2.3. Включают самопишущий прибор и регистрируют напряжение электрического сигнала на выходе измерительного преобразователя в течение времени, установленного в стандартах или ТУ на конкретный тип лазера.

3.2.3. *Обработка результатов. Показатели точности*

3.2.3.1. Полученную на диаграммной ленте зависимость напряжения от времени  $U=f(t)$  разбивают на  $n$  равных участков ( $n \geq 10$ ).

3.2.3.2. Для каждого участка определяют максимальное и минимальное значения напряжения  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$ .

3.2.3.3. Определяют среднее значение напряжения для каждого участка  $\bar{U}_i$  по формуле

$$\bar{U}_i = \frac{U_{i \max} + U_{i \min}}{2} \quad (8)$$

3.2.3.4. Определяют среднее значение напряжения за время измерения по формуле

$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{U}_i}{n} \quad (9)$$

3.2.3.5. Для каждого участка определяют максимальное отклонение напряжения от среднего значения за время измерения  $\Delta U_{i \max}$  по формуле

$$\Delta U_{i \max} = |U_i - \bar{U}|_{\max} \quad (10)$$

3.2.3.6. Определяют в процентах относительную нестабильность средней мощности по формуле

$$S_p = \frac{100}{\bar{U}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta U_{i \max}^2}{n-1}} \quad (11)$$

3.2.3.7. Допускается определять в процентах относительную нестабильность средней мощности по формуле

$$S_p = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \cdot 100, \quad (12)$$

где  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$  — максимальное и минимальное значения напряжения за время измерения.

3.2.3.8. Показатели точности измерения относительной нестабильности средней мощности должны соответствовать установленным в стандартах или ТУ на конкретные типы лазеров.

Границы интервала  $\delta_{Sp}$ , в котором с установленной вероятностью 0,95 находится погрешность измерения относительной нестабильности средней мощности, определяют расчетным путем.

Если  $S_p$  в процентах определена по формуле (11), то

$$\delta_{Sp} = \pm \frac{6,7}{(n-1) S_p^2 \bar{U}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( U_i^2 n \bar{U} - U_i \sum_{i=1}^n U_i^2 \right)^2}. \quad (13)$$

Если  $S_p$  определена по формуле (12), то

$$\delta_{Sp} = \pm \frac{13,4 U_{\max} U_{\min}}{U_{\max}^2 - U_{\min}^2}. \quad (14)$$

Расчет погрешности приведен в справочном приложении 2.

3.3. Метод непрерывного измерения нестабильности напряжения электрического сигнала

### 3.3.1. Аппаратура

3.3.1.1. Схема расположения средств измерений должна соответствовать приведенной на чертеже, где средство измерений заменяют измерительным преобразователем, измерителем нестабильности напряжения и самопишущим прибором. Перечень измерителей нестабильности напряжения приведен в рекомендуемом приложении 1.

3.3.1.2. Требования к оптической системе — по п. 3.2.1.2, к измерительному преобразователю — по п. 3.2.1.3, к самопишущему прибору — по п. 3.2.1.4, к средству юстировки — по п. 1.1.5.

3.3.1.3. Основная погрешность измерителя нестабильности напряжения должна быть в пределах  $\pm 3\%$ .

### 3.3.2. Подготовка и проведение измерений

3.3.2.1. Подготовка к измерениям — по пп. 1.2.1—1.2.4.

3.3.2.2. Измерительный преобразователь присоединяют к измерителю нестабильности напряжения с самопишущим прибором и включают их.

3.3.2.3. Устанавливают нулевое показание измерителя нестабильности напряжения.

3.3.2.4. На самопишущем приборе регистрируют  $\beta$ , пропорциональное относительной нестабильности напряжения электрического сигнала на выходе измерительного преобразователя в течение времени, установленного в стандартах или ТУ на конкретный тип лазера.

### 3.3.3. Обработка результатов. Показатели точности



3.3.3.1. Полученную на диаграммной ленте самопишущего прибора зависимость  $\beta = f(t)$  разбивают на  $n$  равных участков ( $n \geq 10$ ).

3.3.3.2. Для каждого участка определяют максимальное и минимальное значения  $\beta_{i \max}$  и  $\beta_{i \min}$ . Среднее значение  $\bar{\beta}_i$  вычисляют по формуле

$$\bar{\beta}_i = \frac{\beta_{i \max} + \beta_{i \min}}{2} \quad (15)$$

3.3.3.3. Определяют среднее значение функции  $\beta = f(t)$   $\bar{\beta}$  по формуле

$$\bar{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{\beta}_i}{n} \quad (16)$$

3.3.3.4. Для каждого участка определяют максимальное отклонение значения  $\beta_i$  от среднего за время измерения по формуле

$$\Delta \beta_{i \max} = |\beta_i - \bar{\beta}|_{\max} \quad (17)$$

3.3.3.5. Определяют в процентах относительную нестабильность средней мощности лазерного излучения по формуле

$$S_P = \frac{100}{\bar{\beta} + \frac{1}{\gamma}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta \beta_{i \max}^2}{n-1}} \quad (18)$$

где  $\gamma$  — масштабный коэффициент диаграммной ленты,  $\text{мм}^{-1}$ .

3.3.3.6. Допускается определять в процентах относительную нестабильность средней мощности по формуле

$$S_P = \frac{\beta_{\max} - \beta_{\min}}{\beta_{\max} + \beta_{\min} + \frac{2}{\gamma}} \cdot 100 \quad (19)$$

где  $\beta_{\max}$  и  $\beta_{\min}$  — максимальное и минимальное значения  $\beta$  за время измерения.

Вывод формул (18) и (19) приведен в справочном приложении 3.

3.3.3.7. Показатели точности измерения относительной нестабильности средней мощности лазерного излучения должны соответствовать установленным в стандартах или ТУ на конкретные типы лазеров.

Границы интервала  $\delta_{S_P}$ , в котором с установленной вероятностью 0,95 находится погрешность измерения относительной нестациональности средней мощности, определяют расчетным путем.

Если  $S_P$  определена по формуле (18), то  $\delta_{S_P}$  в процентах:

$$\delta_{S_P} = \pm \frac{5,9}{n(n-1)(1+\gamma\bar{\beta})^2 S_P^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \gamma\bar{\beta}(1+\gamma\bar{\beta}_i)n(1+\gamma\bar{\beta}) - \right.} \dots \rightarrow \left. \left. - \gamma\bar{\beta}_i \sum_{i=1}^n (1+\gamma\bar{\beta}_i)^2 \right]^2 \right]. \quad (20)$$

Если  $S_P$  определена по формуле (19), то  $\delta_{S_P}$  в процентах:

$$\delta_{S_P} = \pm 11,8 \sqrt{\frac{\left[ \left( \beta_{\min} + \frac{1}{\gamma} \right) \beta_{\max} \right]^2 + \left[ \left( \beta_{\max} + \frac{1}{\gamma} \right) \beta_{\min} \right]^2}{\left( \beta_{\max} + \beta_{\min} + \frac{2}{\gamma} \right)^2 (\beta_{\max} - \beta_{\min})^2}}. \quad (21)$$

Расчет погрешности приведен в справочном приложении 2.

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА  
И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Таблица 1

## Средства измерений средней мощности

| Тип средств измерений | Спектральный диапазон, мкм | Диапазон измерений, Вт | Основная погрешность, % |
|-----------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|
| Титан                 | 0,4—12                     | $10^{-3} - 10^2$       | 2—5                     |
| ИМН-1                 | 0,63—12                    | $10^{-6} - 10^{-3}$    | 10                      |
| ИМО-2*                | 0,63; 1,06; 10,6           | $10^{-4} - 10^2$       | 5                       |
| ИМО-2—2*              | 0,44—10,6                  | $10^{-2} - 1$          | 2,5                     |
| МЗ-24*                | 0,4—3,5                    | $10^{-3} - 1$          | 10                      |
| МЗ-18А*               |                            | $10^{-3} - 10^{-1}$    |                         |
| МЗ-49*                | 0,4—11                     |                        | 12                      |
| ИМИ-1; ИМИ-ФД         | 0,63—1,15                  | $10^{-4} - 10^{-1}$    | 10                      |
| ИМИ—С                 | 0,63; 0,5                  | $10^{-3} - 10^{-1}$    |                         |
| ИСМ-1                 | 0,4—11                     | $10^{-2} - 10^2$       |                         |
| ИЛД-2*                | 0,49—1,15                  | $10^{-6} - 10$         | 18                      |
| ИМТ-3                 | 0,3—15                     | $10^{-1} - 10$         | 12                      |
| Копия-1*              | 0,4—10,6                   | $1 - 10^2$             | 7—17                    |

\* Средства измерений внесены в Госреестр

Таблица 2

## Измерительные преобразователи

| Тип преобразователя           | Спектральный диапазон, мкм | Диапазон измерений, Вт |
|-------------------------------|----------------------------|------------------------|
| Термоэлектрические            | 0,3—11,8                   | $10^{-4}$ — $10^4$     |
| Фотоэлементы и фотоумножители | 0,24—1,1                   | $10^{-10}$ — $10^{-3}$ |
| Фотодиоды                     | 0,3—1,9                    | $10^{-8}$ — $10^2$     |
| Фоторезисторы                 | 1,8—11                     | $10^{-8}$ — $10^2$     |

Таблица 3

## Ослабители

| Ослабитель                                                                                                                                                              | Коэффициент ослабления | Спектральный диапазон, мкм |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------|
| Плоскопараллельная пластина из нейтрального стекла марки НС толщиной 1—3 мм                                                                                             | 1,25—10 <sup>2</sup>   | 0,35—3,0                   |
| Плоскопараллельная пластина из германия или кремния толщиной 2—10 мм                                                                                                    | 1,25—1,67              | 1,8—11,0                   |
| Ослабители, основанные на френелевском отражении от поверхности диэлектрика, прозрачного в данной области спектра:<br>оптическое бесцветное стекло<br>германий, кремний | 10,0—33,4<br>5,0—20,0  | 0,35—3,0<br>0,3—11,0       |
| Ослабители, основанные на отражении от диффузно рассеивающих поверхностей:<br>молочные стекла, окись бария, сульфат бария, матированные поверхности металлов            | 10—10 <sup>4</sup>     | 0,35—11,0                  |
| Механические прерыватели                                                                                                                                                | До 10 <sup>3</sup>     | Оптический диапазон        |

Таблица 4

## Самопишущие приборы

| Наименование, тип                                        | Технические и метрологические характеристики                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Прибор лабораторный компенсационный самопишущий ЛКС4—003 | Класс точности — 0,5.<br>Основная погрешность при дискретном подавлении нуля, $\pm (0,6+1,0)$ , %.<br>Время прохождения указателем всей шкалы — не более 0,5 с; номинальная скорость продвижения диаграммной ленты 180—24000 мм/ч; погрешность измерения скорости продвижения ленты — не более 1%. |
| Самописец Н39                                            | Основная погрешность: по постоянному току 1,5%; по переменному току 2,5%.<br>Диапазон измерений 0,005—500 А; 5—500 В.<br>Скорость движения ленты 20—5400 мм/ч                                                                                                                                      |

## Основные параметры измерителя относительной нестабильности напряжения В2—35:

диапазон измерения напряжения 0—10<sup>3</sup> В, относительной нестабильности напряжения  $\pm (10^{-2} \div 10^{-3})$  %;

основная погрешность измерения напряжения  $\pm \left[ 0,25 + 0,5 \left( \frac{U_k}{U_x} - 1 \right) \right] \%$ ,

относительной нестабильности напряжения  $\pm \left[ 0,5 + \frac{0,3 H_k + 100 \Delta H}{H_x} \right] \%$ ,

где  $U_k(H_k)$  — верхняя граница диапазона измерений напряжения (относительной нестабильности напряжения),  $U_x(H_x)$  — измеряемое значение напряжения (относительной нестабильности напряжения),  $\Delta H$  — дрейф показаний.

Примечание. Допускается применять другие средства измерений, технические и метрологические характеристики которых соответствуют требованиям настоящего стандарта.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Справочное

### РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Погрешность измерения средней мощности лазерного излучения определяют по формулам:

$$\delta_{P_x} = \pm K_{P_x} \sqrt{\left( \frac{\delta_{\text{опт}}}{K_{\text{опт}}} \right)^2 + \left( \frac{\delta_{\text{с.л}}}{K_{\text{с.л}}} \right)^2}; \quad (1)$$

$$\delta_{P_{\text{изл}}} = \pm K_{P_{\text{изл}}} \sqrt{\left( \frac{\delta_{\text{опт}}}{K_{\text{опт}}} \right)^2 + \left( \frac{\delta_{\text{с.л}}}{K_{\text{с.л}}} \right)^2 + \left( \frac{\delta_{\text{реж}}}{K_{\text{реж}}} \right)^2}, \quad (2)$$

где  $\delta_{P_x}$  — погрешность измерения средней мощности лазера;

$\delta_{P_{\text{изл}}}$  — погрешность измерения средней мощности излучателя;

$\delta_{\text{опт}}$  — погрешность, вносимая оптической системой (находится в пределах  $\pm 7\%$ );

$\delta_{\text{с.л}}$  — основная погрешность средства измерения средней мощности (находится в пределах  $\pm 18\%$ );

$\delta_{\text{реж}}$  — погрешность, обусловленная неточностью установления и поддержания режима накачки излучателей (находится в пределах  $\pm 10\%$ );

$K_{P_x}$ ,  $K_{P_{\text{изл}}}$ ,  $K_{\text{опт}}$ ,  $K_{\text{с.л}}$ ,  $K_{\text{реж}}$  — коэффициенты, зависящие от распределения суммарных погрешностей  $\delta_{P_x}$ ,  $\delta_{P_{\text{изл}}}$  и частных погрешностей  $\delta_{\text{опт}}$ ,  $\delta_{\text{с.л}}$ ,  $\delta_{\text{реж}}$ , соответственно и установленной вероятности, с которой определены эти погрешности.

Считаем распределение каждой частной погрешности равномерным. Тогда предельные значения коэффициентов

$$K_{\text{опт}} = K_{\text{с.л}} = K_{\text{реж}} = 1,73, \quad \text{а} \quad \delta_{P_x} = \pm \frac{K_{P_x}}{1,73} \sqrt{49 + 324}.$$

Частная погрешность  $\delta_{\rho_{\lambda}}$  является доминирующей, следовательно, распределение суммарной погрешности является близким к равномерному. Для равномерного распределения и установленной вероятности 0,95  $K_{\rho_{\lambda}} = 1,65$ .

$$\text{Тогда} \quad \delta_{\rho_{\lambda}} = \pm \frac{1,65}{1,73} \sqrt{363} \approx \pm 19\%;$$

$$\delta_{\rho_{\text{изл}}} = \pm \frac{K_{\rho_{\text{изл}}}}{1,73} \sqrt{49 + 324 + 100}.$$

Композиция последних двух частных погрешностей дает трапециевидное распределение (близкое к нормальному). Распределение суммарной погрешности тогда будет композицией равномерного и нормального распределений. Для такой композиции в соответствии с РМ 11 091 482—82 «Методические указания по расчету показателей точности измерения параметров ИЭТ» при

$$\frac{\delta_{\text{пред. равн}}}{\sigma_{\text{н}}} = \frac{7 \cdot 2,3}{\sqrt{424}} \approx 0,8 \text{ и установленной вероятности } 0,95 \quad K_{\rho_{\text{изл}}} = 1,94, \text{ где}$$

$\delta_{\text{пред. равн}}$  — предельное значение частной погрешности, имеющей равномерное распределение ( $\delta_{\text{пред. равн}} = \delta_{\text{доп}} = \pm 7\%$ );  $\sigma_{\text{н}}$  — среднее квадратическое отклонение погрешности, имеющей нормальное распределение

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{\sqrt{324 + 100}}{2,3}.$$

$$\text{Следовательно,} \quad \delta_{\rho_{\text{изл}}} = \pm \frac{1,94}{1,73} \cdot \sqrt{49 + 324 + 100} \approx \pm 23\%.$$

## 2 Погрешность измерения средней мощности импульса излучения.

$$\delta_{\rho_{\text{н.л}}} = \pm K_{\rho_{\text{н.л}}} \sqrt{\left(\frac{\delta_{\rho_{\lambda}}}{K_{\rho_{\lambda}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{\tau}}{K_{\tau}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_f}{K_f}\right)^2}, \quad (3)$$

$$\delta_{\rho_{\text{н.изл}}} = \pm K_{\rho_{\text{н.изл}}} \sqrt{\left(\frac{\delta_{\rho_{\text{изл}}}}{K_{\rho_{\text{изл}}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{\tau}}{K_{\tau}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_f}{K_f}\right)^2}, \quad (4)$$

где  $\delta_{\rho_{\text{н.л}}}$  — погрешность измерения средней мощности импульса излучения лазера;

$\delta_{\rho_{\text{н.изл}}}$  — погрешность измерения средней мощности импульса излучения излучателя;

$\delta_{\tau}$  — погрешность измерения длительности импульса излучения (находится в интервале  $\pm 15\%$  с установленной вероятностью 0,95);

$\delta_f$  — погрешность измерения частоты повторения импульсов излучения (находится в интервале  $\pm 10\%$  с установленной вероятностью 0,95);

$K_{\rho_{\text{н.л}}}$ ,  $K_{\rho_{\text{н.изл}}}$ ,  $K_{\tau}$ ,  $K_f$  — коэффициенты, зависящие от закона распределения соответствующих погрешностей и установленной вероятности.

В соответствии с ГОСТ 25213—82 закон распределения частных погрешностей  $\delta_{\tau}$  и  $\delta_f$  — нормальный и установленная вероятность равна 0,95, следовательно:  $K_{\tau} = K_f = 1,96$ . В соответствии с п. 1 настоящего приложения

$$K_{P_A} = 1,65; \quad K_{P_{изл}} = 1,94; \quad K_{P_{н.л}} - K_{P_{н.изл}} = 1,96, \quad \text{а}$$

$$\delta_{P_{н.л}} = \pm 1,96 \sqrt{\left(\frac{19}{1,65}\right)^2 + \left(\frac{15}{1,96}\right)^2 + \left(\frac{10}{1,96}\right)^2} =$$

$$= \pm \sqrt{500 + 225 + 100} = \pm 28\%,$$

$$\delta_{P_{н.изл}} = \pm 1,96 \sqrt{\left(\frac{23}{1,94}\right)^2 + \left(\frac{10}{1,96}\right)^2 + \left(\frac{15}{1,96}\right)^2} \approx \pm 30\%.$$

3. Погрешность измерения относительной нестабильности мощности лазерного излучения.

3.1. Когда относительную нестабильность мощности определяют по формуле (4) стандарта, относительная погрешность измерения нестабильности мощности  $\delta_{S_P}$  равна

$$\delta_{S_P} = \pm K_{S_P} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial S_P}{\partial P_i} \cdot \frac{P_i}{S_P} \cdot \frac{\delta_{P_i}}{K_{P_i}} \right)^2}, \quad (5)$$

где  $\delta_{P_i}$  — относительная погрешность измерения мощности излучения в  $i$ -й момент времени;

$K_{S_P}$ ,  $K_{P_i}$  — коэффициенты, зависящие от закона распределения погрешностей  $\delta_{S_P}$  и  $\delta_{P_i}$ , соответственно, и установленной вероятности

Найдем частную производную  $\frac{\partial S_P}{\partial P_i}$ . Для этого преобразуем формулу определения относительной нестабильности мощности

$$S_P = \frac{1}{\bar{P}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}} = \frac{1}{\bar{P}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i)^2 - n\bar{P}^2}{n-1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{n^2 \left[ \sum_{i=1}^n (P_i)^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2}{n} \right]}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2 (n-1)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{n^2}{n-1} \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i)^2}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2} - \frac{1}{n} \right]}. \quad (6)$$

Обозначим в формуле (6)

$$\left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i)^2}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2} - \frac{1}{n} \right] = x, \quad (7)$$

$$\text{тогда } S_p = \sqrt{\frac{n^2 x}{n-1}} \quad (8)$$

$$\text{и } \frac{\partial S_p}{\partial P_i} = \frac{\partial S_p}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial P_i}, \quad (9)$$

$$\frac{\partial S_p}{\partial x} = \frac{n^2}{2 \left( \sqrt{\frac{n^2 x}{n-1}} \right) (n-1)} = \frac{n}{2 \sqrt{n-1} \cdot \sqrt{x}} = \frac{n}{2 \sqrt{(n-1)x}}. \quad (10)$$

Для определения  $\frac{\partial x}{\partial P_i}$  преобразуем формулу (7):

$$x = \frac{P_1^2}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2} + \frac{P_2^2}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2} + \dots + \frac{P_i^2}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2} + \dots + \frac{P_n^2}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2} - \frac{1}{n}. \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial P_i} &= \frac{-2 P_1^2 \left( \sum_{i=1}^n P_i \right)}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^4} - \frac{2 P_2^2 \left( \sum_{i=1}^n P_i \right)}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^4} + \dots + \\ &+ \frac{2 P_i \left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2 - 2 P_i^2 \left( \sum_{i=1}^n P_i \right)}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^4} - \dots - \frac{2 P_n^2 \left( \sum_{i=1}^n P_i \right)}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^4} = \\ &= \frac{-2 \left( \sum_{i=1}^n P_i \right) (P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_i^2 + \dots + P_n^2)}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^4} + \frac{2 P_i \left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^4} = \\ &= \frac{2 P_i}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2} - \frac{2 \sum_{i=1}^n (P_i)^2}{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^3}. \end{aligned} \quad (12)$$



Подставляя формулы (10) и (12) в (9) и учитывая формулу (6), получим:

$$\frac{\partial S}{\partial P_i} = \frac{n}{2 \sqrt{(n-1) \cdot \left[ \frac{\sum_{l=1}^n (P_l)^2}{\left( \sum_{l=1}^n P_l \right)^2} - \frac{1}{n} \right]}} \times$$

$$\times \frac{\left[ 2 P_i \left( \sum_{l=1}^n P_l \right) - 2 \sum_{l=1}^n (P_l)^2 \right]}{\left( \sum_{l=1}^n P_l \right)^3} = \frac{n^2 \left[ P_i \left( \sum_{l=1}^n P_l \right) - \sum_{l=1}^n (P_l)^2 \right]}{(n-1) \cdot S_p \left( \sum_{l=1}^n P_l \right)^3} \quad (13)$$

Подставляя формулу (13) в (5) и принимая  $\delta_{P_1} = \delta_{P_2} = \dots = \delta_{P_n} = \delta_P$ ;

$K_{P_i} = K_P$ ,

$K_{S_P} = 1,96$  получим:

$$\delta_{S_P} = \pm K_{S_P} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left\{ \frac{n^2 P_i \left[ P_i \left( \sum_{l=1}^n P_l \right) - \sum_{l=1}^n (P_l)^2 \right]}{(n-1) \cdot S_p^2 \left( \sum_{l=1}^n P_l \right)^3} \cdot \frac{\delta_P}{K_P} \right\}^2} =$$

$$= \pm \frac{1,96 n^2 \delta_P}{(n-1) S_p^2 \cdot K_P} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\left[ P_i^2 \left( \sum_{l=1}^n P_l \right) - P_i \cdot \sum_{l=1}^n (P_l)^2 \right]}{\left( \sum_{l=1}^n P_l \right)^3} \right\}^2} =$$

$$= \pm \frac{1,96 \delta_P}{K_P n (n-1) S_p^2 \cdot \bar{P}^3} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( P_i^2 \cdot n \bar{P} - P_i \sum_{l=1}^n P_l^2 \right)^2} \quad (14)$$

$\delta_P$  определяем по формуле (1).

Учитывая, что  $\delta_{c_{\Sigma}}$  находится в пределах  $\pm 12\%$ , получим

$$\delta_P = \pm \frac{K_P}{1,73} \sqrt{49 + 144}.$$

Распределение  $\delta_P$  — трапециевидное, тогда для установленной вероятности 0,95  $K_P = 1,83$ .

$$\delta_P = \pm \frac{1,83}{1,73} \sqrt{49 + 144} = \pm 14,7\% \quad (15)$$

Подставляя значение  $K_p$  и формулу (15) в (14), получим  $\delta_{S_p}$  в процентах

$$\delta_{S_p} = \pm \frac{15,7}{n(n-1)S_p^2 \bar{P}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( P_i n \bar{P} - P_i \sum_{i=1}^n P_i^2 \right)^2} \quad (16)$$

Если относительную нестабильность мощности лазерного излучения определяют по формуле (5) стандарта, относительная погрешность измерения равна

$$\delta_{S_p} = \pm K_{S_p} \sqrt{\left( \frac{\partial S_p}{\partial P_{\max}} \cdot \frac{P_{\max}}{S_p} \cdot \frac{\delta_P}{K_P} \right)^2 + \left( \frac{\partial S_p}{\partial P_{\min}} \cdot \frac{P_{\min}}{S_p} \cdot \frac{\delta_P}{K_P} \right)^2} \quad (17)$$

$$\frac{\partial S_p}{\partial P_{\max}} = \frac{(P_{\max} + P_{\min}) - (P_{\max} - P_{\min})}{(P_{\max} + P_{\min})^2} = \frac{2 P_{\min}}{(P_{\max} + P_{\min})^2} \quad (18)$$

$$\frac{\partial S_p}{\partial P_{\min}} = \frac{-(P_{\max} + P_{\min}) - (P_{\max} - P_{\min})}{(P_{\max} + P_{\min})^2} = \frac{-2 P_{\max}}{(P_{\max} + P_{\min})^2} \quad (19)$$

Подставляя формулы (18), (19), (15), значение  $K_p$  и (5) стандарта в (17), получим

$$\delta_{S_p} = \pm \frac{1,96 \cdot 14,7 \cdot 2 P_{\max} \cdot P_{\min}}{1,83 \cdot (P_{\max}^2 - P_{\min}^2)} = \frac{31,6 \cdot P_{\max} \cdot P_{\min}}{P_{\max}^2 - P_{\min}^2} \quad (20)$$

Пример.

Пусть  $n=10$ ; измеренные значения  $P_i$  ( $B_m$ ) равны: 0,7; 0,8; 1,1; 0,9; 1,2; 1,4; 1,5; 0,7; 1,0; 1,3.

Тогда  $\sum_{i=1}^{10} P_i = n \cdot \bar{P} = 10,6$ ;  $\bar{P} = 1,06$ ;  $\sum_{i=1}^{10} (P_i)^2 = 12$ ; относительная нестабильность мощности, вычисленная по формуле (4) стандарта  $S_p = 0,29$ .

Погрешность измерения нестабильности мощности, вычисленная по формуле (16) настоящего приложения, равна

$$\begin{aligned} \delta_P = \pm \frac{15,7}{10 \cdot 9 \cdot 0,29 \cdot 1,06^2} & (0,49 \cdot 10,6 - 0,7 \cdot 12)^2 + (0,64 \cdot 10,6 - 0,8 \cdot 12)^2 + \\ & + (1,21 \cdot 10,6 - 1,1 \cdot 12)^2 + (0,81 \cdot 10,6 - 0,9 \cdot 12)^2 + (1,44 \cdot 10,6 - 1,2 \cdot 12)^2 + \\ & + (1,96 \cdot 10,6 - 1,4 \cdot 12)^2 + (2,26 \cdot 10,6 - 1,5 \cdot 12)^2 + (0,49 \cdot 10,6 - 0,7 \cdot 12)^2 + \\ & + (1,0 \cdot 10,6 - 1,0 \cdot 12)^2 + (1,69 \cdot 10,6 - 1,3 \cdot 12)^2 = \pm 15\%; \quad \delta_P = \pm 15\%. \end{aligned}$$

Погрешность измерения относительной нестабильности мощности, вычисленная по формуле (20) настоящего приложения

$$\delta_{S_p} = \pm \frac{31,6 \cdot 0,7 \cdot 1,5}{2,25 - 0,49} = \pm 19\%.$$

3.2. Когда относительную нестабильность мощности лазерного излучения определяют по формуле (11) стандарта, относительная погрешность измерения равна:

$$\delta_{S_p} = \pm K_{S_p} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial S_p}{\partial U_i} \cdot \frac{U_i}{S_p} \right)^2 \cdot \left( \frac{\delta_U}{K_U} \right)^2} \quad (21)$$

$$\delta_U = \pm K_U \sqrt{\left(\frac{\delta_{\text{опт1}}}{K_{\text{опт}}}\right)^2 + \frac{\delta_{\text{пр1}}^2 + \delta_{\text{пр2}}^2}{K_{\text{пр}}^2} + \left(\frac{\delta_{\text{сн}}}{K_{\text{сн}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{\text{сч}}}{K_{\text{сч}}}\right)^2}, \quad (22)$$

где  $\delta_U$  — погрешность измерения напряжения на выходе измерительного преобразователя;

$\delta_{\text{опт1}}$  — погрешность, обусловленная нестабильностью ослабления оптической системы за время измерений (находится в пределах  $\pm 3\%$ );

$\delta_{\text{пр1}}$  — погрешность, обусловленная нелинейностью характеристики преобразования измерительного преобразователя (находится в пределах  $\pm 3\%$ );

$\delta_{\text{пр2}}$  — погрешность, обусловленная нестабильностью коэффициента преобразования измерительного преобразователя за время измерений (находится в пределах  $\pm 3\%$ );

$\delta_{\text{сн}}$  — основная погрешность самописца (находится в пределах  $\pm 2,5\%$ );

$\delta_{\text{сч}}$  — погрешность считывания значения  $U_i$  с диаграммной ленты (находится в пределах  $\pm 2\%$ );

$K_{S_P}$ ,  $K_U$ ,  $K_{\text{опт}}$ ,  $K_{\text{пр}}$ ,  $K_{\text{сн}}$ ,  $K_{\text{сч}}$  — коэффициенты, зависящие от закона распределения соответствующих погрешностей.

$K_{\text{опт}} = K_{\text{пр}} = K_{\text{сн}} = K_{\text{сч}} = 1,73$ ;  $K_{S_P} = K_U = 1,96$ ;

$$\delta_U = \pm \frac{1,96}{1,73} \sqrt{9 + 18 + 6,3 + 4} = \pm 6,8\%; \quad (23)$$

$$\frac{\partial S_P}{\partial U_i} = \frac{\partial S_P}{\partial P_i} \cdot \frac{\partial P_i}{\partial U_i}; \quad (24)$$

$$U_i = m \cdot P_i, \quad (25)$$

где  $m$  — коэффициент преобразования измерительного преобразователя.

$$\frac{\partial P_i}{\partial U_i} = \frac{1}{m}. \quad (26)$$

Подставляя формулу (25) в (13), получим

$$\frac{dS_P}{dP_i} = \frac{n^3 m \left[ U_i \left( \sum_{i=1}^n U_i \right) - \sum_{i=1}^n (U_i)^2 \right]}{(n-1) S_P \left( \sum_{i=1}^n U_i \right)^3}. \quad (27)$$

Подставляя формулы (26), (27) и значения  $K_{S_P}$ ,  $K_U$  и  $\delta_U$  из (23) в (21), получим  $\delta_{S_P}$  в процентах

$$\begin{aligned} \delta_{S_P} = \pm \frac{n^3 \cdot \delta_U}{(n-1) \cdot S_P^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{U_i^2 \left( \sum_{i=1}^n U_i \right) - U_i \sum_{i=1}^n (U_i)^2}{\left( \sum_{i=1}^n U_i \right)^3} \right]^2} = \\ = \pm \frac{6,8}{n(n-1) \cdot S_P^2 \cdot \bar{U}^3} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( n \bar{U} \cdot U_i^2 - U_i \sum_{i=1}^n U_i^2 \right)^2}. \quad (28) \end{aligned}$$

Если относительную нестабильность мощности лазерного излучения определяют по формуле (12) стандарта, проведя расчеты, аналогичные п. 3.1 настоящего приложения, получим, что относительная погрешность измерения равна

$$\delta_{S_P} = 15,7 \frac{U_{\max} \cdot U_{\min}}{U_{\max}^2 - U_{\min}^2} \quad (29)$$

3.3. Когда относительную нестабильность мощности лазерного излучения определяют по формуле (18) основного текста стандарта, относительная погрешность измерения равна

$$\delta_{S_P} = \pm K_{S_P} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial S_P}{\partial \beta_i} \cdot \frac{\beta_i}{S_P} \cdot \frac{\delta \beta_i}{K_{\beta_i}} \right)^2 + \left( \frac{\partial S_P}{\partial \gamma} \cdot \frac{\gamma}{S_P} \cdot \frac{\delta \gamma}{K_{\gamma}} \right)^2} \quad (30)$$

где  $\frac{\partial S_P}{\partial \gamma} \cdot \frac{\gamma}{S_P} \cdot \frac{\delta \gamma}{K_{\gamma}} =$  погрешность измерения, обусловленная неточностью градуировки самопишущего прибора. Оценка показала, что этой погрешностью можно пренебречь, поэтому в дальнейших расчетах ее не учитывают.

$$\frac{\partial S_P}{\partial \beta_i} = \frac{\partial S_P}{\partial U_i} \cdot \frac{\partial U_i}{\partial \beta_i} \quad (31)$$

Подставляя формулы (27) и (26) в (24), получим

$$\frac{\partial S}{\partial U_i} = \frac{n^2 \left[ U_i \left( \sum_{l=1}^n U_l \right) - \sum_{l=1}^n (U_l)^2 \right]}{(n-1) S_P \left( \sum_{l=1}^n U_l \right)^3} \quad (32)$$

Как следует из формул (8) и (10) приложения 3

$$U_i = U_0 (1 + \gamma \beta_i) \quad (33)$$

Следовательно,

$$\frac{\partial U_i}{\partial \beta_i} = U_0 \gamma \quad (34)$$

Подставляя формулы (32) и (34) в (31), получим

$$\frac{\partial S_P}{\partial \beta_i} = \frac{n^2 \left[ (1 + \gamma \beta_i) \sum_{l=1}^n (1 + \gamma \beta_l) - \sum_{l=1}^n (1 + \gamma \beta_l)^2 \right] \gamma}{(n-1) S_P \left[ \sum_{l=1}^n (1 + \gamma \beta_l) \right]^3} \quad (35)$$

$$\delta_{\beta_i} - \delta_{\beta} = \pm K_{\beta} \sqrt{\left(\frac{\delta_{\text{опт}}}{K_{\text{опт}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{\text{впр}}}{K_{\text{впр}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{\pi}}{K_{\pi}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{\text{сн}}}{K_{\text{сн}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{\text{сз}}}{K_{\text{сз}}}\right)^2}, \quad (36)$$

где  $\delta_{\pi}$  — погрешность установления и поддержания опорного напряжения  $U_0$  измерителем нестабильности напряжения (находится в пределах  $\pm 1\%$ );  $K_{\pi} = 1,73$ .

Подставляя в (36) предельные значения частных погрешностей и учитывая, что распределение  $\delta_{\beta}$  — нормальное ( $K_{\beta} = 1,96$  при вероятности 0,95), получим

$$\delta_{\beta} = \pm 1,1 \sqrt{9+9+6+1+4} = \pm 5,9\%. \quad (37)$$

Подставляя формулы (35), (37) в (30), получим

$$\begin{aligned} \delta_{S_P} &= \pm \frac{n^2 \delta_{\beta}}{(n-1) S_P^2} = \\ &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\gamma \beta_i (1 + \gamma \beta_i) \sum_{i=1}^n (1 + \gamma \beta_i) - \gamma \beta_i \sum_{i=1}^n (1 + \gamma \beta_i)^2}{\left[ \sum_{i=1}^n (1 + \gamma \beta_i) \right]^3} \right\}^2} = \\ &= \pm \frac{5,9}{n(n-1)(1 + \gamma \bar{\beta})^3 S_P^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \gamma \beta_i (1 + \gamma \beta_i) \cdot n \cdot (1 + \gamma \bar{\beta}) - \gamma \beta_i \sum_{i=1}^n (1 + \gamma \beta_i)^2 \right]^2}. \end{aligned} \quad (38)$$

3.4. Когда относительную нестабильность мощности лазерного излучения определяют по формуле (19) стандарта, погрешность измерения равна

$$\delta_{S_P} = \pm K_{S_P} \sqrt{\left( \frac{\partial S_P}{\partial \beta_{\max}} \cdot \frac{\beta_{\max}}{S_P} \cdot \frac{\delta \beta_{\max}}{K_{\beta}} \right)^2 + \left( \frac{\partial S_P}{\partial \beta_{\min}} \cdot \frac{\beta_{\min}}{S_P} \cdot \frac{\delta \beta_{\min}}{K_{\beta}} \right)^2}; \quad (39)$$

$$\frac{\partial S_P}{\partial \beta_{\max}} = \frac{2\beta_{\min} + \frac{2}{\gamma}}{\left( \beta_{\max} + \beta_{\min} + \frac{2}{\gamma} \right)^2}; \quad (40)$$

$$\frac{\partial S_P}{\partial \beta_{\min}} = \frac{-\left( 2\beta_{\max} + \frac{2}{\gamma} \right)}{\left( \beta_{\max} + \beta_{\min} + \frac{2}{\gamma} \right)^2}. \quad (41)$$

Принимаем  $\delta \beta_{\max} = \delta \beta_{\min} = \delta \beta$ .

Подставляем формулы (40) и (41) настоящего приложения, формулу (17) стандарта и значение  $\delta_\beta$  из (37) в (39), получим:

$$\delta_{Sp} = \pm 11,8 \sqrt{\frac{\left[\left(\beta_{\min} + \frac{1}{\gamma}\right)\beta_{\max}\right]^2 + \left[\left(\beta_{\max} + \frac{1}{\gamma}\right)\beta_{\min}\right]^2}{\left(\beta_{\max} + \beta_{\min} + \frac{2}{\gamma}\right)^2 \left(\beta_{\max} - \beta_{\min}\right)^2}}, \quad (42)$$

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3 Справочное

#### ВЫВОД ФОРМУЛ (18) и (19) СТАНДАРТА

1. Относительная нестабильность мощности лазерного излучения в соответствии с ГОСТ 24453—80 равна

$$S_P = \frac{1}{\bar{P}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - \bar{P})^2}{n-1}}, \quad (1)$$

где  $P_i$  — значение мощности лазерного в  $i$ -й момент времени,  $\bar{P}$  — среднее значение мощности лазерного излучения за время измерения.

$$P_i = U_i \cdot m; \quad (2)$$

$$\bar{P} = \bar{U} \cdot m; \quad (3)$$

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i, \quad (4)$$

где  $U_i$  — значение напряжения на выходе измерительного преобразователя в  $i$ -й момент времени;

$\bar{U}$  — среднее за время измерения значение напряжения на выходе измерительного преобразователя;

$m$  — коэффициент преобразования измерительного преобразователя.

Подставляя формулы (2), (3), (4) в формулу (1), получают

$$S_P = \frac{1}{m\bar{U}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (mU_i - m\bar{U})^2}{n-1}} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n U_i} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( U_i - \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n} \right)^2}{n-1}}.$$

Следовательно,

$$S_p = \frac{n}{\sum_{i=1}^n U_i} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( U_i - \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n} \right)^2}{n-1}} \quad (5)$$

Значения относительной нестабильности напряжения, регистрируемые измерителем относительной нестабильности напряжения, равны

$$\kappa_i = \frac{\Delta U_i}{U_0} = \frac{U_i - U_0}{U_0}, \quad (6)$$

где  $U_0$  — значение напряжения на выходе измерительного преобразователя в начальный момент времени.

$$\kappa_i U_0 = U_i - U_0 \quad (7)$$

$$U_i = U_0(\kappa_i + 1). \quad (8)$$

Подставляя формулу (8) в формулу (5), получают

$$\begin{aligned} S_p &= \frac{n}{\sum_{i=1}^n [U_0(\kappa_i + 1)]} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[ U_0(\kappa_i + 1) - \frac{\sum_{i=1}^n U_0(\kappa_i + 1)}{n} \right]^2}{n-1}} = \\ &= \frac{n}{\sum_{i=1}^n (\kappa_i + 1)} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[ (\kappa_i + 1) - \frac{\sum_{i=1}^n (\kappa_i + 1)}{n} \right]^2}{n-1}} = \\ &= \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^n \kappa_i}{n} + 1} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[ \kappa_i + 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \kappa_i}{n} - 1 \right]^2}{n-1}} = \\ &= \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^n \kappa_i}{n} + 1} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( \kappa_i - \frac{\sum_{i=1}^n \kappa_i}{n} \right)^2}{n-1}}. \quad (9) \end{aligned}$$

Значения неустойчивости напряжения, определяемые по диаграммной ленте самописца равны

$$\kappa_i = \beta_i \cdot \gamma, \quad (10)$$

где  $\beta_i$  — значение ординаты функции  $\beta = f(t)$ , мм;  
 $\gamma$  — масштабный коэффициент диаграммной ленты, мм<sup>-1</sup>.

Подставляя формулу (10) в формулу (9), получают

$$S_p = \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^n \beta_i \gamma}{n} + 1} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[ \beta_i \gamma - \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i \gamma}{n} \right]^2}{n-1}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^n \beta_i}{n} + \frac{1}{\gamma}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( \beta_i - \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i}{n} \right)^2}{n-1}}. \quad (11)$$

2. Если относительную неустойчивость средней мощности определяют по формуле (5) стандарта, то подставляя в эту формулу формулы (2) и (8), получают

$$S_p' = \frac{mU_0(\kappa_{\max}+1) - mU_0(\kappa_{\min}+1)}{mU_0(\kappa_{\max}+1) + mU_0(\kappa_{\min}+1)} = \frac{\kappa_{\max} - \kappa_{\min}}{\kappa_{\max} + \kappa_{\min} + 2}. \quad (12)$$

Подставляя формулу (10) в формулу (12), получают

$$S_p' = \frac{\beta_{\max} - \beta_{\min}}{\beta_{\max} + \beta_{\min} + \frac{2}{\gamma}}. \quad (13)$$



Редактор *Е. И. Глазкова*  
Технический редактор *Н. П. Замоладчикова*  
Корректор *В. М. Черная*

Сдано в наб. 01.06.83 Подп. в печ. 11.10.83 1,5 в. л. 1,52 уч.-изд. л. Тир. 6000 Цена 10 коп.  
Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3  
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6. Зак. 623