ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

ЛАЗЕРЫ

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

ГОСТ 25786—83

Издание официальное

Цена 10 коп.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.375.626.083:006.354 Группа Т35

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

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

Lasers. Measuring methods of average power, pulse average power, relative average power instability

ГОСТ 25786—83

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;

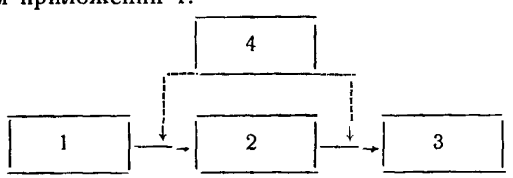
относительной нестабильности средней мощности от 1,0 до 30%.

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* — средство измерений; *4*—средство юстировки

Издание официальное **Перепечатка воспрещена**

★

© Издательство стандартов, 1983

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:

$$K_1 \geqslant \frac{P_1}{P_2}, \qquad (1)$$

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 ±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 ±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 вспышечные 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 ±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

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

где K_1 — коэффициент ослабления оптической системы.

1.3.2. Погрешность измерения средней мощности излучения лазеров $\delta_{Рл}$ находится в интервале ±19% с установленной вероятностью 0,95. Погрешность измерения средней мощности излучателя $\delta_{Ри}$ находится в интервале ±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 $\tau_и$ и частоту повторения $F_и$ импульса излучения измеряют по ГОСТ 25213—82.

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

$$P_{имп} = \frac{P}{\tau_и F_и} . \qquad (3)$$

2.5. Погрешность измерения средней мощности импульса излучения лазера находится в интервале ±28% с установленной вероятностью 0,95. Погрешность измерения средней мощности импульса излучения излучателя находится в интервале ±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 по 1.1.4. Основная погрешность средства измерений должна быть в пределах ±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 нестабильности средней мощности, установленное в стандартах или ТУ на конкретный тип лазера, n — количество наблюдений ($n \geqslant 10$).

3.1.3. *Обработка результатов. Показатели точности*

3.1.3.1. Относительную нестабильность средней мощности определяют в процентах по формуле

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

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

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

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

где P_{max} и P_{min} — максимальное и минимальное значения средней мощности P_i, полученные при измерении.

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

Границы интервала δ_{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

$$\delta_{S_P} = \pm \frac{15{,}7}{n(n-1) S_P^2 \bar{P}^3} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(P_i^2 n\bar{P} - P_i \sum_{i=1}^{n} P_i^2 \right)^2} \qquad (6)$$

Если S_P определена по формуле (5), то

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

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 ±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 ($n \geqslant 10$).

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 $\overline{U}_i$ по формуле

$$\overline{U}_i = \frac{U_{i\,max} + U_{i\,min}}{2} \tag{8}$$

3.2.3.4. Определяют среднее значение напряжения за время измерения по формуле

$$\overline{U} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{n} \overline{U}_i}{n} \tag{9}$$

3.2.3.5. Для каждого участка определяют максимальное отклонение напряжения от среднего значения за время измерения ΔU_{imax} по формуле

$$\Delta U_{i\,max} = |U_i - \overline{U}|_{max}. \tag{10}$$

3.2.3.6. Определяют в процентах относительную нестабильность средней мощности по формуле

$$S_P = \frac{100}{\overline{U}} \sqrt{\frac{\sum\limits_{i=1}^{n} \Delta U_{i\,max}^2}{n-1}} \tag{11}$$

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

$$S_P = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}} \cdot 100, \tag{12}$$

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 δ_{S_P}, 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

$$\delta_{S_P} = \pm \frac{6,7}{(n-1)\,S_P^2\,\overline{U}^3} \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(U_i^2\, n\overline{U} - U_i \sum_{i=1}^{n} U_i^2\right)^2} \qquad (13)$$

Если S_P определена по формуле (12), то

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

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 ±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 β, 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 ($n \geqslant 10$).

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

$$\overline{\beta}_i = \frac{\beta_{i\,max} + \beta_{i\,min}}{2} \qquad (15)$$

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

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

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

$$\Delta\beta_{i\,max} = |\beta_i - \overline{\beta}|_{max} \qquad (17)$$

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

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

где γ — масштабный коэффициент диаграммной ленты, мм$^{-1}$.

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

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

где β_{max} и β_{min} — максимальное и минимальное значения β 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 δ_{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 (18), то δ_{S_P} в процентах:

$$\delta_{S_P} = \pm \frac{5,9}{n(n-1)(1+\gamma\bar{\beta})^3 S_P^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left[\gamma\beta(1+\gamma\beta_i) n(1+\gamma\bar{\beta}) - \right.} \rightarrow \cdots \overline{\left. - \gamma\beta_i \sum_{i=1}^{n} (1+\gamma\beta_i)^2 \right]^2}. \quad (20)$$

Если S_P определена по формуле (19), то δ_{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.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Рекомендуемое

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Таблица 1

Средства измерений средней мощности

Тип средства 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
М3-24*	0,4—3,5	10^{-3} —1	10
М3-18А*		10^{-3} —10^{-1}	
М3-49*	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—10^2	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:		
оптическое бесцветное стекло	10,0—33,4	0,35—3,0
германий, кремний	5,0—20,0	0,3—11,0
Ослабители, основанные на отражении от диффузно рассеивающих поверхностей:		
молочные стекла, окись бария, сульфат бария, матированные поверхности металлов	10—10^4	0,35—11,0
Механические прерыватели	До 10^3	Оптический диапазон

Таблица 4

Самопишущие приборы

Наименование, тип	Технические и метрологические характеристики
Прибор лабораторный компенсационный самопишущий ЛКС4—003	Класс точности — 0,5. Основная погрешность при дискретном подавлении нуля, $\pm(0{,}6 \div 1{,}0)$, %. 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%. Диапазон измерений 0,005—500 А; 5—500 В. Скорость движения ленты 20—5400 мм/ч

Основные параметры измерителя относительной нестабильности напряжения В2—35:

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

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), ΔH — 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:

$$\delta_{P_л}=\pm K_{P_л}\sqrt{\left(\frac{\delta_{опт}}{K_{опт}}\right)^2+\left(\frac{\delta_{с.и}}{K_{с.и}}\right)^2}; \qquad (1)$$

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

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

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

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

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

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

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

Считаем распределение каждой частной погрешности равномерным. Тогда предельные значения коэффициентов

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

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

Тогда $$\delta_{P_л} = \pm \frac{1{,}65}{1{,}73} \sqrt{363} \approx \pm 19\%;$$

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

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

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

$\delta_{\text{пред равн}}$ — предельное значение частной погрешности, имеющей равномерное распределение ($\delta_{\text{пред равн}} = \delta_{опт} = \pm 7\%$); $\sigma_п$ — среднее квадратическое отклонение погрешности, имеющей нормальное распределение $\sigma_н = \frac{\sqrt{324 + 100}}{2{,}3}$

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

2 Погрешность измерения средней мощности импульса излучения.

$$\delta_{P_{и.л}} = \pm K_{P_{и.л}} \sqrt{\left(\frac{\delta_{P_л}}{K_{P_л}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_\tau}{K_\tau}\right)^2 + \left(\frac{\delta_f}{K_f}\right)^2}, \qquad (3)$$

$$\delta_{P_{и.изл}} = \pm K_{P_{и.изл}} \sqrt{\left(\frac{\delta_{P_{изл}}}{K_{P_{изл}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_\tau}{K_\tau}\right)^2 + \left(\frac{\delta_f}{K_f}\right)^2}, \qquad (4)$$

где $\delta_{P_{и.\,л}}$ — погрешность измерения средней мощности импульса излучения лазера;

$\delta_{P_{и.\,изл}}$ — погрешность измерения средней мощности импульса излучения излучателя;

δ_τ — погрешность измерения длительности импульса излучения (находится в интервале ±15% с установленной вероятностью 0,95);

δ_f — погрешность измерения частоты повторения импульсов излучения (находится в интервале ±10% с установленной вероятностью 0,95);

$K_{P_{и.\,л}}$, $K_{P_{и.\,изл.}}$, K_τ, K_f — коэффициенты, зависящие от закона распределения соответствующих погрешностей и установленной вероятности.

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

$$K_{P_л} = 1{,}65; \quad K_{P_{изл}} = 1{,}94; \quad K_{P_{и\,л}} = K_{P_{и\,изл}} = 1{,}96, \text{ а}$$

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

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

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

3 Погрешность измерения относительной нестабильности мощности лазерного излучения

3 1 Когда относительную нестабильность мощности определяют по формуле (4) стандарта, относительная погрешность измерения нестабильности мощности δ_{S_P} равна

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

где δ_{P_i} — относительная погрешность измерения мощности излучения в i-й момент времени,

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

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

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

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

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

Обозначим в формуле (6)

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

тогда $$S_P=\sqrt{\frac{n^2x}{n-1}} \tag{8}$$

и $$\frac{\partial S_P}{\partial P_i}=\frac{\partial S_P}{\partial x}\cdot\frac{\partial x}{\partial P_i}, \tag{9}$$

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

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

$$x=\frac{P_1^2}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^2}+\frac{P_2^2}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^2}+\ldots\ \frac{P_i^2}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^2}+\ldots+$$

$$+\frac{P_n^2}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^2}-\frac{1}{n}\ . \tag{11}$$

$$\frac{\partial x}{\partial P_i}=\frac{-2P_1^2\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^4}-\frac{2P_2^2\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^4}+\ldots+$$

$$+\frac{2P_i\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^2-2P_i^2\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^4}\ldots-\frac{2P_n^2\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^4}=$$

$$=\frac{-2\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)(P_1^2+P_2^2+\ldots P_i^2\ldots+P_n^2)}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^4}+\frac{2P_i\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^2}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^4}=$$

$$=\frac{2P_i}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^2}-\frac{2\sum\limits_{i=1}^{n}(P_i)^2}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^3} \tag{12}$$

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

$$\frac{\partial S}{\partial P_i} = \frac{n}{2\sqrt{(n-1)\cdot\left[\frac{\sum\limits_{i=1}^{n}(P_i)^2}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^2}-\frac{1}{n}\right]}}\times$$

$$\times\frac{\left[2P_i\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)-2\sum\limits_{i=1}^{n}(P_i)^2\right]}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^3}=\frac{n^2\left[P_i\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)-\sum\limits_{i=1}^{n}(P_i)^2\right]}{(n-1)\cdot S_P\left(\sum\limits_{i=1}^{n}P_i\right)^3}. \quad (13)$$

Подставляя формулу (13) в (5) и принимая $\delta_{P_1}=\delta_{P_2}=\ldots\delta_{Pn}=\delta_P$; $K_{P_i}=K_P$, $K_{S_P}=1{,}96$ получим:

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

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

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

δ_P определяем по формуле (1).

Учитывая, что $\delta_{с\,и}$ находится в пределах ±12%, получим

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

Распределение δ_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 δ_{S_P} в процентах

$$\delta_{S_P} = \pm \frac{15{,}7}{n(n-1)\,S_P^2\,\overline{P}^3} \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i\,n\,\overline{P} - P_i \sum_{i=1}^{n} P_i^2\right)^2} \qquad (16)$$

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

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

$$\frac{\partial S_P}{\partial P_{\max}} = \frac{(P_{\max} + P_{\min}) - (P_{\max} - P_{\min})}{(P_{\max} + P_{\min})^2} = \frac{2P_{\min}}{(P_{\max} + P_{\min})^2}; \qquad (18)$$

$$\frac{\partial S_P}{\partial P_{\min}} = \frac{-(P_{\max} + P_{\min}) - (P_{\max} - P_{\min})}{(P_{\max} + P_{\min})^2} = \frac{-2P_{\max}}{(P_{\max} + P_{\min})^2}. \qquad (19)$$

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

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

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

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

$$\delta_P = \pm \frac{15{,}7}{10 \cdot 9 \cdot 0{,}29 \cdot 1{,}0 \cdot 6^3} (0{,}49 \cdot 10{,}6 - 0{,}7 \cdot 12)^2 + (0{,}64 \cdot 10{,}6 - 0{,}8 \cdot 12)^2 +$$

$$+ (1{,}21 \cdot 10{,}6 - 1{,}1 \cdot 12)^2 + (0{,}81 \cdot 10{,}6 - 0{,}9 \cdot 12)^2 + (1{,}44 \cdot 10{,}6 - 1{,}2 \cdot 12)^2 +$$

$$+ (1{,}96 \cdot 10{,}6 - 1{,}4 \cdot 12)^2 + (2{,}26 \cdot 10{,}6 - 10{,}6 - 1{,}5 \cdot 12)^2 + (0{,}49 \cdot 10{,}6 - 0{,}7 \cdot 12)^2 +$$

$$+ (1{,}0 \cdot 10{,}6 - 1{,}0 \cdot 12)^2 + (1{,}69 \cdot 10{,}6 - 1{,}3 \cdot 12)^2 = \pm 15\%; \quad \delta_P = \pm 15\%.$$

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

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

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

где δ_U — погрешность измерения напряжения на выходе измерительного преобразователя,

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

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

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

$\delta_{сп}$ — основная погрешность самописца (находится в пределах ±2,5%);

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

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

$K_{опт}=K_{пр}=K_{сп}=K_{сч}=1{,}73$; $K_{S_P}=K_U=1{,}96$;

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

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

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

где m — коэффициент преобразования измерительного преобразователя.

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

Подставляя формулу (25) в (13), получим

$$\frac{dS_P}{dP_i} = \frac{n^2 m\left[U_i\left(\sum\limits_{i=1}^{n} U_i\right) - \sum\limits_{i=1}^{n}(U_1)^2\right]}{(n-1)\,S_P\left(\sum\limits_{i=1}^{n} U_i\right)^3}. \quad (27)$$

Подставляя формулы (26), (27) и значения K_{S_P}, K_U и δ_U из (23) в (21), получим δ_{S_P} в процентах

$$\delta_{S_P} = \pm \frac{n^2 \cdot \delta_U}{(n-1)\cdot S_P^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{U_i^2\left(\sum\limits_{i=1}^{n} U_i\right) - U_i\sum\limits_{i=1}^{n}(U_i)^2}{\left(\sum\limits_{i=1}^{n} U_i\right)^3}\right]^2} =$$

$$= \pm \frac{6{,}8}{n\,(n-1)\cdot S_P^2 \cdot \overline{U}^3}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(n\,\overline{U}\cdot U_i^2 - U_i\sum_{i=1}^{n} U_i^2\right)^2}. \quad (28)$$

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

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

3 3 Когда относительную нестабильность мощности лазерного излучения определяют по формуле (18) основного текста стандарта, относительная погрешность измерения равна

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

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

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

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

$$\frac{\partial S}{\partial U_i} = \frac{n^2\left[U_i\left(\sum\limits_{i=1}^{n} U_1\right) - \sum\limits_{i=1}^{n}(U_i)^2\right]}{(n-1)\,S_P\left(\sum\limits_{i=1}^{n} U_i\right)^3} \qquad (32)$$

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

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

Следовательно,

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

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

$$\frac{\partial S_P}{\partial \beta_i} = \frac{n^2\left[(1+\gamma\beta_i)\sum\limits_{i=1}^{n}(1+\gamma\beta_i) - \sum\limits_{i=1}^{n}(1+\gamma\beta_i)^2\right]\gamma}{(n-1)\,S_P\left[\sum\limits_{i=1}^{n}(1+\gamma\beta_i)\right]^2}, \qquad (35)$$

$$\delta_{\beta_i} = \delta_\beta = \pm K_\beta \sqrt{\left(\frac{\delta_{опт}}{K_{опт}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{пр_2}}{K_{пр}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_н}{K_н}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{сп}}{K_{сп}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{c2}}{K_{c2}}\right)^2}, \quad (36)$$

где $\delta_н$ — погрешность установления и поддержания опорного напряжения U_0 измерителем нестабильности напряжения (находится в пределах ±1%); $K_н = 1{,}73$

Подставляя в (36) предельные значения частных погрешностей и учитывая, что распределение δ_β — 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

$$\delta_{S_P} = \pm \frac{n^2 \delta_\beta}{(n-1) S_P^2} =$$

$$= \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left\{ \frac{\gamma\beta_i (1+\gamma\beta_i) \sum_{i=1}^{n} (1+\gamma\beta_i) - \gamma\beta_i \sum_{i=1}^{n} (1+\gamma\beta)^2}{\left[\sum_{i=1}^{n} (1+\gamma\beta_i)\right]^3} \right\}^2} =$$

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

3 4 Когда относительную нестабильность мощности лазерного излучения определяют по формуле (19) стандарта, погрешность измерения равна

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

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

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

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

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

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

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Справочное

ВЫВОД ФОРМУЛ (18) и (19) СТАНДАРТА

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

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

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

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

$$\overline{P} = \overline{U} \cdot m; \qquad (3)$$

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

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

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

m — коэффициент преобразования измерительного преобразователя.

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

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

Следовательно,

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

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

$$\varkappa_i = \frac{\Delta U_i}{U_0} = \frac{U_i - U_0}{U_0}, \qquad (6)$$

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

$$\varkappa_i U_0 = U_i - U_0 \qquad (7)$$

$$U_i = U_0(\varkappa_i + 1). \qquad (8)$$

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

$$S_P = \frac{n}{\sum_{i=1}^{n}[U_0(\varkappa_i + 1)]} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[U_0(\varkappa_i+1) - \frac{\sum_{i=1}^{n} U_0(\varkappa_i + 1)}{n}\right]^2}{n-1}} =$$

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

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

$$= \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^{n}\varkappa_i}{n}+1} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\varkappa_i - \frac{\sum_{i=1}^{n}\varkappa_i}{n}\right)^2}{n-1}} \qquad (9)$$

Значения нестабильности напряжения, определяемые по диаграммной ленте самописца равны

$$\varkappa_i = \beta_i \cdot \gamma, \tag{10}$$

где β_i — значение ординаты функции $\beta = f(t)$, мм;

γ — масштабный коэффициент диаграммной ленты, мм$^{-1}$.

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

$$S_P = \frac{1}{\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n}\beta_i\gamma}{n}+1}\sqrt{\frac{\sum\limits_{i=1}^{n}\left[\beta_i\gamma-\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n}\beta_i\gamma}{n}\right]^2}{n-1}} =$$

$$= \frac{1}{\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n}\beta_i}{n}+\dfrac{1}{\gamma}}\sqrt{\frac{\sum\limits_{i=1}^{n}\left(\beta_i-\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n}\beta_i}{n}\right)^2}{n-1}} \tag{11}$$

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

$$S'_p = \frac{mU_0(\varkappa_{max}+1)-mU_0(\varkappa_{min}+1)}{mU_0(\varkappa_{max}+1)+mU_0(\varkappa_{min}+1)} = \frac{\varkappa_{max}-\varkappa_{min}}{\varkappa_{max}+\varkappa_{min}+2} \tag{12}$$

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

$$S'_p = \frac{\beta_{max}-\beta_{min}}{\beta_{max}+\beta_{min}+\dfrac{2}{\gamma}} \tag{13}$$

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

Сдано в наб 01 06 83 Подп в печ 11 10 83 1,5 п л 1,52 уч-изд л Тир 6000 Цена 10 коп.

gost.e-ecolog.ru

та» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник» Москва, Лялин пер, 6 Зак 623