

# ЛАЗЕРЫ

## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДИАМЕТРА ПУЧКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ РАСХОДИМОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Издание официальное

БЗ 6—2000

ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ  
Москва

## ЛАЗЕРЫ

## Методы измерения диаметра пучка и энергетической расходимости лазерного излучения

ГОСТ  
26086—84Lasers. Methods for measurement of beam diameter  
and beam energy divergence angle

ОКСТУ 6341

Дата введения 01.07.85

Настоящий стандарт распространяется на лазеры непрерывного и импульсного режимов работы и устанавливает методы измерения:

- диаметра пучка излучения;
- метод калиброванных диафрагм;
- метод распределения плотности энергии (мощности) лазерного излучения;
- энергетической расходимости лазерного излучения;
- метод фокального пятна;
- метод двух сечений.

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

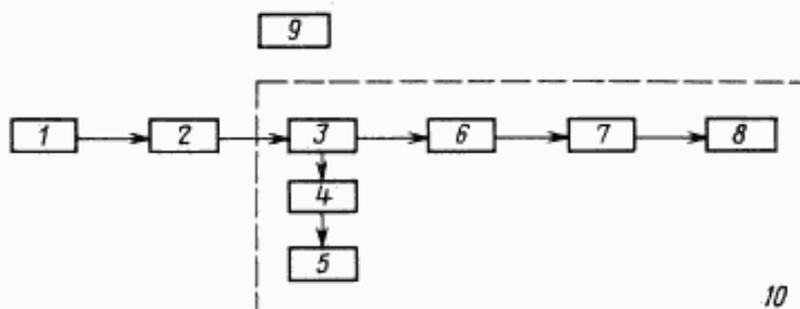
## 1. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДИАМЕТРА ПУЧКА ИЗЛУЧЕНИЯ

## 1.1. Метод калиброванных диафрагм

Измерение основано на определении диаметра диафрагмы, через которую проходит заданная доля энергии (мощности) лазерного излучения.

## 1.1.1. Аппаратура

1.1.1.1. Схема расположения средств измерений и вспомогательных устройств приведена на черт. 1.



1 — лазер; 2 — ослабитель; 3 — ответвитель; 4, 7 — оптическая система; 5, 8 — средства измерения энергии (мощности) лазерного излучения; 6 — калиброванная диафрагма; 9 — средство юстировки; 10 — устройство для измерения диаметра пучка излучения

Черт. 1

1.1.1.2. Перечень рекомендуемых средств измерений и вспомогательных устройств приведен в приложении 1.

Издание официальное

Перепечатка воспрещена

© Издательство стандартов, 1984  
© ИПК Издательство стандартов, 2002

1.1.1.3. Ослабитель должен обеспечивать значение энергии (мощности) лазерного излучения в пределах энергетического диапазона применяемого средства измерения энергии (мощности). Погрешность, вносимая ослабителем, должна быть в пределах  $\pm 5\%$ .

Если энергия (мощность) лазерного излучения не превышает верхнего предела измерителя, допускается не использовать ослабитель 2.

**(Измененная редакция, Изм. № 1).**

1.1.1.4. Ответвитель должен обеспечивать разделение пучка излучения с погрешностью в пределах  $\pm 3\%$ .

1.1.1.5. Диафрагма, устанавливаемая перпендикулярно направлению распространения пучка лазерного излучения, должна обеспечивать:

- пропускание энергии (мощности) лазерного излучения от  $z_1$  до  $0,7\gamma_n z_1$ , где  $z_1$  — полная энергия (мощность) лазерного излучения,  $\gamma_n$  — установленный в стандартах или технических условиях (ТУ) на лазеры конкретных типов уровень энергии (мощности) лазерного излучения, при котором определяется диаметр пучка;

- плавное или ступенчатое изменение диаметра поперечного сечения пучка лазерного излучения, попадающего на средство измерения энергии (мощности)  $\delta$ , с шагом не более  $0,2d$ , где  $d$  — диаметр пучка излучения, указанный в стандартах или ТУ на лазеры конкретных типов.

Погрешность определения диаметра отверстия диафрагмы  $D$  должна быть в пределах  $\pm 3\%$ .

Допускается использовать набор сменных калиброванных диафрагм.

**(Измененная редакция, Изм. № 1).**

1.1.1.6. Оптическая система, должна обеспечивать согласование диаметра пучка лазерного излучения с размером входной апертуры средства измерения энергии (мощности). Погрешность, вносимая оптической системой, должна быть в пределах  $\pm 3\%$ . Если диаметр поперечного сечения лазерного пучка находится в пределах, установленных для применяемого средства измерения, оптическую систему допускается не применять.

1.1.1.7. Средство измерения энергии лазерного излучения должно соответствовать требованиям ГОСТ 25212, средство измерения мощности лазерного излучения — ГОСТ 25786.

1.1.1.8. Средство юстировки должно обеспечивать попадание лазерного излучения в центральную часть приемных площадок средств измерений и вспомогательных устройств. В качестве средств юстировки рекомендуется применять визуализаторы, газовые лазеры непрерывного режима работы в видимой области спектра с расходимостью не более  $10'$  или другие устройства.

1.1.1.9. Если относительная нестабильность энергии (мощности) лазерного излучения за время измерения не превышает  $5\%$ , допускается не вводить в схему измерения ответвитель, оптическую систему 4 и средство измерения энергии (мощности) 5.

1.1.2. *Подготовка и проведение измерений*

1.1.2.1. Устанавливают средства измерений и вспомогательные устройства и подготавливают их к работе в соответствии с эксплуатационной документацией на них.

1.1.2.2. Включают лазер и прогревают в течение времени готовности, установленного в стандарте или ТУ на лазер конкретного типа.

1.1.2.3. Проводят юстировку, добиваясь попадания пучка лазерного излучения в центральную часть диафрагмы, приемных площадок ослабителя, ответвителя, оптической системы и средств измерения энергии (мощности) лазерного излучения.

1.1.2.4. Устанавливают диаметр диафрагмы  $D_1$ , при котором через диафрагму проходит полная энергия (мощность) излучения  $z_1$ .

1.1.2.5. Измеряют энергию (мощность) лазерного излучения  $z_1$  и  $z'_1$  средствами измерения  $\delta$  и 5 соответственно.

1.1.2.6. Уменьшая диаметр диафрагмы, определяют  $z_i$  и  $z'_i$ , где  $i = 2, 3, \dots, n$ . Измерения проводят не менее чем при пяти различных диаметрах диафрагмы, если иное не установлено в стандартах или ТУ на лазеры конкретных типов.

1.1.3. *Обработка результатов*

1.1.3.1. Для каждого  $i$ -го значения диаметра диафрагмы  $D_i$  вычисляют соотношение

$$\gamma_i = \alpha \frac{z_i}{z'_i}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — коэффициент, определяемый в соответствии с приложением 2;

$i = 1, 2, \dots, n$ .

1.1.3.2. Полученные данные аппроксимируют зависимостью  $\gamma = F(D)$  и определяют диаметр диафрагмы, соответствующий уровню энергии  $\gamma_m$ , указанному в стандартах или ТУ на лазеры конкретных типов.

Найденный диаметр диафрагмы принимают за диаметр пучка лазерного излучения.

1.1.3.3. При измерении по схеме с учетом требований п. 1.1.1.9  $\gamma_i$  вычисляют по формуле

$$\gamma_i = \frac{z_i}{z_1} \quad (2)$$

1.1.3.4. Обработку результатов измерений можно проводить с использованием ЭВМ. Алгоритм обработки приведен в приложении 4.

1.1.4. *Показатели точности измерения*

Погрешность измерения диаметра пучка находится в интервале  $\pm 24\%$  с установленной вероятностью 0,95. Расчет погрешности измерения приведен в приложении 3.

## 1.2. Метод распределения плотности энергии (мощности)

1.2.1. Измерение основано на определении диаметра круга, в котором заключена заданная доля энергии (мощности) лазерного излучения. Центр этого круга должен соответствовать точке сечения пучка лазерного излучения, совпадающей с энергетическим центром относительного распределения плотности энергии (мощности) ОРПЭ (М)\*.

1.2.2. Измеряют ОРПЭ (М) по ГОСТ 25917.

1.2.3. *Обработка результатов. Показатели точности измерения*

1.2.3.1. Строят матрицу значений относительной плотности энергии (мощности)  $\beta_{kl}$  в различных точках сечения лазерного пучка, где  $k, l$  — координаты точки сечения.

1.2.3.2. Полную энергию (мощность) лазерного излучения  $z_1$  вычисляют по формуле

$$z_1 = \Delta_x \Delta_y \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N \beta_{kl}, \quad (3)$$

где  $\Delta_x, \Delta_y$  — равномерный шаг между соседними точками ОРПЭ (М), в которых определена  $\beta_{kl}$  по соответствующим осям координат;

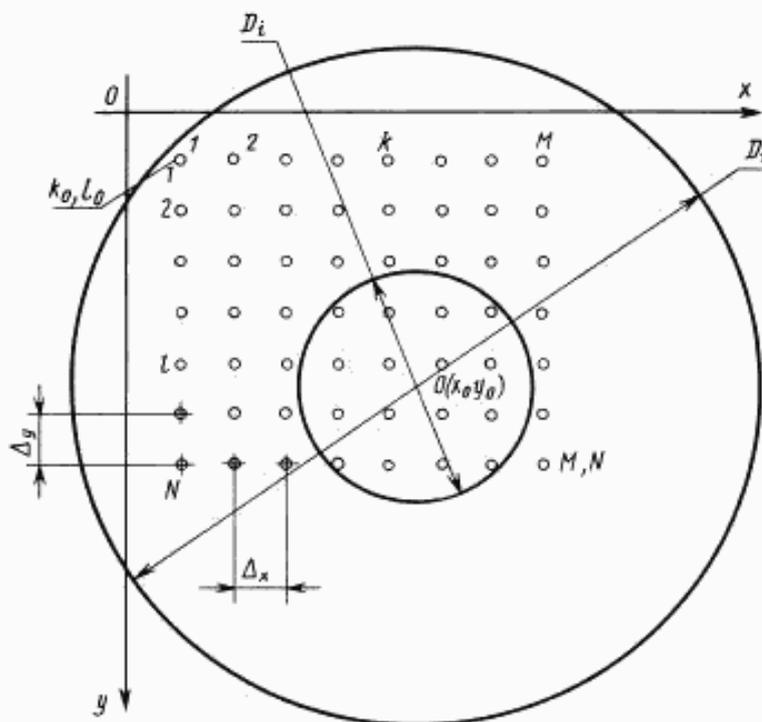
$M, N$  — количество точек в сечении пучка по строке и столбцу матрицы значений соответственно.

1.2.3.3. Координаты энергетического центра  $O(x_0, y_0)$  ОРПЭ (М) (см. черт. 2) вычисляют по формулам:

$$x_0 = \Delta_x \frac{\sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N (k \beta_{kl})}{\sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N \beta_{kl}}, \quad (4)$$

$$y_0 = \Delta_y \frac{\sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N (l \beta_{kl})}{\sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N \beta_{kl}}. \quad (5)$$

\* Под энергетическим центром ОРПЭ (М) понимают точку в плоскости сечения пучка лазерного излучения, являющуюся центром тяжести распределения плотности энергии (мощности) в соответствующем сечении.

Изображение матрицы значений  $\beta_{kl}$ 

Черт. 2

1.2.3.4. Диаметр  $D_1$  окружности, в которую полностью вписывается матрица значений  $\beta_{kl}$ , вычисляют по формуле

$$D_1 = 2 \sqrt{(k_0 \Delta_x - x_0)^2 + (l_0 \Delta_y - y_0)^2}, \quad (6)$$

где  $k_0 \Delta_x$  и  $l_0 \Delta_y$  — координаты наиболее удаленного от энергетического центра элемента матрицы.

1.2.3.5. Уменьшают диаметр  $D_i$  (где  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) таким образом, чтобы окружность с центром в точке  $O(x_0, y_0)$  охватывала хотя бы на одну измеренную точку меньше, чем окружность диаметром  $D_{i-1}$ .

1.2.3.6. Определяют энергию (мощность)  $z$  лазерного излучения, заключенную в круге диаметром  $D$ , аналогично п. 1.2.3.2.

1.2.3.7. Для каждого  $i$ -го значения диаметра  $D_i$  вычисляют отношение  $\gamma_i$  по формуле

$$\gamma_i = \frac{z_i}{z_1}. \quad (7)$$

1.2.3.8. Определяют диаметр пучка аналогично п. 1.1.3.2.

1.2.3.9. Обработку результатов целесообразно проводить с использованием ЭВМ. Алгоритм определения диаметра пучка приведен в приложении 4.

При радиальной структуре матрицы значений все приведенные в приложении 4 формулы следует преобразовать в полярные координаты  $(r_k, \varphi_l)$ .

1.2.3.10. Погрешность измерения диаметра пучка лазерного излучения находится в интервале  $\pm 25\%$  с установленной вероятностью 0,95. Расчет погрешности измерения приведен в приложении 3.

## 2. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ РАСХОДИМОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

### 2.1. Метод фокального пятна

#### 2.1.1. Аппаратура

2.1.1.1. Схема расположения средств измерений и вспомогательных устройств приведена на черт. 3.

2.1.1.2. Ослабитель должен обеспечивать значение энергии (мощности) лазерного излучения в пределах, установленных в эксплуатационной документации на применяемые средства измерений и вспомогательные устройства.

Погрешность, вносимая ослабителем, должна быть в пределах  $\pm 5\%$ . Если энергия (мощность) лазерного излучения не превышает верхнего предела измерителя, допускается не использовать ослабитель 2.

2.1.1.3. Оптическая система должна фокусировать лазерное излучение. В качестве оптической системы можно использовать линзу, вогнутое зеркало или совокупность их в сочетании с другими оптическими элементами, например отклоняющей пластиной, оптическим клином.

Входная апертура оптической системы должна превышать более чем на 50 % диаметр пучка лазерного излучения, установленный в стандартах или ТУ на лазеры конкретных типов.

Фокусное расстояние оптической системы должно быть таким, чтобы плотность энергии (мощности) лазерного излучения в сечении лазерного пучка, расположенного в фокальной плоскости оптической системы, не превышала предельно допустимого значения для средств измерения энергии (мощности).

Диаметр сечения пучка измеряют с погрешностью, установленной в пп. 1.1.4 и 1.2.3.10.

Погрешность определения фокусного расстояния оптической системы должна быть в пределах  $\pm 10\%$ .

Погрешность, обусловленная абберациями, вносимыми оптической системой, должна быть в пределах  $\pm 5\%$ .

#### 2.1.1.2, 2.1.1.3. (Измененная редакция, Изм. № 1).

#### 2.1.2. Подготовка и проведение измерений

2.1.2.1. Устанавливают средства измерений и вспомогательные устройства и подготавливают их к работе в соответствии с эксплуатационной документацией на них. При этом оптическая ось средств измерений и вспомогательных устройств должна совпадать с направлением распространения лазерного излучения.

В технически обоснованных случаях (например, при использовании в качестве оптической системы вогнутого зеркала) допускается устанавливать оптическую систему так, что ее оптическая ось расположена под углом к направлению распространения лазерного излучения, соответствующим установленному в ТУ на лазеры конкретных типов. Погрешность, вносимая оптической системой, не должна превышать указанной в п. 2.1.1.3.

#### (Измененная редакция, Изм. № 1).

2.1.2.2. Измеряют диаметр  $d_F$  пучка излучения в фокальной плоскости оптической системы по пп. 1.1 или 1.2.

#### 2.1.3. Обработка результатов

2.1.3.1. Энергетическую расходимость лазерного излучения  $\Theta_{W(P)}$  в радианах вычисляют по формуле

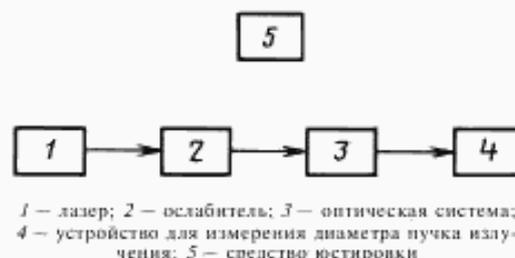
$$\Theta_{W(P)} = d_F / F. \quad (8)$$

#### 2.1.4. Показатели точности измерения

Погрешность измерения энергетической расходимости находится в интервале  $\pm 27\%$  с установленной вероятностью 0,95.

Расчет погрешности измерения приведен в приложении 3.

#### (Измененная редакция, Изм. № 1).



Черт. 3

## 2.2. Метод двух сечений

2.2.1. Метод применим для измерения расходимости пучка лазерного излучения на расстоянии от выходного окна лазера до 1-го сечения большем  $d^2/\lambda$  (где  $d$  — диаметр пучка лазерного излучения, указанный в стандартах или ТУ на лазеры конкретных типов,  $\lambda$  — длина волны лазерного излучения). Расстояние от выходного окна лазера до первого сечения должно соответствовать установленному в стандартах или ТУ на лазеры конкретных типов.

2.2.2. Измеряют по пп. 1.1 или 1.2 диаметры пучка лазерного излучения в двух сечениях, отстоящих друг от друга на расстоянии  $l$ , которое выбирают наибольшим для условий конкретного измерения.

2.2.3. Измеряют расстояние между сечениями. Погрешность измерения расстояния должна быть в пределах  $\pm 3\%$ .

### 2.2.4. Обработка результатов

Энергетическую расходимость лазерного излучения вычисляют в радианах по формуле

$$\Theta_{w(p)} = \frac{d_2 - d_1}{l}, \quad (9)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  — диаметры пучка лазерного излучения в первом и втором сечениях соответственно.

### 2.2.5. Показатели точности измерения

Показатели точности измерения энергетической расходимости лазерного излучения должны соответствовать установленным в стандартах или ТУ на лазеры конкретных типов.

Границы интервала, в котором с установленной вероятностью 0,95 находится погрешность измерения, вычисляют по формуле

$$\delta_{\Theta_{w(p)}} = \pm \delta_d \frac{\sqrt{d_2^2 + d_1^2}}{d_2 - d_1}, \quad (10)$$

где  $\delta_d$  — погрешность измерения диаметра пучка лазерного излучения в процентах.

При этом границы интервала погрешности должны находиться в пределах  $\pm 30\%$  (см. приложение 3).

## РЕКОМЕНДУЕМЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

## Ослабители

Наименование, тип ослабителя	Коэффициент ослабления	Спектральный диапазон, мкм	Допустимая плотность энергии, Дж/см <sup>2</sup>
1. Плоскопараллельная пластина толщиной 1—3 мм, изготовленная из нейтрального стекла марок:		0,35—3,0	1—10 при длительности импульса по уровню 0,5 10 <sup>-5</sup> —10 <sup>-8</sup> с
НС-1	1,43		
НС-2	3,34		
НС-3	10,0		
НС-6	1,25		
НС-7	1,67		
НС-8	3,34		
НС-9	10,0		
НС-10	100,0		
2. Плоскопараллельная пластина из германия или кремния толщиной 2—10 мм	1,67—1,25 1,25	3,0—11,0	
3. Ослабители, основанные на френелевском отражении от поверхности диэлектрика, прозрачного в заданной области спектра:			
- стекло оптическое бесцветное	33,4—10,0	0,35—3,0	10 при длительности импульса по нулевому уровню 10 <sup>-6</sup> —10 <sup>-8</sup> с
- германий	2,0—5,0	2,0—11,0	
- кремний	2,0—5,0	1,15—11,0	
4. Ослабители, основанные на отражении от диффузно рассеивающих поверхностей (молочные стекла, оксид магния, сернистый барий, матированные поверхности металлов)	10000—10	0,35—11,0	

## Ответители

Спектральный диапазон, мкм	Материал	n
0,2—2,5	Плавленый кварц	1,461
0,40—1,2	Стекло К-8	1,514
0,15—16,0	Кристалл ВаF <sub>2</sub>	1,400
0,6—11,0	Кристалл КВr	1,550
1,0—11,0	Кристалл Si	3,450
1,8—20,0	Кристалл Ge	4,000
0,15—6,0	Сапфир Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,700

Примечание. Допускается применять другие средства измерения, метрологические характеристики которых соответствуют требованиям настоящего стандарта.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА  $\alpha$ 

1. Схема расположения средств измерения и вспомогательных устройств и требования к ним должна соответствовать п. 1.1 настоящего стандарта.

2. При измерении коэффициента  $\alpha$  должны быть использованы те же средства измерения и вспомогательные устройства, что и при измерении диаметра пучка методом калиброванных диафрагм.

3. Проводят 10 измерений по п. 1.1.2.5 настоящего стандарта. Результаты измерений заносят в таблицу.

Определяемая величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$z_{1j}$ , Дж (Вт)										
$z'_{1j}$ , Дж (Вт)										
Коэффициент $\alpha_j = z'_{1j}/z_{1j}$										
Среднее значение коэффициента $\bar{\alpha} = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} \alpha_j$										
Относительное среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\alpha} = \frac{1}{3\bar{\alpha}} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} (\alpha_j - \bar{\alpha})^2}{10}}$										

4. Полученный коэффициент  $\bar{\alpha}$  принимают за  $\alpha$  и используют при расчете отношения  $\gamma$  по формуле (1) настоящего стандарта.

## 1. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ДИАМЕТРА ПУЧКА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1.1. Погрешность измерения диаметра пучка лазерного излучения методом калиброванных диафрагм вычисляют по формулам:

- при использовании ответвителя

$$\delta_{d_1} = \pm K_d \sqrt{2 \left[ \left( \frac{a \delta_{\text{сн}}}{K_{\text{сн}}} \right)^2 + \left( \frac{\delta_{\text{осл}}}{K_{\text{осл}}} \right)^2 + \left( \frac{\delta_{\text{отв}}}{K_{\text{отв}}} \right)^2 + \frac{\delta_{D_1}^2 + \delta_{D_2}^2}{K_D^2} + \left( \frac{\delta_{\text{нд}}}{K_{\text{нд}}} \right)^2 \right] + \left( \frac{\delta_{\text{апр}}}{K_{\text{апр}}} \right)^2 + \sigma_\alpha^2}; \quad (1)$$

- при отсутствии ответвителя

$$\delta_{d_2} = \pm K_d \sqrt{2 \left[ \left( \frac{a \delta_{\text{сн}}}{K_{\text{сн}}} \right)^2 + \left( \frac{\delta_{\text{осл}}}{K_{\text{осл}}} \right)^2 + \frac{\delta_{D_1}^2 + \delta_{D_2}^2}{K_D^2} + \left( \frac{\delta_{\text{нм}}}{K_{\text{нм}}} \right)^2 + \left( \frac{\delta_{\text{нд}}}{K_{\text{нд}}} \right)^2 \right] + \left( \frac{\delta_{\text{апр}}}{K_{\text{апр}}} \right)^2}, \quad (2)$$

где  $\delta_{\text{сн}}$  — погрешность средства измерения энергии (мощности) лазерного излучения (находится в пределах  $\pm 18\%$ );

$a$  — коэффициент, обусловленный исключением в процессе измерения систематической составляющей погрешности средства измерения энергии (мощности), так как при измерении  $z_1$  и  $z'_1$  используется один и тот же экземпляр средства измерения, относительная погрешность которого аддитивна ( $a \leq 0,5$ );

$\delta_{\text{осл}}$  — погрешность, вносимая ослабителем (в пределах  $\pm 5\%$ );

$\delta_{\text{отв}}$  — погрешность, вносимая ответвителем (в пределах  $\pm 3\%$ );

$\delta_{D_1}$  — погрешность, обусловленная дифракцией лазерного излучения на краях диафрагмы (в пределах  $\pm 5\%$ );

$\delta_{D_2}$  — погрешность измерения диаметра отверстия диафрагмы (в пределах  $\pm 3\%$ );

$\delta_{\text{нд}}$  — погрешность, обусловленная смещением оси диаграммы направленности в плоскости диафрагмы в процессе измерения (в пределах  $\pm 8\%$ );

$\sigma_\alpha$  — относительное среднее квадратическое отклонение определения  $\alpha$  (в пределах  $\pm 3\%$ ), рассчитывается в соответствии с приложением 2;

$\delta_{\text{апр}}$  — погрешность аппроксимации при построении графической зависимости  $\gamma = f(D)$  (в пределах  $\pm 3\%$ );

$\delta_{\text{нм}}$  — погрешность, обусловленная нестабильностью энергии (мощности) лазерного излучения (в пределах  $\pm 5\%$ );

$K_{\text{сн}}, K_{\text{осл}}, K_{\text{отв}}, K_D, K_{\text{апр}}, K_{\text{нм}}, K_{\text{нд}}$  — коэффициенты, зависящие от закона распределения соответствующих погрешностей измерения и установленной вероятности.

Закон распределения частных погрешностей — равномерный. Предельные значения коэффициентов  $K_{\text{сн}} = K_{\text{осл}} = K_{\text{отв}} = K_D = K_{\text{апр}} = K_{\text{нм}} = K_{\text{нд}} = 1,73$ .

Закон распределения суммарной погрешности — нормальный,  $K = 1,96$  при вероятности 0,95.

$$\delta_{d_1} = \pm 1,96 \sqrt{2 \left[ \left( \frac{0,5 \cdot 18}{1,73} \right)^2 + \left( \frac{5}{1,73} \right)^2 + \left( \frac{3}{1,73} \right)^2 + \frac{5^2 + 1^2}{1,73^2} + \left( \frac{8}{1,73} \right)^2 \right] + 3^2 + \left( \frac{3}{1,73} \right)^2}, \quad \delta_{d_1} = \pm 23\%.$$

$$\delta_{d_2} = \pm 1,96 \sqrt{2 \left[ \left( \frac{0,5 \cdot 18}{1,73} \right)^2 + \left( \frac{5}{1,73} \right)^2 + \frac{5^2 + 1^2}{1,73^2} + \left( \frac{5}{1,73} \right)^2 + \left( \frac{8}{1,73} \right)^2 \right] + \left( \frac{3}{1,73} \right)^2}, \quad \delta_{d_2} = \pm 24\%.$$

1.2. Погрешность измерения диаметра пучка лазерного излучения методом распределения плотности энергии (мощности) вычисляют по формуле

$$\delta_d = \pm K_d \sqrt{\left( \frac{\delta_{\text{ОРПЭ(М)}}}{K_{\text{ОРПЭ(М)}}} \right)^2 + \left( \frac{\delta_{\text{апр}}}{K_{\text{апр}}} \right)^2}, \quad (3)$$

где  $\delta_{\text{ОРПЭ(М)}}$  — погрешность измерения относительного распределения плотности энергии (мощности) лазерного излучения (в интервале  $\pm 24\%$  с установленной вероятностью 0,95);

$\delta_{\text{апр}}$  — погрешность аппроксимации при построении зависимости  $\gamma = f(D)$  (в пределах  $\pm 3\%$ );

$K_{\text{апр}}, K_d, K_{\text{ОРПЭ(М)}}$  — коэффициенты, зависящие от закона распределения соответствующих погрешностей измерения и установленной вероятности.

В соответствии с ГОСТ 25917 закон распределения  $\delta_{\text{ОРПЭ (М)}}$  — нормальный,  $K_{\text{ОРПЭ (М)}} = 1,96$  для вероятности 0,95.

Закон распределения  $\delta_d$  — нормальный,  $K_d = 1,96$  для вероятности 0,95.

$$\delta_d = \pm 1,96 \sqrt{\left(\frac{24}{1,96}\right)^2 + \left(\frac{3}{1,73}\right)^2};$$

$$\delta_d = \pm 25 \text{ \%}.$$

## 2. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДИМОСТИ ПУЧКА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2.1. Погрешность измерения расходимости лазерного излучения методом фокального пятна вычисляют по формуле

$$\delta_{\Theta_{\text{в.р.}}} = \pm \sqrt{\left(\frac{\delta_d}{K_d}\right)^2 + \left(\frac{\delta_F}{K_F}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{\text{опт}}}{K_{\text{опт}}}\right)^2}, \quad (4)$$

где  $\delta_d$  — погрешность измерения диаметра пучка лазерного излучения (в интервале  $\pm 25 \text{ \%}$  с установленной вероятностью 0,95);

$\delta_{\text{опт}}$  — погрешность, вносимая аберрацией оптической системы (в пределах  $\pm 5 \text{ \%}$ );

$\delta_F$  — погрешность определения фокусного расстояния оптической системы (в пределах  $\pm 10 \text{ \%}$ );

$K_{\Theta_{\text{в.р.}}}$ ,  $K_d$ ,  $K_F$ ,  $K_{\text{опт}}$  — коэффициенты, зависящие от закона распределения соответствующих погрешностей измерения и установленной вероятности.

Закон распределения  $\delta_{\Theta_{\text{в.р.}}}$  и  $\delta_d$  — нормальный,  $K_{\Theta_{\text{в.р.}}} = K_d = 1,96$  для вероятности 0,95.

Закон распределения  $\delta_F$ ,  $\delta_{\text{опт}}$  — равномерный, предельное значение  $K_F = K_{\text{опт}} = 1,73$ .

$$\delta_{\Theta_{\text{в.р.}}} = \pm 1,96 \sqrt{\left(\frac{25}{1,96}\right)^2 + \left(\frac{10}{1,73}\right)^2 + \left(\frac{5}{1,73}\right)^2};$$

$$\delta_{\Theta_{\text{в.р.}}} = \pm 27 \text{ \%}.$$

(Измененная редакция, Изм. № 1).

2.2. Погрешность измерения расходимости лазерного излучения методом двух сечений определяют по формуле

$$\delta_{\Theta_{\text{в.р.}}} = \pm K_{\Theta_{\text{в.р.}}} \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2}{(d_2^2 - d_1^2)^2} \left(\frac{\delta_d}{K_d}\right)^2 + \left(\frac{\delta_1}{1,73}\right)^2}, \quad (5)$$

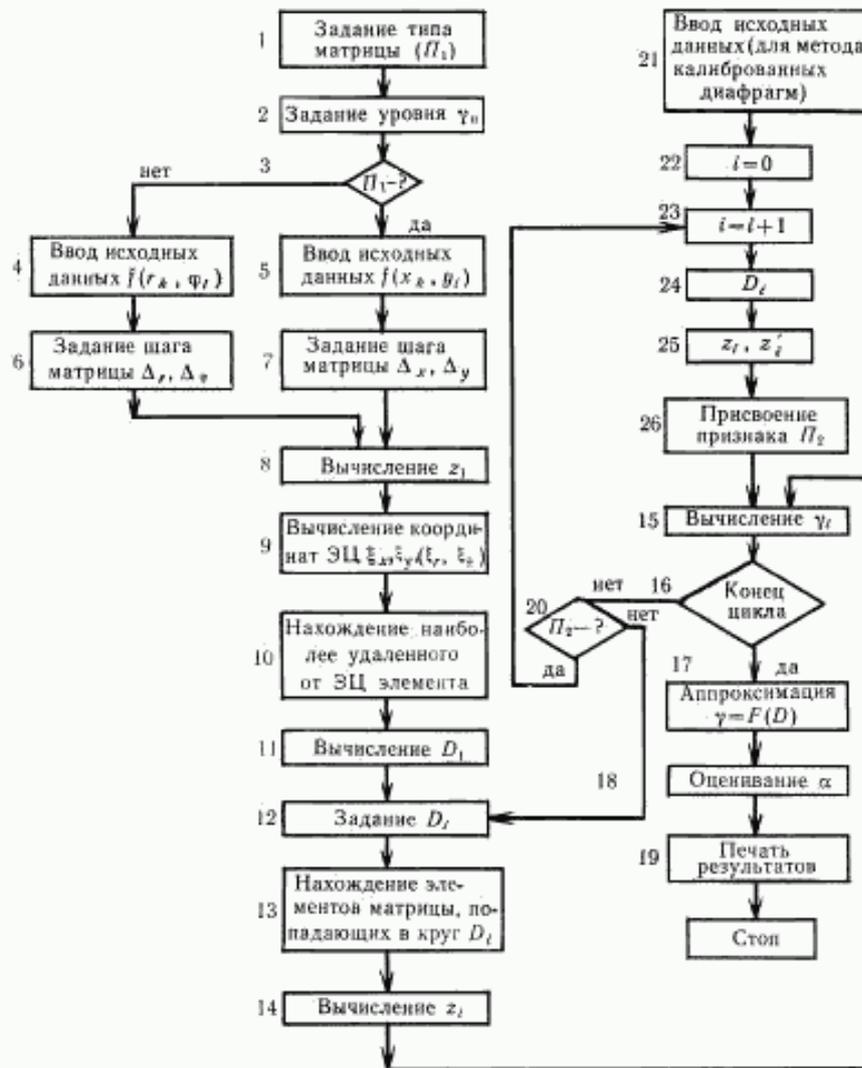
где  $\delta_1$  — погрешность измерения расстояния между сечениями (в пределах  $\pm 1 \text{ \%}$ ).

Вторым слагаемым в подкоренном выражении формулы (5) можно пренебречь, так как оно много меньше первого слагаемого. Учитывая, что  $K_{\Theta} = K_d$ , получим

$$\delta_{\Theta_{\text{в.р.}}} = \pm \frac{\sqrt{d_1^2 + d_2^2}}{d_2 - d_1} \cdot \delta_d.$$

## ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАМЕТРА ПУЧКА МЕТОДОМ КАЛИБРОВАННЫХ ДИАФРАГМ И МЕТОДОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ (МОЩНОСТИ)

1. Блок-схема алгоритма приведена на чертеже.



В блоках 1—7 осуществляется ввод исходной информации.

При вводе исходных данных и при вычислениях необходимо учитывать, что структура матрицы может быть прямоугольной или радиальной.

В блоке 1 задают признак типа структуры матрицы ( $P_1$ ). Ниже приведены формулы для прямоугольной структуры. В случае радиальной структуры все приведенные формулы следует преобразовать в полярные координаты  $(r_k, \varphi_k)$ .

В блоках 8—9 вычисляют значения величин по формулам, приведенным в пп. 1.2.3.1—1.2.3.3 настоящего стандарта. Координаты энергетического центра (ЭЦ) вычисляют в относительных единицах:

$$\xi_x = x_0 / \Delta_x, \quad (1)$$

$$\xi_y = y_0 / \Delta_y. \quad (2)$$

При выполнении блоков 10–11 находят минимальный диаметр круга с центром в точке  $O$  и покрывающего площадь матрицы

$$D_1 = \sqrt{(k_0 - \alpha_x)^2 + (l_0 - \alpha_y)^2}, \quad (3)$$

где  $k_0$  и  $l_0$  — координаты наиболее удаленного от ЭЦ элемента матрицы.

Далее с помощью блоков 12–16 в цикле выполняют массив значений  $\gamma_i$  для различных  $D_i$ .

На основании полученных значений  $\gamma_i$  с помощью аппроксимации оценивают диаметр  $D_\gamma$  по заданному уровню  $\gamma$  (блоки 17, 18).

2. При обработке результатов измерений диаметра пучка методом калиброванных диафрагм используют тот же алгоритм, но пуск осуществляют с блока 21. Вычисление  $\gamma_i$  проводят в цикле с помощью блоков 23–26, 15, 16, 20. Далее оценивают  $D_\gamma$  (блоки 17 и 18).

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Государственным комитетом СССР по стандартам
2. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27.01.84 № 361
3. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ
4. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер пункта, приложения
ГОСТ 24714—81	Вводная часть
ГОСТ 25212—82	1.1.1.7
ГОСТ 25786—83	1.1.1.7
ГОСТ 25917—83	1.2.2, приложение 3

5. ИЗДАНИЕ (декабрь 2001 г.) с Изменением № 1, утвержденным в ноябре 1987 г. (ИУС 2—88)

Редактор *В.П. Огурцов*  
Технический редактор *О.Н. Власова*  
Корректор *В.С. Черняк*  
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Изд. лиц. № 02354 от 14.07.2000. Сдано в набор 28.12.2001. Подписано в печать 31.01.2002. Усл. печ. л. 1,86.  
Уч.-изд. л. 1,15. Тираж 136 экз. С 3788. Зак. 102.

---

ИПК Издательство стандартов, 107076 Москва, Колодезный пер., 14.  
<http://www.standards.ru> e-mail: [info@standards.ru](mailto:info@standards.ru)

Набрано в Издательстве на ПЭВМ

Филиал ИПК Издательство стандартов — тип. "Московский печатник", 103062 Москва, Лялин пер., 6.  
Плр № 080102