ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 13694— 2010

ОПТИКА И ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ЛАЗЕРЫ И ЛАЗЕРНЫЕ УСТАНОВКИ (СИСТЕМЫ)

Методы измерений распределения плотности мощности (энергии) лазерного пучка

ISO 13694:2000
Optics and optical instruments — Laser and laser-related equipment — Test methods for laser beam power [energy] density distribution
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2011

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» (ФГУП «ВНИИОФИ») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Управлением метрологии Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 ноября 2010 г. № 766-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 13694:2000 «Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений распределения плотности мощности (энергии) лазерного пучка» (ISO 13694:2000 «Optics and optical instruments — Laser and laser-related equipment — Test methods for laser beam power [energy] density distribution»).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации, сведения о которых приведены в справочном приложении А

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2011

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины и определения . . . 1
4 Система координат . . . 5
5 Параметры распределения, полученные по результатам измерений . . . 5
6 Процедуры аппроксимации результатов измерений . . . 5
7 Методика измерений . . . 6
8 Подготовка к проведению измерений, выбор измерительной аппаратуры и вспомогательных измерительных принадлежностей . . . 6
8.1 Методические указания . . . 6
8.2 Подготовка . . . 6
8.3 Обеспечение нормальных условий измерений . . . 7
8.4 Приемно-усилительные устройства . . . 7
8.5 Оптическая система формирования пучка, ослабления и деления интенсивности излучения . . . 7
9 Выполнение измерений . . . 8
9.1 Подготовка измерительной установки . . . 8
9.2 Калибровка приемно-усилительного устройства . . . 8
9.3 Регистрация данных и коррекция шумов (фона) . . . 9
10 Обработка результатов измерений . . . 10
10.1 Выбор и оптимизация пределов интегрирования . . . 10
10.2 Контроль и оптимизация коррекции влияния шумов (фона) . . . 10
11 Протокол измерений . . . 11
Приложение А (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации . . . 13

Предисловие к международному стандарту ИСО 13694:2000 «Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений распределения плотности мощности (энергии) лазерного пучка»

ИСО (Международная организация по стандартизации) — Всемирная федерация национальных органов по стандартизации (членов ассоциации). Разработкой международных стандартов обычно занимаются технические комитеты. Каждый член ассоциации, заинтересованный в тематике, для которой создан технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные правительственные и неправительственные организации, связанные с ИСО, также принимают участие в работе. ИСО тесно сотрудничает с Международной электротехнической комиссией (МЭК) по всем вопросам электротехнической стандартизации в области электротехники.

Проекты международных стандартов разрабатывают в соответствии с правилами, изложенными в Директивах ИСО/МЭК, часть 2.

Проекты международных стандартов, принятые техническими комитетами, рассылают членам ассоциации для голосования. Публикация в качестве международного стандарта требует одобрения по крайней мере 75 % членов ассоциации, принявших участие в голосовании.

В подтверждение согласия с фактами возможного использования в данном стандарте патентов и необходимости коррекции рисунка 1 все утверждения и ссылки в тексте, относящиеся к определению и установлению границ применимости понятия «тонкая аппроксимация», следует исключить во избежание неточностей и возникновения возможной путаницы.

Международный стандарт ИСО 13694 подготовлен подкомитетом ПК 9 «Электрооптические системы» Технического комитета ИСО/ТК 172 «Оптика и фотоника».

Введение
к международному стандарту ИСО 13694:2000 «Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений распределения плотности мощности (энергии) лазерного пучка»

Многие применения лазеров основаны на использовании данных о распределении плотности мощности (энергии) в поперечном сечении пучка как в ближней, так и в дальней зонах*. Распределение плотности мощности (энергии) лазерного пучка характеризуют пространственным распределением плотности излучаемой мощности (энергии), получаемым экспериментально при поперечном смещении в выделенной плоскости, перпендикулярной направлению распространения излучения. В общем случае распределение плотности мощности (энергии) пучка изменяется вдоль направления распространения. В зависимости от мощности (энергии), размера, длины волны, поляризации и когерентности пучка в различных ситуациях применяют разные методы измерений. Обычно используют пять методов с применением: линейки или двумерной матрицы с электронной камерой регистрации ее выходных сигналов; варьируемой диафрагмы; сканирующего пинхола; движущегося резкого края (секущего ножа или ножа Фуко); перемещаемой щели.

Международный стандарт устанавливает как определения терминов и обозначений, используемых для описания распределения плотности мощности, так и требования к методикам и средствам выполнения этих измерений. Для импульсных лазеров наиболее часто измеряемой величиной является распределение интегрированной во времени плотности мощности (т. е. плотности энергии).

В соответствии с ИСО 11145 можно использовать два разных определения для описания и измерения диаметра лазерного пучка. Одно определение основано на измерениях доли мощности (энергии), заключенной в круглом сечении пучка; второе — на определении пространственных моментов распределения плотности мощности (энергии) лазерного пучка.

Использование пространственных моментов необходимо для вычисления коэффициента распространения пучка K (или $M^2 = \frac{1}{K}$) по результатам измерений ширин пучка в его сечениях на различных расстояниях вдоль оси распространения излучения. ИСО 11146 описывает эту методику измерений. Для других применений могут быть использованы иные определения диаметра пучка. Для некоторых величин, используемых в настоящем международном стандарте, первое определение (основанное на мощности (энергии), заключенной в круге с данным диаметром) является более подходящим для применения.

Международная организация по стандартизации (ИСО) обращает внимание на то обстоятельство, что данный документ может включать в себя сведения об использовании патентов, содержащих оценки уровней отрицательного фонового шума при получении изображений измеряемых распределений ПЗС-камерой, как описано в 9.3.2.

ИСО не дает никаких заключений относительно достоверности, подтверждения, компетентности этих патентных прав.

Владелец патентного права (US № 5,418,562 и 5,440,562 и PCT WO 94/27401) заверил ИСО, что он заключит лицензионные соглашения на разумные и приемлемые сроки и условия с желающими во всем мире. Это заявление владельца данного патента подтверждено и заверено с ИСО. Информацию можно получить по адресу:

Spiricon Ins.
Laser Beam Diagnostics
2600 North Main
Logan, UT 84341
USA.

Следует обратить внимание на возможность того, что некоторые части настоящего стандарта могут быть предметом патентирования другими лицами, которые не указаны выше. ИСО не несет ответственности за любые подобные договоры или патенты.

---

* В настоящем международном стандарте ближнюю зону определяют как поле излучения лазера на расстоянии z от места перетяжки пучка, которое меньше расстояния Рэлея z_R. Дальнюю зону определяют в соответствии с ИСО 11145.

Введение
к национальному стандарту Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 13694—2010 «Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений распределения плотности мощности (энергии) лазерного пучка»

Целью настоящего стандарта является прямое применение в Российской Федерации международного стандарта ИСО 13694:2000 «Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений распределения плотности мощности (энергии) лазерного пучка» как основы для изготовления и поставки на экспорт объекта стандартизации по договорам (контрактам).

ГОСТ Р ИСО 13694—2010 представляет собой полный аутентичный текст ИСО 13694:2000.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ОПТИКА И ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ЛАЗЕРЫ И ЛАЗЕРНЫЕ УСТАНОВКИ (СИСТЕМЫ)

Методы измерений распределения плотности мощности (энергии) лазерного пучка

Optics and optical instruments. Laser and laser-related equipment. Test methods for laser beam power (energy) density distribution

Дата введения — 2011—10—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на методики измерений распределения плотности мощности (энергии) в поперечном сечении пучка лазерного излучения. В стандарте приведены определения параметров, характеризующих пространственные свойства функций распределения плотности мощности (энергии) лазерного излучения в поперечном сечении пучка в любой точке вдоль линии его распространения.

2 Нормативные ссылки

Следующие нормативные документы содержат положения, которые через ссылки в настоящем тексте составляют положения настоящего стандарта. Для датированных ссылок последующие поправки или пересмотры любой из этих публикаций неприменимы. Однако сторонам соглашений, основанных на настоящем стандарте, рекомендуется изучить возможность применения самых последних изданий нормативных документов, указанных ниже. Для ссылки без даты следует применять последнее издание упомянутого нормативного документа. Члены ИСО и МЭК ведут перечни действующих международных стандартов.

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ИСО 11145:1994 Оптика и оптические приборы. Лазеры и относящееся к лазерам оборудование. Словарь и обозначения

ИСО 11146:1999 Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений параметров лазерного пучка. Ширины, углы расходимости и коэффициенты распространения лазерных пучков

ИСО 11554:1998 Оптика и фотоника. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы испытаний лазеров и измерений мощности, энергии и временных характеристик лазерного пучка

МЭК 61040:1990 Измерительные преобразователи, приборы и установки для измерений лазерного излучения

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 11145, МЭК 61040, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 измеряемые величины

3.1.1 **плотность мощности** $E(x, y, z)$: Часть мощности в сечении пучка с координатой z, которая падает на поверхность площадью δA вместе с координатами x, y, деленная на площадь δA.

3.1.2 **плотность энергии** $H(x, y, z)$ (импульсный режим излучения лазера): Часть энергии (интегрированной по времени мощности) в сечении пучка с координатой z, которая падает на поверхность площадью δA вместе с координатами x, y, деленная на площадь δA

$$H(x, y, z) = \int E(x, y, z)dt.$$

Издание официальное

3.1.3 **мощность** $P(z)$: Мощность непрерывного лазерного излучения в сечении пучка с координатой z

$$P(z) = \int\int E(x, y, z)dxdy.$$

3.1.4 **энергия импульса** $Q(z)$: Энергия импульсного лазерного излучения в сечении пучка с координатой z

$$Q(z) = \int\int H(x, y, z)dxdy.$$

3.1.5 **максимальная плотность мощности (энергии)** $E_{max}(z)$ $[H_{max}(z)]$: Максимальное значение функции $E(x, y, z)$ $[H(x, y, z)]$ пространственного распределения плотности мощности (энергии) в сечении пучка с координатой z.

3.1.6 **координата максимума** (x_{max}, y_{max}, z): Координата z точки на оси распространения пучка, где расположено сечение с $E_{max}(z)$ или $H_{max}(z)$ в плоскости xy.

Примечание — Координаты (x_{max}, y_{max}, z) могут быть определены неоднозначно, если измерения проводят с приемниками излучения, имеющими недостаточно высокое пространственное разрешение и относительно малый диапазон измерений.

3.1.7 **пороговая плотность мощности (энергии)** $E_{\eta T}(z)$ $[H_{\eta T}(z)]$: Плотность мощности (энергии), составляющая часть η от максимальной плотности мощности (энергии) в сечении пучка с координатой z:

$E_{\eta T}(z) = \eta E_{max}(z)$ — для непрерывного излучения;

$H_{\eta T}(z) = \eta H_{max}(z)$ — для импульсного излучения;

$0 \le \eta < 1$.

Примечание — Обычно значение η выбирают таким, чтобы $E_{\eta T}$ или $H_{\eta T}$ были чуть больше, чем влияющие на характеристику преобразования приемника излучения максимальные пучки фонового шума во время измерений. В 9.3 описаны методы вычитания фонового шума, используемые для определения нулевого уровня приемно-усилительного устройства. Такие факторы, как применение лазера, тип распределения плотности мощности (энергии), чувствительность приемно-усилительного устройства, линейность его характеристики преобразования и ее нулевая линия, уровень смещения и т. п., также могут влиять на выбор η.

3.2 параметры распределения плотности мощности (энергии)

3.2.1 **эффективная мощность (энергия)** $P_\eta(z)[Q_\eta(z)]$: $P_\eta(z)[Q_\eta(z)]$ оценивают суммированием только по тем участкам сечения с координатами (x, y), для которых $E(x, y) > E_{\eta T}[H(x, y) > H_{\eta T}]$.

3.2.2 **частичная мощность (энергия)** $f_\eta(z)$: Доля эффективной мощности (энергии) для заданного η от полной мощности (энергии) в пространственном распределении в сечении пучка с координатой z:

$f_\eta(z) = \dfrac{P_\eta(z)}{P(z)}$ — для непрерывного излучения;

$f_\eta(z) = \dfrac{Q_\eta(z)}{Q(z)}$ — для импульсного излучения;

$0 \le f_\eta(z) < 1$.

3.2.3 **центр тяжести, координаты центроида** $(\bar{x}, \bar{y})$: Первые линейные моменты в сечении пучка с координатой z.

Примечание — Более детальное определение приведено в ИСО 11145.

3.2.4 **ширины пучка** $d_{\sigma x}(z)$, $d_{\sigma y}(z)$: Ширины $d_{\sigma x}(z)$ и $d_{\sigma y}(z)$ пучка в поперечных направлениях x и y при продольной координате z, равные учетверенному квадратному корню из вторых линейных моментов распределения плотности мощности (энергии) относительно центроида.

Примечания

1 Более детальные определения приведены в ИСО 11145 и ИСО 11146.

2 Положения ИСО 11146 справедливы применительно к определениям и измерениям:

1) второго момента ширин пучка $d_{\sigma x}$ и $d_{\sigma y}$;

2) ширин пучка $d_{x, u}$ и $d_{y, u}$, определяемых как наименьшая ширина щели, которая в центре пучка пропускает u процентов полной мощности (энергии) (обычно $u = 86{,}5$);

3) с использованием сканирующей щели ширин пучка $d_{x, u}$ и $d_{y, u}$, рассматриваемых как расстояние между положениями, где плотность пропущенной плотности мощности уменьшается до $0{,}135E_p$;

4) ширин пучка $d_{x, k}$ и $d_{y, k}$, определяемых как расстояние между положениями затемнения при движении резкого края, при которых затемнение равно $0{,}84P$ и $0{,}16P$;

5) корреляционных зависимостей, устанавливающих соотношения между приводимыми различными определениями и методиками измерений ширин.

3.2.5 **эллиптичность пучка (эксцентриситет)** $\xi(z)$ [$e(z)$]: Параметр для количественной оценки близости распределения в сечении с координатой z к площади круга или квадрата, описываемый формулами:

эллиптичность пучка $\xi(z) = \frac{d_{\sigma y}}{d_{\sigma x}}$;

эксцентриситет пучка $e(z) = \frac{\sqrt{d_{\sigma x}^2 - d_{\sigma y}^2}}{d_{\sigma x}} = \sqrt{1 - \left(\frac{d_{\sigma y}}{d_{\sigma x}}\right)^2} = \sqrt{1 - \xi^2(z)}$,

где направление x выбирают вдоль главной оси распределения, так что $d_{\sigma x} > d_{\sigma y}$.

Примечание — Если $e \le 0{,}5$ или $\xi \ge 0{,}87$, то циркулярно-симметричные распределения можно рассматривать как круглые, а прямоугольного типа — как квадратные.

3.2.6 **площадь поперечного сечения пучка** $A_\sigma(z)$:

$A_\sigma = \pi d_\sigma^2/4$ — для пучка с круглым поперечным сечением;

$A_\sigma = \pi/4 d_{\sigma x} d_{\sigma y}$ — для пучка с эллиптическим поперечным сечением.

3.2.7 **эффективная площадь облучения** $A_\eta^i(z)$: Площадь облучения в сечении пучка с координатой z, для которой плотность мощности (энергии) превышает пороговую плотность мощности (энергии).

Примечания

1 Параметр распространяется не на любые формы распределения. Например, для распределения типа полого кольца площадь эффективного облучения не определяют через ширины пучка $d_{\sigma x}$ или $d_{\sigma y}$.

2 См. определение пороговой плотности мощности (энергии) в 3.1.7.

3.2.8 **эффективная средняя плотность мощности (энергии)** $E_\eta(z)$ [$H_\eta(z)$]: Пространственно-усредненное распределение плотности мощности (энергии) в сечении пучка с координатой z, определенное как взвешенное среднее:

$E_\eta(z) = \frac{P_\eta}{A_\eta^i}$ — для непрерывного излучения;

$H_\eta(z) = \frac{Q_\eta}{A_\eta^i}$ — для импульсного излучения.

Примечание — $E_\eta(z)$ и $E_{\eta T}(z)$ (см. 3.1.7) относятся к разным параметрам.

3.2.9 **показатель плоскостности вершины** $F_\eta(z)$: Отношение средней плотности мощности (энергии) к максимальной плотности мощности (энергии) в распределении в сечении пучка с координатой z:

$F_\eta(z) = \frac{E_\eta}{E_{max}}$ — для непрерывного излучения;

$F_\eta(z) = \frac{H_\eta}{H_{max}}$ — для импульсного излучения;

$0 < F_\eta \le 1$.

Примечание — Для распределения плотности мощности (энергии), имеющего идеально плоскую вершину, $F_\eta = 1$.

3.2.10 **однородность распределения плотности мощности (энергии) пучка** $U_\eta(z)$: Нормированное среднеквадратическое отклонение плотности мощности (энергии) от его среднего значения в сечении пучка с координатой z:

$U_\eta = \frac{1}{E_\eta}\sqrt{\frac{1}{A_\eta^i}\int\int [E(x,y) - E_\eta]^2 dxdy}$ — для непрерывного излучения;

$U_\eta = \frac{1}{H_\eta}\sqrt{\frac{1}{A_\eta^i}\int\int [H(x,y) - H_\eta]^2 dxdy}$ — для импульсного излучения.

Примечания

1 $U_\eta = 0$ указывает на полностью однородное распределение, имеющее плоскую вершину и вертикальные края. U_η выражают в долях или процентах.

2 При интегрировании по площади пучка между пороговыми уровнями это определение позволяет количественно оценивать крылья пучков по степени их однородности. Поэтому измерения однородности могут быть выполнены для различных частей полного пучка мощности (энергии) без специфического определения ограничивающей апертуры или отнесения к форме или размеру распределения. Таким образом, используя уравнения, приводимые в определениях 3.2.2 или 3.2.10, можно утверждать, что при использовании значений $\eta = 0{,}385$ % было найдено, что пучок имеет однородность распределения плотности в сечении мощности (энергии) с координатой z, соответствующую среднему квадратическому отклонению от его среднего значения, равному $\pm$ 4,5 % безотносительно к форме распределения, размеру и т. п.

3.2.11 **однородность поверхности плато** $U_p(z)$ (для распределения, имеющего профиль с почти плоской вершиной):

$U_p(z) = \dfrac{\Delta E_{FWHM}}{E_{max}}$ — для непрерывного излучения;

$U_p(z) = \dfrac{\Delta H_{FWHM}}{H_{max}}$ — для импульсного излучения,

где ΔE_{FWHM} [ΔH_{FWHM}] — полная ширина на половине максимума (full-width at half maximum — FWHM) пика вблизи E_{max} [H_{max}] гистограммы плотности мощности (энергии) $N(E_i)$ [$N(H_i)$], т. е. числа положений, определяемых координатами (x, y), при которых регистрируют данную плотность мощности (энергии) E_i [H_i].

Примечание — $0 < U_p(z) < 1$, $U_p(z) \to 0$ по мере того, как распределение становится более плоским на вершине.

3.2.12 **крутизна среза** $s(z)$: Нормированная разность между эффективными площадями облучения $A^i_{0,1}(z)$ и $A^i_{0,9}(z)$ со значениями плотности мощности (энергии) более $0{,}1E_{max}(z)$[$0{,}1H_{max}(z)$] и $0{,}9E_{max}(z)$[$0{,}9H_{max}(z)$] соответственно:

$$s(z) = \frac{A^i_{0,1}(z) - A^i_{0,9}(z)}{A^i_{0,1}(z)},$$

$$0 < s(z) < 1.$$

Примечание — $s(z) \to 0$ по мере того, как распределение плотности мощности (энергии) вдоль координаты x или y становится все более прямоугольным. Параметры E_{max}, E_η, P_η, A^i_η, F_η, U_η и s проиллюстрированы рисунком для однородного распределения плотности мощности по координате x в сечении пучка с координатой z.

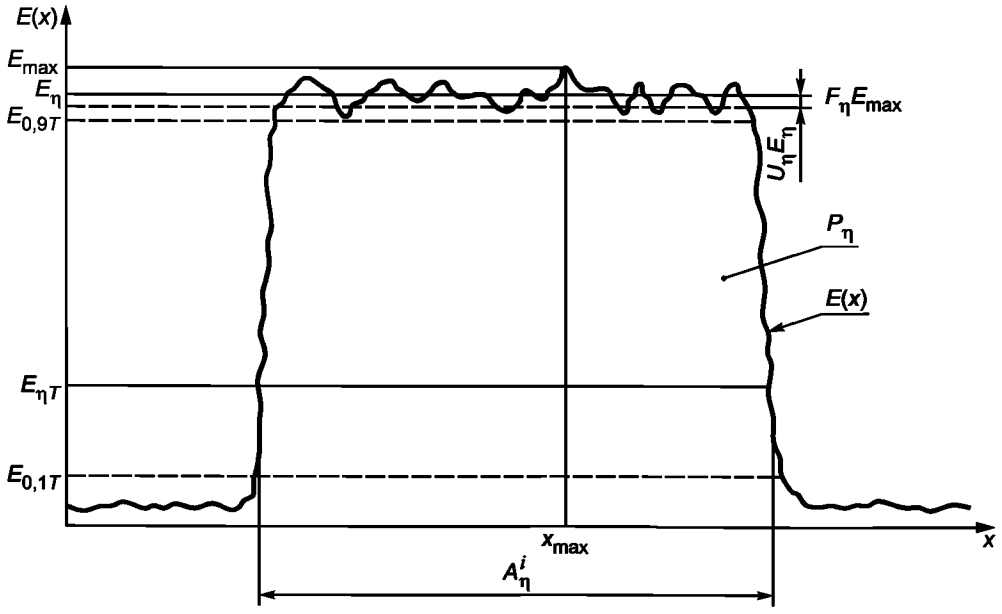

Рисунок 1 — Изображение однородного распределения плотности мощности $E(x)$ в одном определении

3.3 алгоритмы аппроксимации результатов измерений

3.3.1 **грубая аппроксимация** R: Нормированное максимальное отклонение аппроксимированного теоретического распределения от измеренного

$$R = \frac{\left|E_{ij} - E_{ij}^{f}\right|_{\max}}{E_{\max}},$$

где E^f — аппроксимированное теоретическое распределение;

$$0 \le R \le 1.$$

Примечание — По мере того, как $R \to 0$, качество аппроксимации повышается.

4 Система координат

Декартовы координаты x, y, z определяют ортогональные направления в пространстве, связанные с системой осей пучка. Оси x и y перпендикулярны оси пучка и связаны с поперечной плоскостью (сечением) пучка. Излучение распространяется вдоль оси z. Начало оси z совпадает с опорной плоскостью x—y и определяется производителем лазера (например, передняя плоскость его корпуса). Для эллиптических пучков главные оси распределения совпадают с осями x и y соответственно. В случаях, когда главные оси распределения повернуты относительно лабораторной системы координат, применяют указания ИСО 11146, регламентирующие поворот на азимутальный угол φ в лабораторной системе координат.

5 Параметры распределения, полученные по результатам измерений

В определениях, приведенных в 3.2.1—3.2.12, интегралы должны быть вычислены по всем сечениям (x, y), для которых $E(x, y) > E_{\eta T}$ или $H(x, y) > H_{\eta T}$. Эта процедура ограничения пределов интегрирования в интегралах отличается от методики измерений с ограничением апертурной диафрагмой 99 % мощности (энергии), используемой для вычисления ширин пучка методом второго момента, регламентируемого ИСО 11146. Перед использованием порога ограничения необходимо применить соответствующее вычитание фона из измеренного сигнала. В соответствии с примечанием к 3.1.7 обычно значение η выбирают таким, чтобы $E_{\eta T}$ или $H_{\eta T}$ слегка превышало пучки фонового шума приемно-усилительного устройства во время измерений.

Примечание — Поскольку на практике лазерные пучки имеют конечные размеры поперечных сечений, а приемники излучений, преобразующие пространственное распределение плотности мощности, обладают конечным пространственным разрешением, то определения, используемые для вычислений в настоящем стандарте, должны содержать дискретные конечные суммы, а не интегралы. Определенные интегралы используют, потому что они более компактны по сравнению с суммами, что является общей практикой при решении подобных вопросов. Информация по практическому выбору пределов интегрирования содержится в 10.1.

6 Процедуры аппроксимации результатов измерений

Для сравнения теоретического и измеренного распределений предпочтителен следующий подход по сравнению с методом наименьших квадратов*. При измерениях фиксируют пять параметров: координаты центроида (x, y), ширины пучка $d_{\sigma x}$ и $d_{\sigma y}$ и полную мощность (энергию) $P(Q)$ пучка. Эти параметры затем используют в качестве наилучшей оценки для положения центра, стандартного отклонения и нормировки (площадь под кривой) относительно теоретического распределения $E^f(x, y)$.

В качестве примеров для аппроксимации могут использоваться следующие функции:

$$E^f(x, y) = E_0^f e^{-\frac{1}{2} r^{2n}},$$

где $E_0^f = \dfrac{16 n^2 P}{2^{\frac{1}{n}} \Gamma^2\left(\dfrac{1}{2n}\right) d_{\sigma x} d_{\sigma y}}$ и $r^{2n} = \left[\left\{\dfrac{4(x-\bar{x})}{d_{\sigma x}}\right\}^2 + \left\{\dfrac{4(y-\bar{y})}{d_{\sigma y}}\right\}^2\right]^n$,

* Аппроксимация методом наименьших квадратов придает равные веса всем участкам распределения. Для многих распределений равное взвешивание для крыльев и центральной части не совсем подходит.

гауссова: когда $n = 1$, так что $E_0^f = \frac{8P}{\pi d_{\sigma x} d_{\sigma y}}$;

супергауссова: когда $n = 2, 3, \ldots$;

донат и супердонат: $E^f(x, y) = E_0^f r^{2n} e^{-\frac{1}{2}r^{2n}}$;

однородная (плоская вершина, цилиндрическая или прямоугольная):

$E^f(x, y) = \frac{P}{A_\eta^i}$ — для координат (x, y), в которых $E(x, y) > E_T$;

$E(x, y) = 0$ — во всех остальных частях распределения.

Для аппроксимации однородных распределений следует использовать значение A_η^i, полученное для измеренного распределения.

Поперечные сечения измеренных распределений следует аппроксимировать с использованием одномерных форм этих теоретических распределений. При этом должны быть зафиксированы линейные и азимутальные координаты этих поперечных сечений пучка.

7 Методика измерений

В первую очередь измеряют распределение плотности мощности (энергии) $E(x, y)$ $[H(x, y)]$ в сечении с координатой z путем размещения приемника излучения с достаточно высоким пространственным разрешением непосредственно в пучке. Чувствительную площадку приемника помещают непосредственно в сечении с координатой z нормально к направлению распространения излучения или используют подходящую оптическую систему, проецирующую изображение плоскости в сечении с координатой z на поверхность приемника. При этом необходимо, чтобы измеряемое распределение плотности мощности (энергии) было стационарным. Для излучения лазеров с временными флуктуациями следует использовать усредненную плотность мощности (энергии). После проведения измерений на основе определений, приведенных в 3.2, вычисляют параметры, характеризующие распределение плотности мощности (энергии) излучения.

8 Подготовка к проведению измерений, выбор измерительной аппаратуры и вспомогательных измерительных принадлежностей

8.1 Методические указания

Для измерений распределения плотности мощности (энергии) лазерных пучков могут быть использованы любые устройства, обеспечивающие высокое пространственное разрешение и широкий рабочий диапазон.

Методики, обычно применяемые для измерений пространственного распределения плотности мощности лазерного пучка, включают в себя использование одномерного (линейка) и двумерного (матрица) измерительных преобразователей с электронной схемой обработки их выходных сигналов, сканирование пинхолом по одной и двум осям, сканирование по одной оси щелью или резким краем, пропускание излучения сквозь варьируемые апертуры (измерения мощности в «ковше»), а также двумерную денситометрию путем отражения, флуоресценции, фосфоресценции и экспонирования пленки.

8.2 Подготовка

Оптические оси лазерного пучка и измерительной системы должны быть коаксиальны. Для этого необходимо обеспечить возможность соответствующей юстировки элементов оптического тракта. Следует убедиться, что любые вариации направленности пучка во время проведения измерений не влияют на точность получаемых результатов.

Оптические элементы: делители пучка, ослабители, линзы или объективы — должны быть установлены так, чтобы оптические оси проходили через их центры. Следует избегать систематических погрешностей. Отражения, внешние засветки, тепловое излучение или конвективные потоки являются потенциальными источниками погрешностей.

Поле зрения оптической системы должно полностью включать в себя поперечное сечение лазерного пучка. Ограничение сечения пучка за счет дифракционных потерь не должно превышать 1 % полной мощности или энергии.

После того как начальные приготовления закончены, необходимо оценить полноту попадания лазерного пучка на поверхность приемника. Для этого в пучок перед каждым оптическим компонентом, а

также перед самим приемником излучения вводят апертуры разных диаметров. Апертура, которая уменьшает мощность лазерного пучка на 5 %, должна иметь диаметр, составляющий 0,8 от диаметра апертуры оптического компонента.

8.3 Обеспечение нормальных условий измерений

Должны быть предприняты соответствующие меры: механическая и акустическая защита установки, экранирование лаборатории от воздействия внешнего излучения, температурная стабилизация лаборатории, использование малошумящих усилителей — для того, чтобы обеспечить низкий уровень дополнительных погрешностей результата измерений.

Следует убедиться в отсутствии в атмосфере лаборатории газов или паров, способных поглощать лазерное излучение и тем самым искажать результаты измерений параметров высокоинтенсивных пучков.

8.4 Приемно-усилительные устройства

Измерения параметров распределения плотности мощности (энергии) требуют использования измерителей мощности (энергии), имеющих высокое пространственное разрешение приемника излучения на длине волны излучения лазера. Точность измерений непосредственно связана с пространственным разрешением приемно-усилительной системы и отношением сигнал — шум. При этом особое внимание следует уделить ряду специфических особенностей измерений параметров распределения плотности мощности:

- порог насыщения, отношение сигнал — шум и линейность характеристики преобразования приемно-усилительного устройства должны быть определены из сертификата производителя или путем проведения измерений на длине волны лазерного излучения. Любая спектральная зависимость, нелинейность или неравномерность распределения чувствительности по приемной поверхности приемника излучения локально или по апертуре должны быть минимизированы или скорректированы посредством калибровки;
- рабочий диапазон приемника излучения должен быть не менее 100:1;
- для обеспечения приемлемого пространственного разрешения желательно, чтобы матрица приемника излучения содержала не менее 2500 пикселей;
- следует убедиться в том, что плотность мощности (энергии) не превышает пороговых значений при данных длине волны и длительности импульса, грозящих разрушением чувствительной площадки приемника излучения;
- регламентируемые ИСО 11146 для измерений ширин пучка методики варьируемой диафрагмы, движущегося резкого края (ножа Фуко) и перемещаемой щели пригодны также для измерений распределений плотности интенсивности в любом сечении пучка с координатой z вдоль направления распространения излучения;
- при измерениях распределения плотности мощности сканированием сечения линейкой приемников или одноканальным приемником с пинхолом необходимо обеспечить на все время выполнения измерений пространственную и временную стабильности пучка;
- при измерениях распределения плотности энергии в сечении пучка импульсного лазера необходимо обеспечить стабильность измеряемых параметров в течение интервала как непосредственно дискретизации (стробирования), так и задержки срабатывания схемы запуска, причем оба эти параметра должны быть внесены в протокол измерений.

8.5 Оптическая система формирования пучка, ослабления и деления интенсивности излучения

Если площадь поперечного сечения пучка превышает площадь чувствительной поверхности приемника излучения, необходимо использовать подходящую оптическую систему для уменьшения площади сечения пучка, вписываемой в площадь чувствительной поверхности. Изменение увеличения оптической системы должно быть учтено при обработке результатов измерений.

Характеристики безаберрационных оптических элементов должны соответствовать выбранной длине волны. Для уменьшения плотности мощности (энергии) на чувствительной поверхности приемника излучения допускается применение ослабителей оптического излучения — в тех случаях, когда возможны превышение рабочего (линейного) диапазона приемника или близость к порогу разрушения его чувствительной поверхности. Любые зависимости характеристик ослабителя от длины волны, поляризации, угла падения излучения, а также нелинейность характеристики преобразования или неравномерность распределения чувствительности по поверхности приемного элемента должны быть скорректированы при калибровке приемно-усилительного устройства.

Ни один из элементов оптической системы не должен оказывать заметного влияния на относительное распределение плотности мощности (энергии) в сечении пучка. При проецировании сечения пучка на чувствительную площадку приемника излучения оптической системой следует при обработке результатов измерений учитывать вносимое ею увеличение или уменьшение изображения.

Следует уделить внимание устранению влияния на результаты измерений таких эффектов, как отражение или рассеяние стороннего излучения внешними объектами, а также явлений интерференции, если они влияют на определяемые распределения мощности (энергии) лазерного излучения. Например, при использовании матричных приемников такие ложные эффекты могут возникать при наличии входного окна. В этом случае следует либо применять противоотражающее покрытие, либо избавиться от входного окна.

9 Выполнение измерений

9.1 Подготовка измерительной установки

Если отсутствуют специальные указания в сертификате производителя, то лазер и приемно-усилительное устройство перед началом измерений должны быть прогреты в течение 1 ч. Условия эксплуатации лазера должны соответствовать указываемым его производителем.

При согласовании диапазона выходного сигнала приемника излучения и его чувствительности с характеристиками электронной схемы обработки и регистрации измерительной информации уровень фонового излучения должен быть таким, чтобы при полном перекрытии пучка лазерного излучения во всех точках сечения с координатами (x, y) можно было регистрировать шумовой сигнал $E_B(x, y) > 0$ или $H_B(x, y) > 0$.

Во избежание взаимной компенсации положительных и отрицательных амплитуд шумовых сигналов при вычислении параметров пучка (см. 9.3.2) необходимо исключить подавление приемно-усилительным устройством отрицательных пиков шумового сигнала.

Коэффициент усиления электронной схемы должен обеспечить режим измерений в пределах всего линейного участка рабочего диапазона характеристики преобразования. С помощью ослабителей интенсивности излучения (см. 8.5) регулируют уровень выходного сигнала электронной схемы таким образом, чтобы отношение сигнал — шум было не менее 100:1.

9.2 Калибровка приемно-усилительного устройства

9.2.1 Пространственная калибровка

Пространственную калибровку выполняют путем размещения в сечении с координатой z перпендикулярно направлению распространения пучка диафрагмы с точно измеренным отверстием или любого перекрывающего пучок экрана с известными размерами отверстия и измерения приемно-усилительным устройством его эквивалентного размера. При использовании промежуточной оптической системы для формирования изображения сечения с координатой z на чувствительной площадке приемника излучения размеры преграды на трассе распространения пучка следует выбирать из соображений подавления дифракции, что достигают надлежащим подбором оптической силы и разрешающей способности проецирующей оптической системы. Если чувствительная поверхность приемника излучения расположена непосредственно в сечении с координатой z, то перекрывающая пучок преграда в целях минимизации краевых дифракционных эффектов должна быть в соприкосновении с упомянутой поверхностью.

9.2.2 Энергетическая калибровка

При необходимости измерений абсолютных значений распределения плотности мощности (энергии) энергетическую калибровку следует начать с регистрации произвольного распределения $E'(x, y)$ [или $H'(x, y)$] с последующим вычислением суммарной в данном сечении мощности P' (энергии Q') по формулам:

$P' = \int\int E'(x, y)dxdy$ — для непрерывных лазеров;

$Q' = \int\int H'(x, y)dxdy$ — для импульсных лазеров.

Затем средством измерений мощности лазерного излучения (лазерным ваттметром) или средством измерений энергии лазерного излучения (лазерным джоульметром) измеряют соответственно полную мощность P или энергию Q в поперечном сечении пучка с координатой z. Условия и методика измерений P и Q регламентированы МЭК 61040 и ИСО 11554, результатами которых становятся абсолютные значения суммарных для данного сечения P или Q, по которой определяют абсолютные распределения соответствующих плотностей, служащих для калибровки приемно-усилительного устройства:

$E(x, y) = \frac{P}{P'}E'(x, y)$ — для непрерывных лазеров;

$H(x, y) = \frac{Q}{Q'}H'(x, y)$ — для импульсных лазеров.

9.3 Регистрация данных и коррекция шумов (фона)

9.3.1 Общие сведения

После открытия затвора лазера (разблокирования пучка) должно быть получено и зарегистрировано измеренное распределение плотности мощности (энергии) $E_{meas}(x, y)$ [или $H_{meas}(x, y)$]. Для импульсных лазеров плотность мощности E должна быть заменена на плотность энергии H. При измерениях на импульсных лазерах необходимо обеспечить интегрирование мощности на протяжении всей длительности импульса.

В соответствии с разделами 9 и 10 должно быть проведено по крайней мере 10 независимых измерений, а в отчете о проведении испытаний следует привести значения измеренных величин и вычисленные соответствующие стандартные отклонения. Для лазерных пучков, профили которых флуктуируют во времени, могут быть выполнены усредненные во времени измерения распределения путем усреднения по меньшей мере 10 отдельных реализаций $E_{meas}(x, y)$ [или $H_{meas}(x, y)$].

Сигналы, зарегистрированные как $E_{meas}(x, y)$ [или $H_{meas}(x, y)$], могут быть представлены суммой двух частей: «истинного» распределения плотности мощности (энергии) $E(x, y)$ [или $H(x, y)$] в измеряемом пучке и возможного неоднородного поля фона $E_B(x, y)$, созданного другими источниками, такими как излучение сторонних источников или излучение, наведенное самим приемником:

$$E_{meas}(x, y) = E(x, y) + E_B(x, y).$$

Для коррекции фона при измерениях параметров, определенных в 3.2.3 и 3.2.4, следует руководствоваться указаниями ИСО 11145 и ИСО 11146. Когда измеряют параметры пучка, приведенные в 3.2.1 и 3.2.2, а также в 3.2.7—3.2.12, должна быть применена процедура коррекции фона, чтобы устранить его влияние в крыльях распределения, существенно проявляющегося при вычислении интегралов. Коррекцию проводят путем вычитания поля фона или среднего значения фона из регистрируемого сигнала. Для приемно-усилительного устройства, имеющего постоянный уровень фона по всей площади чувствительной площадки, может быть внесена поправка на вычитание среднего уровня фона в соответствии с 9.3.3. Во всех других случаях необходимо проводить полное вычитание поля фона, как описано в 9.3.2.

9.3.2 Коррекция вычитанием поля фона

С использованием той же измерительной установки должна быть выполнена регистрация «темнового изображения» поля фона $E_B(x, y)$ непосредственно перед получением «поля сигнала», характеризующего распределение плотности мощности (энергии). Для непрерывных лазеров пучок должен быть перекрыт затвором в месте, где луч выходит из корпуса лазера; для импульсных лазеров получение данных может быть проведено при отсутствии запуска импульса.

С использованием вычитания поля фона скорректированное распределение описывает выражение

$$E(x, y) = E_{meas}(x, y) - E_B(x, y).$$

Примечание — В случаях, когда на приемник попадает переменное во времени остаточное окружающее излучение, которое может исказить результаты, измерения поля фона и сигнала должны быть выполнены последовательно близко друг к другу по времени. Для импульсных или непрерывных лазеров с быстродействующим затвором это может быть достигнуто с использованием попеременно чередующихся циклов работы приемно-усилительного устройства в сочетании с вычитанием фона в реальном режиме времени.

В результате вычитания фона в скорректированном распределении плотности мощности (энергии) могут возникнуть отрицательные значения шума. Эти отрицательные значения должны быть включены в последующие расчеты, для того чтобы скомпенсировать как положительные, так и отрицательные амплитуды шумов.

Вычитание поля фона не всегда приводит к смещению нулевой линии. Даже малые смещения нулевой линии могут привести к большим погрешностям в расчете параметров, характеризующих измеренное распределение плотности мощности (энергии). Следует позаботиться о минимизации погрешностей, связанных со смещением нулевой линии (см. 10.2).

9.3.3 Коррекция вычитанием среднего значения фона

Для приемно-усилительных устройств, имеющих постоянный уровень фона по всей чувствительной поверхности приемника, можно применять коррекцию измеренного распределения вычитанием среднего уровня фона.

Средний уровень фона приемника $\bar{E}_B$ по поверхности его чувствительной площадки получают путем регистрации и усреднения по крайней мере $M \geq 10$ отдельных реализаций распределения фона $E_B(x, y)$:

$$\bar{E}_B = \frac{1}{MN}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} E_{Bij},$$

где N — полное число отдельных точек (x, y) на чувствительной площадке приемника излучения, для которых зарегистрированы данные.

При использовании вычитания усредненного фона скорректированное распределение описывает выражение

$$E(x, y) = E_{\text{meas}}(x, y) - \bar{E}_B.$$

10 Обработка результатов измерений

10.1 Выбор и оптимизация пределов интегрирования

Настоящие указания применяют при выборе пределов интегрирования, использованного при описании параметров распределения плотности мощности (энергии), определенных в 3.2.1 и 3.2.2, а также 3.2.7—3.2.12. Указания, которые распространяются на параметры, определенные в 3.2.3 и 3.2.4, содержатся в ИСО 11145 и ИСО 11146.

В пределах допустимой неопределенности измерений результаты вычислений параметров, характеризующих распределение плотности мощности (энергии), должны быть нечувствительны к выбранному пороговому значению η, используемому при измерениях. Нечувствительность результатов вычислений к установке порогового значения $E_{\eta T}$ или $H_{\eta T}$ должна быть проверена изменениями значения η на 5—10 %, например, η от 0,01 до 0,011 с пересчетом имеющих к этому отношение параметров. Если получают отличие больше, чем допустимая неопределенность измерения, то для вычислений должно быть выбрано другое пороговое значение.

Эту процедуру следует повторять, пока не будет найдено пороговое значение η, для которого вычисленные параметры стабильны. Так как все параметры, определенные в 3.2.7, 3.2.9—3.2.12, нечувствительны (инвариантны) к значению мощности (энергии импульса) лазерного излучения, используемого при измерении распределения плотности мощности (энергии), пригодность для измерений данного лазерного ваттметра (джоульметра) может быть проверена путем изменений степени однородности распределения $P(Q)$ в поперечной плоскости x, y в сечении с координатой z и проверки сохранности вновь рассчитанных значений в пределах допустимой неопределенности.

Например, должно быть проверено, что отношение $f_\eta = P_\eta/P$ (или Q_η/Q) имеет значение, близкое к единице, и остается стабильным при малых изменениях (на ~ 20 %) мощности (энергии импульса) в сечении z. Сравнивая со значениями $P(Q)$, измеренными отдельно калиброванным измерителем мощности (энергии) пучка, помещенным в сечении z, можно проверить корректность значения η, использованного для вычисления $P_\eta(Q_\eta)$. Процедуры пространственной и энергетической калибровок приемно-усилительного устройства описаны в 9.2.1 и 9.2.2.

10.2 Контроль и оптимизация коррекции влияния шумов (фона)

Скорректированные распределения плотности мощности (энергии) следует использовать для вычисления параметров, определенных в 3.2. Вариациями порогового значения следует проверить, что усредненный фон соответствующим образом обнулен и параметры, характеризующие распределение плотности, достаточно стабильны по отношению к этим вариациям.

Правильность процедур коррекции, используемых для вычитания поля фона или усредненного фона, должна быть проверена изменением от 5 % до 10 % установленных значений $E_{\eta T}$ или $H_{\eta T}$ и пересчетом параметров, которые характеризуют распределение плотности мощности (энергии). Если при этом получена разница, превышающая допустимую неопределенность измерений, то может быть необходима дополнительная оптимизация коррекции фона. В пределах допустимой неопределенности результаты вычислений параметров, характеризующих распределение плотности мощности (энергии), должны быть нечувствительны к выбранному значению порога η, используемому при измерениях.

11 Протокол измерений

Результаты измерений должны быть зарегистрированы и содержать следующую информацию:
Наименование организации, выполнявшей испытания (измерения)

_____

Дата_____ И.О. Фамилия оператора _____

a) сведения о лазере и его параметрах при испытаниях (измерениях)

Тип лазера _____ Производитель_____
Модель _____ Серийный номер _____
Длина(ы) волн(ы) _____ Поляризация _____

□ непрерывный	Средняя выходная мощность _____	
□ импульсный	Средняя выходная мощность _____	Частота следования импульсов _____
	Энергия импульса _____	Длительность импульса _____
Параметры апертуры	Прочая информация _____	
_____	_____	

b) геометрия проведения испытаний (измерений)

Выбор опорной плоскости _____

Выбор лабораторной системы координат x', y', z' _____

Плоскость местоположения приемно-усилительного устройства относительно опорной плоскости

_____

c) приемно-усилительное устройство

Способ регистрации	**Приемник излучения**	**Специфические свойства приемника излучения**
□ Матричный приемник с камерой	□ CCD (ПЗС)	Спектральная чувствительность _____
□ Варьируемая диафрагма	□ CID (приемник с инжекцией заряда)	Пространственное разрешение _____
□ Движущийся резкий край (нож Фуко)	□ Кремниевый диод	Площадь приемной площадки _____
□ Сканирующий пинхол	□ Пироэлектрик	Рабочий диапазон _____ _____
□ Сканирующая щель	□ PbS видикон	Отношение сигнал-шум _____
□ Щель переменной ширины	□ Пироэлектрический видикон	Шаг дискретизации _____
□ Другой (указать) _____ _____	□ Термопара	Время измерения в одной точке _____
	□ Пироэлектрический джоульметр	Время измерения профиля пучка _____
	□ Калориметр	Число зарегистрированных импульсов _____
	□ Другой (указать) _____	

d) оптические элементы

Формирующая пучок оптическая система между сечением с координатой z и приемником излучения _____

Коэффициент увеличения оптической системы, формирующей изображение _____

Коэффициент ослабления _____

Коэффициент отражения расщепителя пучка _____

Следующие параметры указывают по требованию пользователя:

e) пороговая часть, используемая при измерениях η = _____

f) мощность (энергия) пучка в сечении z	**среднее значение**	**стандартное отклонение**
Мощность пучка P		
Энергия пучка Q		
Эффективная мощность пучка P_η		
Эффективная энергия пучка Q_η		

g) средняя плотность мощности (энергии) в сечении z

Средняя плотность мощности E_η

Средняя плотность энергии H_η

h) положение пучка в сечении z	**среднее значение**	**стандартное отклонение**
Положение максимума (x_{max}, y_{max})		
Положение центроида ($\overline{x}$, $\overline{y}$)		

i) эффективные размеры пучка в сечении z	**среднее значение**	**стандартное отклонение**
Азимутальный угол φ		
Ширины $d_{\sigma x}$, $d_{\sigma y}$		
Площадь поперечного сечения пучка A_σ		
Облучаемая площадь A_η^i		

j) форма пучка в сечении z	**среднее значение**	**стандартное отклонение**
Эллиптичность ξ		
Эксцентриситет e		
Фактор плоскостности F_η		
Однородность U_η		
Однородность плато U_p		
Доля мощности (энергии) f_η		
Крутизна среза s		
Качество аппроксимирующего распределения:		
Грубая аппроксимация R		

k) данные распределения

Данные должны быть представлены в изометрической (график поперечного сечения) или табличной форме для распределения плотности мощности (энергии) по крайней мере по двум выделенным осям (предпочтительнее по главным осям), должен быть указан центроид распределения в сечении z. Данные должны быть представлены после соответствующего вычитания фона, но без порогового ограничения. Пороговое значение должно быть указано в данных распределения.

Приложение А
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации

Таблица А.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ИСО 11145:1994	—	*
ИСО 11146:1999	IDT	ГОСТ Р ИСО 11146-1—2008 Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений ширин, углов расходимости и коэффициентов распространения лазерных пучков. Часть 1. Стигматические (гомоцентрические) и слабоастигматические пучки ГОСТ Р ИСО 11146-2—2008 Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений ширин, углов расходимости и коэффициентов распространения лазерных пучков. Часть 2. Астигматические пучки ГОСТ Р ИСО 11146-3—2008 Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений ширин, углов расходимости и коэффициентов распространения лазерных пучков. Часть 3. Собственная и геометрическая классификация лазерных пучков, специфика их распространения и методики измерений
ИСО 11554:1998	IDT	ГОСТ Р ИСО 11554—2008 Оптика и фотоника. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы испытаний лазеров и измерений мощности, энергии и временных характеристик лазерного пучка
МЭК 61040:1990	—	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия: IDT — идентичные стандарты.

УДК 537.872:006.354 ОКС 31.260 Т35

Ключевые слова: лазер, лазерные установки, лазерное излучение, измерение, методика измерений, распределение плотности мощности (энергии), диаметр пучка, расходимость пучка, коэффициент распространения пучка

Редактор *А.Ю. Томилин*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 25.05.2011. Подписано в печать 21.06.2011. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,97. Тираж 99 экз. Зак. 528.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6.

gost.e-ecolog.ru