ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59741— 2021 (ИСО 11554:2017)

Оптика и фотоника

ЛАЗЕРЫ И ЛАЗЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Методы определения мощности, энергии и временных характеристик лазерного излучения

(ISO 11554:2017, MOD)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт физической оптики, оптики лазеров и информационных оптических систем Всероссийского научного центра «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» (ФГУП «НИИФООЛИОС ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 296 «Оптика и фотоника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 октября 2021 г. № 1120-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 11554:2017 «Оптика и фотоника. Лазеры и лазерное оборудование. Методы определения мощности, энергии и временных характеристик лазерного пучка» (ISO 11554:2017 «Optics and photonics — Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam power, energy and temporal characteristics», MOD) путем изменения ссылок, исключения отдельных положений, которые дублируются по тексту стандарта, исключения из библиографии информации о документах, ссылки на которые не использованы при изложении настоящего стандарта, дополнения обозначений, которые выделены в тексте курсивом.

Внесение указанных технических отклонений направлено на учет целесообразности использования ссылочных национальных стандартов вместо ссылочных международных стандартов.

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВЗАМЕН ГОСТ Р ИСО 11554—2008

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «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 (*gost.e-ecolog.ru

© ISO, 2017
© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2021

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 Обозначения 2
5 Рекомендации по проведению измерений и обработке результатов 3
6 Подготовка к проведению измерений 3
7 Проведение измерений 8
8 Обработка результатов 9
9 Протокол испытаний 13
Приложение А (справочное) Дополнительные сведения об относительном уровне шума лазерного излучения 15
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте 16
Библиография 17

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и фотоника

ЛАЗЕРЫ И ЛАЗЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Методы определения мощности, энергии и временных характеристик лазерного излучения

Optics and photonics. Lasers and laser-related equipment. Test methods for laser radiation power, energy and temporal characteristics

Дата введения — 2022—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы испытаний лазеров, генерирующих непрерывное (далее — непрерывные лазеры) и импульсное (далее — импульсные лазеры) излучение, и методы измерений для определения мощности непрерывного лазерного излучения, энергии и временных характеристик импульсного лазерного излучения, в т. ч. формы и длительности импульса, частоты следования импульсов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 22261 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия

ГОСТ 25368 Средства измерений максимальной мощности импульсного лазерного излучения. Типы и основные параметры. Методы измерений

ГОСТ 34100.3/ISO/IEC Guide 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения

ГОСТ Р 50779.22 (ИСО 2602:1980) Статистические методы. Статистическое представление данных. Точечная оценка и доверительный интервал для среднего

ГОСТ Р 58373 (ИСО 11145:2018) Оптика и фотоника. Лазеры и лазерное оборудование. Термины и определения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по *ГОСТ Р 58373* и [*1*], а также следующие термины с соответствующими определениями:

Издание официальное

3.1 **относительный уровень шума *R(f)*** *RIN* [relative intensity noise *RIN R(f)*]: Отношение среднеквадратичной флуктуации мощности лазерного излучения к среднеквадратичной мощности лазерного излучения, приведенное к единичной полосе частот, которое вычисляют по формуле

$$R(f) = \frac{\left\langle \Delta P(f)^2 \right\rangle}{\left\langle P(f)^2 \right\rangle} \cdot \frac{1}{\Delta f}. \quad (1)$$

Примечания

1 Характеристику $R(f)$ правильнее называть спектральной плотностью относительного уровня шума мощности лазерного излучения, но, как правило, для краткости применяют указанный термин и обозначение *RIN*.

2 Дополнительные сведения об относительном уровне шума лазерного излучения приведены в приложении А.

3.2 **частота среза слабого (модулирующего) сигнала f_c** (small signal cut off frequency f_c): Частота, на которой амплитуда модуляции выходной мощности лазера падает вдвое по сравнению со значением амплитуды модуляции на низких частотах при применении небольшой модуляции входной мощности с фиксированной амплитудой и различной частотой.

4 Обозначения

В настоящем стандарте использованы следующие обозначения:

f — частота лазерного излучения, Гц;

$f_и$ — *частота повторения импульсов лазерного излучения, Гц;*

$\overline{f}_и$ — *средняя частота следования импульсов лазерного излучения $\overline{f}_и$, Гц;*

f_c — частота среза слабого сигнала лазерного излучения, Гц;

$\overline{f}_c$ — *средняя частота среза слабого сигнала лазерного излучения f_c, Гц;*

Δf — *единичная полоса частот, Гц;*

$[f_1, f_2]$ — диапазон частот, для которого задан относительный уровень шума $R(f)$, Гц;

k — коэффициент охвата для определения неопределенности измерения;

K(*f*) — *частота калибровочной функции детектора, Гц;*

m — отсчет;

m_i — *совокупность n-го числа отсчетов;*

$\overline{m}$ — среднее значение совокупности последовательных отсчетов;

P — мощность лазерного излучения, определенная путем усреднения n-го числа отсчетов, Вт;

$P_{пик}$ — *пиковая мощность импульсного лазерного излучения, Вт;*

$\overline{P}_{пик}$ — *средняя пиковая мощность импульсного лазерного излучения $P_{пик}$, Вт;*

$P_э(f)$ — *мощность шума в единичной полосе частот, Вт;*

$P(t)$ — *форма импульса, т. е. зависимость мощности лазерного излучения от периода измерения;*

$\overline{P}$ — среднее значение мощности лазерного излучения, Вт;

ΔP — относительная флуктуация мощности лазерного излучения для соответствующего периода выборки [ΔP (1 мкс), и/или ΔP (1 мс), и/или ΔP (0,1 с), и/или ΔP (1 с)] при доверительной вероятности 95 %;

Q — *энергии импульсного лазерного излучения, Дж;*

$\overline{Q}$ — среднее значение энергии импульсного лазерного излучения, Дж;

Q_i — *совокупность n-го числа отсчетов при определении $\overline{Q}$;* совокупности отсчетов Q_i;

ΔQ — относительная флуктуация энергии импульсного лазерного излучения при доверительной вероятности 95 %;

$R(f)$ — относительный уровень шума, *RIN*, $Гц^{-1}$ или дБ/Гц;

s — стандартное отклонение результата измерения;

$s_{\overline{m}}$ — *стандартное отклонение от среднего значения совокупности последовательных отсчетов;*

$S_{пик}$ — *стандартное отклонение от пикового значения совокупности последовательных отсчетов;*

$S(t)$ — выходной электрический сигнал детектора;

T — период повторения импульсов, с;

t — период измерения, с;

$[t_1, t_2]$ — *пределы интегрирования;*

$U_{отн}$ — расширенная относительная неопределенность измерений (коэффициент охвата k = 2) при доверительной вероятности 95 %;

$U_{отн}(\bar{f}_и)$ — *расширенная относительная неопределенность измерения частоты следования импульсов;*

$U_{отн}(K)$ — расширенная относительная неопределенность калибровочного коэффициента (коэффициент охвата k = 2) при доверительной вероятности 95 %;

$U_{отн}(K_i)$ — *расширенные относительные неопределенности калибровочных коэффициентов для различных компонентов измерительной системы;*

$U_{отн}(\bar{m})$ — *расширенная относительная неопределенность измерения среднего значения* $\bar{m}$;

$U_{отн}(\bar{P})$ — *расширенная относительная неопределенность измерения среднего значения* $\bar{P}$;

$U_{отн}(\bar{Q})$ — *расширенная относительная неопределенность измерения среднее значение энергии импульсного лазерного излучения* $\bar{Q}$;

$\tau_и$ — *длительность импульса лазерного излучения, с;*

$\bar{\tau}_и$ — *среднее значение длительности импульса лазерного излучения* $\tau_и$, *с;*

$\Delta\tau_и$ — относительная флуктуация длительности импульса $\tau_и$ лазерного излучения при доверительной вероятности 95 %;

$\tau_н$ — время нарастания импульса лазерного излучения, с;

$\bar{\tau}_н$ — *среднее значение времени нарастания импульса лазерного излучения* $\tau_н$, *с;*

$\tau_{сп}$ — время спада импульса лазерного излучения, с;

$\bar{\tau}_{сп}$ — *среднее значение времени спада импульса лазерного излучения* $\tau_{сп}$, *с;*

τ_{10} — *десятипроцентная длительность импульса лазерного излучения, с;*

$\bar{\tau}_{10}$ — *среднее значение десятипроцентной длительности импульса лазерного излучения* τ_{10}, *с;*

$\Delta\tau_{10}$ — относительная флуктуация длительности импульса τ_{10} лазерного излучения при доверительной вероятности 95 %.

Примечания

1 Подробная информация о доверительной вероятности (доверительном уровне) 95 % приведена в *ГОСТ Р 50779.22.*

2 Расширенная неопределенность представляет собой произведение стандартной неопределенности и коэффициента охвата k = 2 в соответствии с *ГОСТ 34100.3.* При этом считают, что значение измеренной величины с доверительной вероятностью 95 % находится в пределах расширенной неопределенности.

3 $R(f)$, дБ/Гц, равно $10 \log_{10} R(f)$, где $R(f)$, $Гц^{-1}$.

5 Рекомендации по проведению измерений и обработке результатов

Испытуемое лазерное излучение (лазерный пучок) направляют на чувствительную площадку детектора, выходной сигнал которого должен быть пропорционален мощности или энергии лазерного излучения. Определяют зависимость амплитуды сигнала от времени. Для измерений характеристик лазеров с большими углами расходимости рекомендуется вводить излучение в интегрирующую сферу (*ИС*). Устройства для формирования и ослабления лазерного пучка следует применять по мере необходимости.

Обработку полученных результатов измерений выполняют в соответствии с разделом 8.

6 Подготовка к проведению измерений

6.1 Подготовка оборудования

6.1.1 Лазеры с малыми углами расходимости

Испытуемый лазерный пучок и оптическая ось измерительной установки должны быть коаксиальными. Диаметр (площадь поперечного сечения) оптической системы выбирают соответственно полному поперечному сечению лазерного пучка с таким расчетом, чтобы потери вследствие непопадания части пучка во входную апертуру или дифракционные потери не превышали 10 % нормируемой неопределенности измерений. Коаксиальность лазерного пучка и оптической оси получают юстировкой оптической системы в составе измерительной установки с помощью вспомогательных средств типа юстировочных лазеров или поворотных зеркал. Ослабители или оптическую систему, формирующую пучок, монтиру-

ют таким образом, чтобы оптическая ось проходила через геометрические центры всех этих элементов. Следует предпринять меры по недопущению очевидных систематических погрешностей.

Примечание — Следует учитывать, что отражения, внешнее окружающее освещение, тепловое излучение и конвективные воздушные потоки являются потенциальными источниками погрешностей.

После завершения начальной подготовки следует убедиться в том, что весь испытуемый лазерный пучок достигает чувствительной площадки детектора. Для этого по трассе пучка перед каждым оптическим элементом устанавливают диафрагму с отверстиями различных диаметров и уменьшают диаметр отверстия до тех пор, пока выходной сигнал не сократится на 5 %. Такой диаметр отверстия должен быть по крайней мере на 20 % меньше апертуры оптического элемента. Для расходящихся пучков диафрагма с отверстием должна быть расположена непосредственно перед детектором, чтобы обеспечить перехват всего испытуемого лазерного пучка.

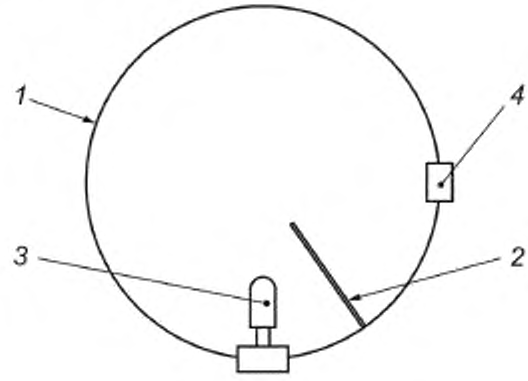
Если размер оптических элементов или детектора превышает диаметр измеряемого пучка по уровню интенсивности $1/e^2$ не менее чем в пять раз, то оценку допускается проводить с помощью визуализатора.

Примечание — Все диафрагмы удаляют перед выполнением измерений мощности (энергии) в соответствии с разделом 7.

6.1.2 Лазеры с большими углами расходимости

Излучение, испускаемое лазерами с большими углами расходимости, вводят в *ИС*. Собранное излучение подвергается многократным отражениям от стенки *ИС*; это приводит к равномерному освещению поверхности, пропорциональному собранному потоку излучения. Детектор, расположенный в стенке *ИС*, измеряет испытуемый лазерный пучок. Непрозрачный экран защищает детектор от прямого воздействия излучения испытуемого лазера. Испытуемый лазер располагают непосредственно на входе *ИС* или вблизи ее так, чтобы прямое излучение не достигало детектора.

На рисунке 1 приведена схема измерений мощности (энергии) лазерного излучения с большим углом расходимости с применением *ИС*, внутри которой расположен лазер небольших размеров. Испытуемый лазер большого размера следует располагать вне *ИС*, но достаточно близко к ее входной апертуре для того, чтобы весь поток излучения попадал внутрь *ИС*.

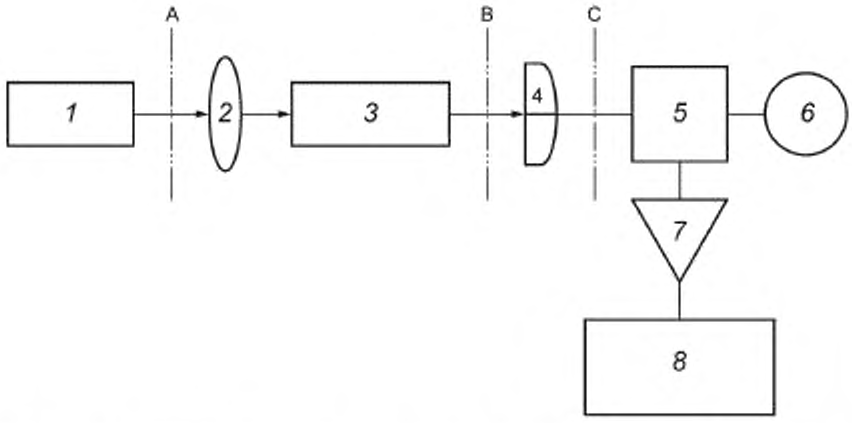


1 — ИС. *2* — непрозрачный рассеивающий экран; *3* — испытуемый лазер, *4* - - детектор

Рисунок 1 — Схема измерений мощности (энергии) лазерного излучения с большим углом расходимости

6.1.3 Измерения спектра относительного уровня шума лазерного излучения

Схема измерения для определения спектра *RIN* приведена рисунке 2. Луч распространяется через линзу, ослабитель (светоделитель) излучения или поглощающую среду и падает на детектор. Для предотвращения возникновения ошибок измерения при настройке измерительной схемы следует минимизировать обратную оптическую связь, возникающую вследствие попадания выходного излучения назад в испытуемый лазер.



1 — испытуемый лазер; *2* — линза, *3* — ослабитель (светоделитель) излучения, *4* — детектор; *5* — делитель электрического сигнала, *6* — измерительное устройство; *7* — предварительный усилитель; *8* — анализатор спектра электрического сигнала; A — сечение для которого определяют *RIN*; B — сечение, для которого пуассоновский компонент *RIN* увеличивается вследствие потерь; C — сечение, для которого детектор добавляет шум *RIN*

Рисунок 2 — Схема измерений спектра *RIN*

RIN R(*f*) определяют для опорного сечения А перед всеми элементами оптической системы, вызывающими потери мощности. Для сечения В пуассоновский компонент *RIN* увеличивается из-за потерь, для сечения С — дополнительно из-за неэффективности процесса преобразования излучения в детекторе.

Примечание — Сведения о компонентах *RIN* приведены в приложении А.

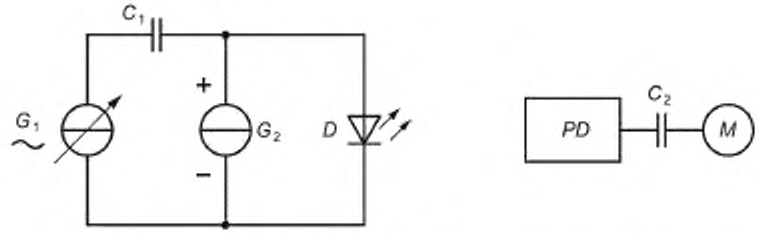
При измерениях *RIN* делитель электрического сигнала направляет постоянную составляющую фототока детектора в измеритель, а переменную составляющую после усиления — в анализатор спектра электрического сигнала. Значение *RIN* зависит от нескольких параметров, главными из которых являются:

- частота электрической характеристики (напряжения или тока);
- выходная мощность лазерного излучения;
- температура;
- частота модуляции лазерного излучения;
- временная задержка и сила обратной оптической связи;
- коэффициент подавления побочных мод лазерного излучения;
- частота релаксационных колебаний.

Вариации и/или изменения указанных параметров следует минимизировать в процессе измерения.

6.1.4 Измерение частоты среза слабого сигнала лазерного излучения

Для определения частоты среза слабого сигнала f_c лазерное излучение модулируют в соответствии с 7.10 и измеряют выходную мощность переменного тока. На рисунке 3 приведена схема измерений для определения частоты среза слабого сигнала диодных лазеров. Для предотвращения возникновения ошибок измерения при настройке измерительной схемы следует минимизировать обратную оптическую связь, возникающую вследствие попадания выходного излучения назад в испытуемый лазер.



D — измерительное устройство, *PD* — детектор (например, фотодетектор); *M* — измеритель мощности переменного тока диодного лазера, G_1 — генератор переменного тока с регулируемой частотой; G_2 — генератор постоянного тока, C_1, C_2 — конденсаторы связи

Рисунок 3 — Схема измерений для определения частоты среза слабого сигнала диодных лазеров

6.2 Обеспечение нормальных условий измерений

Для обеспечения нормальных условий измерений следует принять меры по механической вибро- и акустической защите измерительной установки, ее экранированию от воздействия посторонних излучений, температурной стабилизации в лаборатории и выбору усилителей с низким уровнем шума для того, чтобы суммарная погрешность результата измерений не превышала 10 % допускаемой неопределенности измерений. В соответствии с разделом 7 следует провести измерения уровня фонового излучения, для чего следует перекрыть лазерный пучок в резонаторе лазера или на его выходе. При этом стандартное отклонение при перекрытом лазерном пучке, вычисленное в соответствии с разделом 8, должно быть менее 1/10 значения, полученного в процессе измерений интенсивности лазерного пучка.

6.3 Средства измерений и вспомогательное оборудование

Средства измерений и вспомогательное оборудование по ГОСТ 22261, ГОСТ 25368.

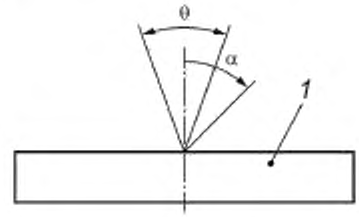
Средства измерений и вспомогательное оборудование, должны быть откалиброваны в установленном порядке и соответствовать следующим требованиям:

а) средства измерений мощности или энергии лазерного излучения:

- в процессе калибровки приемно-усилительного устройства должны быть минимизированы или скорректированы следующие параметры: зависимость от длины волны излучения, нелинейность характеристики преобразования (зависимость чувствительности от уровня измеряемой величины) или неравномерность распределения чувствительности по приемной поверхности детектора (зонная характеристика), а также нелинейность электронной схемы в пределах рабочего диапазона,

- для гарантии сбора всего испытуемого лазерного пучка *ИС*, применяемая для измерения интенсивности лазерного излучения с большими углами расходимости, должна быть оснащена детектором; допускается проводить прямые измерения детектором с плоской поверхностью без применения *ИС* в том случае, если зонная характеристика детектора равномерна, его чувствительность не зависит от углов падения α в пределах, по меньшей мере, углов расходимости Θ излучения (см. рисунок 4), а лазерный пучок целиком достигает чувствительной площадки детектора [см. 6.3, b)],

- детекторы, применяемые для количественных измерений, должны быть откалиброваны в соответствии с национальными стандартами



1 — планарный детектор, θ — угол расходимости лазерного пучка; α — максимальная угловая апертура

Рисунок 4 — Планарный детектор (иллюстрация углов)

b) *ИС*:

- суммарная площадь отверстий в *ИС* должна быть менее площади ее поверхности,
- внутренняя поверхность *ИС* и поверхность экрана должны иметь диффузное покрытие с высокой однородной отражательной способностью (коэффициент отражения — не менее 0,9),
- суммарные потери излучения сквозь отверстия в *ИС* должны быть менее 5 %,
- если испытуемый лазер установлен внутри *ИС*, то поверхность *ИС* должна быть большой по сравнению с поверхностью лазера, экрана и отверстий,
- *ИС* и детектор должны быть откалиброваны в единицах мощности или энергии в соответствии с национальными стандартами;

c) временное разрешение детектора:

- выходной сигнал детектора (например, напряжения) должен находиться в линейной зависимости от входной электрической характеристики (мощности или энергии лазерного излучения) в пределах рабочего диапазона измерений (данное требование должно быть подтверждено сертификатом изготовителя детектора или результатами соответствующих измерений); при этом в процессе калибровки приемно-усилительного устройства должны быть минимизированы или скорректированы следующие параметры: зависимость от длины волны излучения, нелинейность характеристики преобразования (зависимости чувствительности от уровня измеряемой величины) или неравномерность распределения чувствительности по приемной поверхности детектора (зонная характеристика), а также нелинейность электронной схемы в пределах рабочего диапазона,
- ширина полосы частот электрической характеристики (напряжения или тока), свойственной выходному сигналу детектора, и в целом приемно-усилительного устройства, должна обеспечить воспроизведение формы импульса лазерного излучения с минимальными искажениями.

При измерениях характеристик формы импульса (например, пиковой мощности, длительности импульса) время нарастания переходной характеристики приемно-усилительного устройства должно быть менее 1/10 времени нарастания (длительности переднего фронта) измеряемого импульса.

При измерении частоты среза слабого сигнала следует применять детектор с шириной полосы частотной характеристики более $3f_н$.

При этом необходимо убедиться в том, что по максимальной интенсивности лазерного излучения (интенсивности, плотности мощности и энергии излучения) не достигнуты пороговые значения, приводящие к разрушению приемной поверхности детектора и всех оптических элементов, расположенных между испытуемым лазером и детектором [например, поляризатора, ослабителя, линз, зеркал, ослабителей (светоделителей) излучения].

6.4 Формирующая оптическая система

Если поперечное сечение испытуемого лазерного пучка больше площади чувствительной поверхности детектора, воспринимающего входное излучение, то следует применять оптическую систему для формирования пучка, поперечное сечение которого вписывалось бы в апертуру чувствительной площадки детектора.

При выборе оптических элементов системы следует учитывать длину волны лазерного излучения.

При проведении измерений оценивают потери мощности излучения (дифракционные, вызванные поглощением, рассеянием, отражением, непопаданием пучка полностью во входную апертуру) и учитывают эти данные при обработке результатов измерений. При наличии поляризационно-зависимых отражений излучения элементами оптической системы следует учитывать состояние поляризации испытуемого лазерного пучка.

6.5 Оптические ослабители

В случае необходимости уменьшения плотности мощности лазерного излучения на чувствительной поверхности детектора следует применять оптические ослабители. Применение ослабителей обязательно при превышении мощности лазерного излучения или ее плотности, рабочего (линейного) диапазона измерений или порога разрушения чувствительной поверхности детектора. В процессе калибровки должны быть минимизированы или скорректированы следующие параметры оптического ослабителя: зависимость от длины волны, состояния поляризации, угла падения излучения, нелинейность, неравномерность зонной характеристики.

7 Проведение измерений

7.1 Общие требования

Если отсутствуют другие требования, то каждую характеристику испытуемого лазера измеряют 10 раз, чередуя с измерениями интенсивности фонового излучения.

Перед началом измерений испытуемый лазер прогревают до состояния теплового равновесия в соответствии с рекомендациями изготовителя. Измерения следует выполнять в рабочих условиях, указанных изготовителем лазера.

7.2 Определение мощности непрерывного лазерного излучения

Измерения выполняют непосредственно соответствующим средством измерения мощности (например, лазерным ваттметром) с применением, при необходимости, оптического ослабителя.

7.3 Определение стабильности мощности непрерывного лазерного излучения

Измерения для определения кратковременной стабильности выполняют в течение 1 мс. Выборка (шаг дискретизации) — 1 мкс. Постоянная времени приемно-усилительного устройства — не более 1/3 мкс.

Измерения для определения средней кратковременной стабильности выполняют в течение 1 с. Выборка (шаг дискретизации) — 1 мс. Постоянная времени приемно-усилительного устройства — не более 1/3 мс.

Измерения для определения средней долговременной стабильности выполняют в течение 1 мин. Выборка (шаг дискретизации) — 0,1 с. Постоянная времени приемно-усилительного устройства — не более 1/30 с. Следует избегать синхронизации с источником электропитания лазера.

Измерения для определения долговременной стабильности выполняют в течение 1 ч. Выборка (шаг дискретизации) — 1 с. Постоянная времени приемно-усилительного устройства — не более 1/3 с.

Регистрируют максимальные и минимальные отсчеты.

Высокочастотные шумы характеризуются спектром *RIN*, измеряемым в соответствии с 6.1.3.

7.4 Определение энергии импульсного лазерного излучения

Измерения выполняют непосредственно соответствующим средством измерения энергии лазерного излучения с применением, при необходимости, оптического ослабителя.

7.5 Определение стабильности энергии импульсного лазерного излучения

Рекомендуется измерять энергию по 7.4 для 100 импульсов, следующих один за другим, однако такое чередование необязательно, важно сохранить объем выборки в 100 импульсов. В протоколе испытаний указывают специфику процедуры измерений.

Регистрируют максимальные и минимальные отсчеты.

7.6 Определение формы, длительности, времени нарастания, времени спада и пиковой мощности импульса

Форму импульса измеряют непосредственно детектором, удовлетворяющим требованиям 6.3. Если детектор не приспособлен для прямых измерений абсолютных значений мощности (например, не откалиброван соответствующим образом или имеет слишком малую площадку для сбора всего испытуемого лазерного пучка), то для определения пиковой мощности следует одновременно с измерениями формы измерить энергию импульса в соответствии с 7.4.

7.7 Определение стабильности длительности импульса лазерного излучения

Измеряют длительность 100 импульсов в соответствии с 7.6.

Регистрируют максимальные и минимальные показания.

7.8 Определение частоты следования импульсов лазерного излучения

Для измерений частоты следования импульсов (выходных сигналов) испытуемого лазера допускается использовать счетчик импульсов. Во избежание ложных или дублирующих запусков счетчика импульсов следует выбрать соответствующий способ его тактирования (синхронизации). Данное тре-

бование обязательно при испытании импульсных лазеров, излучение которых имеет многопиковую структуру (более одного пика).

Для определения формы выходного сигнала детектора, повторяющей зависимость мощности импульса лазерного излучения от времени, применяют осциллограф или другой соответствующий по временным характеристикам регистратор переходных процессов. Определяют период повторения импульсов T — интервал времени между двумя следующими друг за другом импульсными выходными сигналами детектора. В этом случае частоту следования импульсов $f_и$ вычисляют как величину, обратную T, *по формуле*

$$f_и = \frac{1}{T}. \quad (2)$$

7.9 Определение относительного уровня шума лазерного излучения

Запускают испытуемый лазер на заданной выходной мощности.

Измеряют мощность шума электрическим анализатором спектра (см. рисунок 2) на заданной центральной частоте с заданной эквивалентной шириной полосы. Одновременно регистрируют фототок детектора.

Затем из измеренного значения мощности шума вычитают значения дробовых и тепловых шумовых составляющих, используя значения, полученные при измерении фототока или мощности шума широкополосного источника излучения, например светодиода. Это соответствует $\langle \Delta P(f)^2 \rangle$ в формуле (1).

Затем вычисляют *RIN* по формуле (1).

7.10 Определение частоты среза слабого сигнала лазерного излучения

Запускают испытуемый лазер на заданной выходной мощности.

Модулируют излучение лазера с помощью генератора G_1 (см. рисунок 3) на низкой частоте (менее $f_c/100$) и измеряют выходную мощность переменного тока диодного лазера измерителем M.

Увеличивают частоту модуляции, поддерживая постоянной амплитуду модуляции для того, чтобы выходной сигнал мощности диодного лазера, измеренный измерителем M, снизился до половины его значения на низкой частоте.

Полученное значение является частотой среза слабого сигнала f_c.

8 Обработка результатов

8.1 Основные формулы

Стандартное отклонение s по совокупности n-го числа отсчетов m_i вычисляют по формуле

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (m_i - \overline{m})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где среднее значение $\overline{m}$ вычисляют по формуле

$$\overline{m} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i}{n}. \quad (4)$$

Стандартное отклонение от среднего значения $s_{\overline{m}}$ вычисляют по формуле

$$s_{\overline{m}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (m_i - \overline{m})^2}{n \cdot (n-1)}}. \quad (5)$$

Расширенную относительную неопределенность $U_{отн}(\overline{m})$ измерения среднего значения $\overline{m}$ вычисляют по стандартному отклонению $s_{\overline{m}}$ среднего значения и расширенной относительной неопределенности калибровочного коэффициента $U_{отн}(K)$.

Расширенную относительную неопределенность $U_{отн}(\overline{m})$ измерения среднего значения $\overline{m}$ вычисляют по формуле

$$U_{\text{отн}}(\bar{m}) = \sqrt{\frac{4(s_{\bar{m}})^2}{\bar{m}^2} + \left[U_{\text{отн}}(\text{K})\right]^2}, \quad (6)$$

где

$$U_{\text{отн}}(\text{K}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left[U_{\text{отн}}(\text{K}_i)\right]^2}, \quad (7)$$

где $U_{\text{отн}}(\text{K}_i)$ — расширенные относительные неопределенности калибровочных коэффициентов для различных компонентов измерительной системы, например детектора, ослабителя (светоделителя) излучения, электронного измерительного оборудования.

Расширенные относительные неопределенности $U_{\text{отн}}$ измерений средних значений определены при доверительной вероятности 95 % (коэффициент охвата k = 2).

Примечание — Более подробная информация о доверительной вероятности 95 % приведена в *ГОСТ Р 50779.22*.

8.2 Определение мощности непрерывного лазерного излучения

Мощность непрерывного лазерного излучения P определяют путем усреднения результатов по меньшей мере 10 отсчетов, полученных в соответствии с 7.2, с целью оценки изменчивости измерения.

Расширенную относительную неопределенность измерений мощности непрерывного лазерного излучения $U_{\text{отн}}(\bar{P})$ с учетом стандартного отклонения $s_{\bar{P}}$ от среднего значения и расширенной относительной неопределенности калибровочных коэффициентов $U_{\text{отн}}(\text{K})$ вычисляют по формуле

$$U_{\text{отн}}(\bar{P}) = \sqrt{\frac{4\left(s_{\bar{P}}\right)^2}{\bar{P}^2} + \left[U_{\text{отн}}(\text{K})\right]^2}. \quad (8)$$

8.3 Определение стабильности мощности непрерывного лазерного излучения

Среднее значение мощности непрерывного лазерного излучения $\bar{P}$ и соответствующее стандартное отклонение s для соответствующих временных областей стабильности (кратковременной, средней кратковременной, средней долговременной, долговременной) определяют по 7.3.

Стабильность мощности влияет на относительную флуктуацию мощности непрерывного лазерного излучения ΔP для соответствующего периода выборки, которую вычисляют по формуле

$$\Delta P = \frac{2s}{\bar{P}}. \quad (9)$$

Для определения *RIN* $R(f)$ в электрической области мощность шума в единичной полосе частот $P_э(f)$, измеренную анализатором спектра, вычисляют с помощью зависящей от частоты калибровочной функции детектора $\text{K}(f)$ и делят ее на мощность непрерывного лазерного излучения P. С учетом потерь в измерительной системе вычисляют *RIN* по формуле

$$R(f) = \frac{P_э(f)}{P \cdot \text{K}(f)}, \quad (10)$$

где $P_э(f)$ — мощность шума в единичной полосе частот (после вычитания теплового фона), *Вт*.

8.4 Определение энергии импульсного лазерного излучения

Среднее значение энергии импульсного лазерного излучения $\bar{Q}$ вычисляют как усредненное значение совокупности 10 отсчетов, полученных в соответствии с 7.4.

Расширенную относительную неопределенность $U_{\text{отн}}(\bar{Q})$ измерения среднего значения энергии импульсного лазерного излучения $\bar{Q}$ вычисляют с учетом стандартного отклонения $s_{\bar{Q}}$ и расширенной относительной неопределенности калибровочных коэффициентов $U_{\text{отн}}(\text{K})$ по формуле

$$U_{\text{отн}}\left(\bar{Q}\right) = \sqrt{\frac{4\left(s_{\bar{Q}}\right)^2}{\bar{Q}^2} + \left[U_{\text{отн}}(\text{K})\right]^2}. \quad (11)$$

8.5 Определение стабильности энергии импульсного лазерного излучения

Среднее значение энергии импульсного лазерного излучения $\bar{Q}$ стандартное отклонение s вычисляют по совокупности отсчетов Q_i в соответствии с 7.5.

Стабильность энергии импульсного лазерного излучения влияет на ее относительную флуктуацию ΔQ, которую вычисляют по формуле

$$\Delta Q = \frac{2s}{\bar{Q}}. \quad (12)$$

8.6 Определение формы, длительности, времени нарастания, времени спада и пиковой мощности импульса

Вычислив зависимость мощности импульсного лазерного излучения P от периода измерения t (форма импульса лазерного излучения) можно определить следующие параметры (см. рисунок 5):

- длительность импульса $\tau_и$, представляющую собой максимальный временной интервал между двумя моментами времени, в которых мощность достигает половины пиковой мощности $P_{пик}/2$;
- десятипроцентную длительность импульса τ_{10}, представляющую собой максимальный временной интервал между двумя точками по оси абсцисс (см. рисунок 5), в которых мощность достигает 1/10 пиковой мощности $0{,}1P_{пик}$.

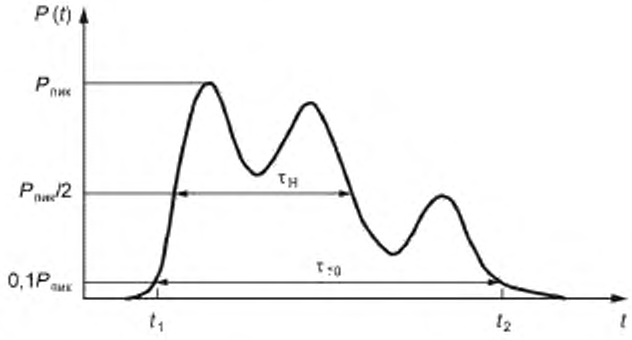


Рисунок 5 — Пример изменения мощности лазерного излучения в зависимости от периода измерения

Если импульс лазерного излучения состоит из мощного импульса малой длительности в начале и маломощного импульса большой длительности во второй части лазерного импульса (см. рисунок 6) (например, для *TEA*-лазера), то следует определить обе длительности импульса $\tau_и$ и τ_{10}.

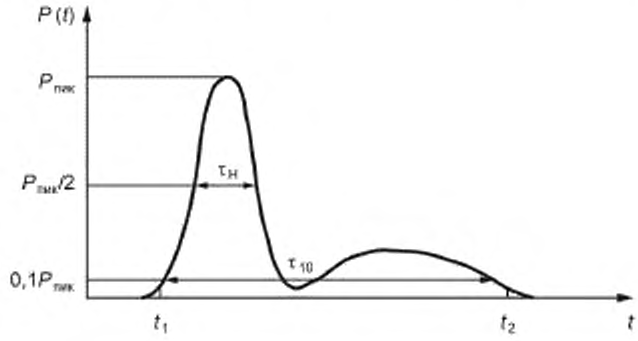


Рисунок 6 — Пример изменения мощности лазерного излучения *TEA*-лазера в зависимости от периода измерения

- время нарастания импульса лазерного излучения $\tau_н$, представляющее собой временной интервал между двумя моментами времени, в которых мощность лазера достигает 10 % ($0{,}1P_{пик}$) и 90 % ($0{,}9P_{пик}$) пиковой мощности (см. рисунок 7).

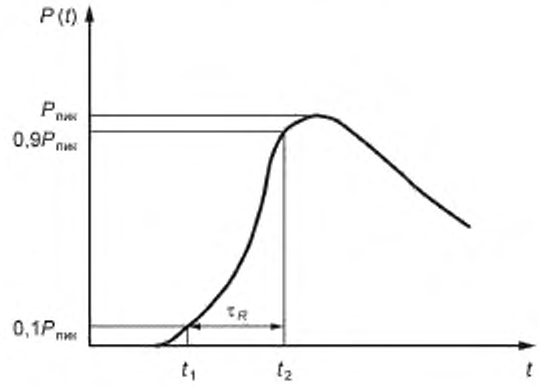


Рисунок 7 — Пример изменения времени нарастания импульса лазерного излучения при проведении измерений

- время спада импульса лазерного излучения $\tau_{сп}$, представляющее собой временной интервал между двумя моментами времени, в которых мощность лазера падает с 90 % ($0{,}9P_{пик}$) до 10 % ($0{,}1P_{пик}$) пиковой мощности.

Следует учитывать, что для импульсов с более чем одной точкой 90 % или более чем одной точкой 10 % время нарастания, время спада или длительность импульса лазерного излучения не могут быть определены однозначно. В этом случае следует задать временную форму импульса;

- форму импульса, т. е. зависимость мощности лазерного излучения от периода измерения $P(t)$, отображаемую электрическим выходным сигналом детектора $S(t)$. При измерениях энергии импульсного лазерного излучения Q с применением измерителя энергии (см. 7.6) и при одновременных измерениях формы импульса с применением некалиброванного детектора форму импульса вычисляют по формуле

$$P(t) = \frac{S(t) \cdot Q}{\int_{t_1}^{t_2} S(t)\,dt}, \tag{13}$$

где пределы интегрирования t_1 и t_2 определяют как t_1, $t_2 = t$, где $S(t) \le 0{,}1S_{max}$ в соответствии с рисунком 5; энергию импульсного лазерного излучения Q измеряют и вычисляют по 7.4 и 8.4 соответственно;

- пиковую мощность импульсного лазерного излучения $P_{пик}$ вычисляют по формуле

$$P_{пик} = \frac{S_{max} \cdot Q}{\int_{t_1}^{t_2} S(t)\,dt}, \tag{14}$$

где S_{max} — пиковое значение электрического выходного сигнала детектора S(t).

Примечание — Если измерение энергии импульсного лазерного излучения не требуется (т. е. детектор, применяемый для определения формы импульса, калиброван в единицах абсолютных значений мощности лазерного излучения), то значения $P(t)$ и $S_{пик}$ могут быть вычислены непосредственно по значению $S(t)$.

Средние значения $\tau_и$, τ_{10}, $\tau_н$, $\tau_{сп}$ и $P_{пик}$, а также соответствующие расширенные относительные неопределенности $U_{отн}(\overline{\tau}_и)$, $U_{отн}(\overline{\tau}_{10})$, $U_{отн}(\overline{\tau}_н)$, $U_{отн}(\overline{\tau}_{сп})$ и $U_{отн}(\overline{P}_{пик})$ вычисляют, используя соответствующие стандартные отклонения $s_{\overline{m}}$ от средних значений, а также расширенные относительные неопределенности соответствующих калибровочных коэффициентов $U_{отн}$(K) согласно 8.1.

8.7 Определение стабильности длительности импульса лазерного излучения

Для определения стабильности длительности импульса вычисляют значение относительной флуктуации длительности импульса $\Delta\tau_и$ (или $\Delta\tau_{10}$) с использованием среднего значения $\overline{\tau}_и$ (или $\overline{\tau}_{10}$) и стандартного отклонения $s_и$ (или s_{10}) по 100 отсчетам в соответствии с 7.7 по формуле

$$\Delta\tau_и = \frac{2s_и}{\overline{\tau}_и} \text{ или } \Delta\tau_{10} = \frac{2s_{10}}{\overline{\tau}_{10}}. \quad (15)$$

8.8 Определение частоты следования импульсов лазерного излучения

Для определения частоты следования импульсов используют результаты измерений, выполненных в соответствии с 7.8.

Вычисляют расширенную относительную неопределенность измерений $U_{отн}(\overline{f}_и)$, выполненных при определении стандартного отклонения $s_{\overline{f}_и}$ и расширенной относительной неопределенности калибровочного коэффициента временного интервала $U_{отн}(K_T)$ или счетчика частоты импульсов, по формуле

$$U_{отн}(\overline{f}_и) = \sqrt{\frac{4\left(s_{\overline{f}_и}\right)^2}{\overline{f}_и^2} + \left(U_{отн}(K_T)\right)^2}. \quad (16)$$

8.9 Определение относительного уровня шума лазерного излучения

Вычисляют *RIN*, используя в качестве средних значений результаты измерений, проведенных в соответствии с 7.9, с учетом параметров усиления системы измерения.

8.10 Определение частоты среза слабого сигнала лазерного излучения

Частоту среза слабого сигнала вычисляют как среднее значение результатов измерений, выполненных в соответствии с 7.10.

9 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен содержать следующую информацию:

a) общие сведения:
   1) ссылка на настоящий стандарт,
   2) дата проведения испытаний (измерений),
   3) наименование и адрес организации, проводившей испытания (измерения),
   4) фамилия, инициалы, должность оператора, проводившего испытания (измерения);

b) сведения об испытуемом лазере:
   1) тип лазера,
   2) наименование изготовителя,
   3) товарный знак изготовителя,
   4) серийный номер;

c) условия испытаний (измерений):
   1) длина(ы) волны лазерного излучения,
   2) температура, выраженная в кельвинах (только для диодных лазеров — температура охлаждающей жидкости),
   3) режим излучения лазера (непрерывный или импульсный),
   4) установочные и регулируемые параметры лазера:
      - мощность или энергия выходного излучения,
      - ток или потребляемая энергия,
      - энергия импульса,
      - длительность импульса,
      - частота следования импульсов,
   5) модовая структура,
   6) поляризация,
   7) условия (состояние) окружающей среды;

d) сведения о методах и средствах испытаний (измерений):

1) методика выполнения испытаний (измерений),
2) детектор и система оцифровки:
   - постоянная времени детектора,
   - время задержки системы оцифровки (только для импульсных лазеров),
   - интервал времени измерения (только для импульсных лазеров),
3) формирующие оптические элементы и способ ослабления интенсивности излучения:
   - тип ослабителя излучения,
   - тип ослабителя (светоделителя) излучения,
   - тип фокусирующего элемента,
4) другие оптические элементы и устройства, использованные при проведении испытаний (измерений) (поляризаторы, монохроматоры и т. д.),
5) другие параметры или характеристики измерительной установки, влиявшие на результаты испытаний (измерений) (размеры апертур, опорная плоскость, оптическая ось, лабораторная система координат);

е) результаты испытаний (измерений):
1) для измерений в соответствии с 7.2:
   - средняя мощность $\overline{P}$,
   - расширенная относительная неопределенность измерений $U_{отн}(\overline{P})$,
2) для измерений в соответствии с 7.3:
   - относительная флуктуация мощности ΔP для соответствующего периода выборки [ΔP (1 мкс), и/или ΔP (1 мс), и/или ΔP (0,1 с), и/или ΔP (1 с)],
   - максимальные и минимальные отсчеты мощности во время испытаний (измерений),
   - *RIN* $R(f)$ на частоте f или в диапазоне частот [f_1, f_2],
3) для измерений в соответствии с 7.4:
   - среднее значение энергии импульсного лазерного излучения $\overline{Q}$,
   - расширенная относительная неопределенность измерений $U_{отн}\overline{Q}$),
4) для измерений в соответствии с 7.5:
   - относительная флуктуация энергии импульсного лазерного излучения ΔQ,
   - процедура выборки измеряемых импульсов из нерегулярной последовательности,
   - максимальный и минимальный отсчеты энергии во время испытаний (измерений),
5) для измерений в соответствии с 7.6:
   - среднее значение длительности импульса лазерного излучения $\overline{\tau}_и$,
   - среднее значение десятипроцентной длительности импульса лазерного излучения $\overline{\tau}_{10}$,
   - среднее значение времени нарастания импульса лазерного излучения $\overline{\tau}_н$,
   - среднее значение времени спада импульса лазерного излучения $\overline{\tau}_{сп}$,
   - график, отображающий типичную временную форму импульса лазерного излучения $P(t)$, (т. е. временной профиль импульса лазерного излучения),
   - средняя пиковая мощность импульсного лазерного излучения $\overline{P}_{пик}$,
   - соответствующие расширенные относительные неопределенности измерений средних значений $U_{отн}$,
6) для измерений в соответствии с 7.7:
   - относительная флуктуация длительности импульса $\Delta\tau$ ($\Delta\tau_и$ и/или $\Delta\tau_{10}$),
   - максимальный и минимальный отсчеты длительности импульса во время испытаний (измерений),
7) для измерений в соответствии с 7.8:
   - средняя частота следования импульсов лазерного излучения $\overline{f}_и$,
   - расширенная относительная неопределенность измерений средней частоты следования импульсов лазерного излучения $U_{отн}(\overline{f}_и)$,
8) для измерений в соответствии с 7.9:
   - центральная частота и эквивалентная ширина полосы шума,
   - *RIN* $R(f)$,
9) для измерений в соответствии с 7.10:
   - средняя частота среза слабого сигнала лазерного излучения $\overline{f}_с$.

Приложение А
(справочное)

Дополнительные сведения об относительном уровне шума лазерного излучения

Зависимость мощности лазерного излучения от периода измерения $P(t)$ может быть записана как $P(t) = P_0 + \Delta P(t)$, где $P_0 = \langle P \rangle$ — средняя (усредненная) мощность, а $\Delta P(t)$ — флуктуация мощности.

В диапазоне частот относительный уровень шума лазерного излучения $R(f)$ представляет собой одностороннюю спектральную плотность колебаний мощности, вычисленную с применением P^2_0 *по формуле*

$$R(f) = \frac{S_{\Delta P}(f)}{P_0^2}, \tag{A.1}$$

где $S_{\Delta P}(f) = \lim_{T \to \infty} \frac{4\pi |V_T(f)|^2}{T}$ с $V_T(f) = \int_{-T/2}^{T/2} \Delta P(t) e^{-2\pi i f t} dt$.

Кроме того, $R(f)$ может быть вычислена исходя из автокорреляционной функции $K_{\Delta P}(\tau)$ *по формуле*

$$K_{\Delta P}(\tau) = \langle \Delta P(t)\, \Delta P(t+\tau) \rangle, \tag{A.2}$$

поскольку Фурье-преобразование функции $K_{\Delta P}(\tau)$ — это функция спектральной плотности $S_{\Delta P}(f)$ и наоборот:

$$S_{\Delta P}(f) = 4 \int_0^{\infty} K_{\Delta P}(\tau) e^{-2\pi i f \tau} d\tau. \tag{A.3}$$

Отношение сигнал/шум *SNR* системы с полосой пропускания $[f_L, f_H]$ является обратной величиной к *RIN*, проинтегрированной по всем спектральным компонентам колебаний оптической мощности в полосе пропускания системы, которое вычисляют по формуле

$$SNR = \frac{P_0^2}{\langle \Delta P(t)^2 \rangle} = \left[\int_{f_L}^{f_H} R(f) df \right]^{-1}. \tag{A.4}$$

Так как электрическая мощность $P_э$ пропорциональна квадрату тока i и, следовательно, квадрату оптической мощности $P_{опт}$, т. е.

$$P_э \propto i^2 \propto P^2_{опт}, \tag{A.5}$$

то приведенное определение согласуется с определением электрического *SNR*, которое представляет собой отношение (электрических) мощностей переменного P_{AC} и постоянного P_{DC} — токов $P_{сигн}/P_ш = P_{AC}/P_{DC}$.

Шум лазерного излучения состоит из пуассоновского и избыточного шумов.

Пуассоновский *RIN* непосредственно связан с квантовой природой когерентного излучения:

$$R(f) df = \frac{2}{n_t} df, \tag{A.6}$$

где $n_t = \frac{dn}{dt}$ — число фотонов в единицу времени в потоке излучения с оптической частотой ν.

Так как

$$n_t = \frac{P_0}{h\nu}, \tag{A.7}$$

где h — постоянная Планка, отсюда следует

$$R(f) df = \frac{2h\nu}{P_0} df. \tag{A.8}$$

Полученное соотношение отображает минимальный относительный уровень шума в классическом (лазерном) излучении, часто называемый стандартным квантовым пределом.

Избыточный *RIN* представляет собой, как правило, положительное превышение пуассоновского *RIN* (например, вызванный спонтанным излучением). Исключением является сжатие излучения с отрицательным избыточным шумом (*RIN* < 0), но с увеличенным фазовым шумом.

Так как пуассоновский *RIN* связан с количеством фотонов, он обратно пропорционален эффективности η систем передачи и преобразования излучения, в то время как избыточный *RIN* при ослаблении излучения остается неизменным. Также следует учитывать возможность наличия шума других источников, таких как независящий от мощности тепловой шум, джонсоновский шум, создаваемый приемниками лазерного излучения. Эти шумы по-разному влияют на пуассоновский и избыточный шумы, что следует учитывать при вычислении *RIN* лазерного излучения.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного национального стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ Р 58373—2019 (ИСО 11145:2018)	MOD	ISO 11145:2018 «Оптика и фотоника. Лазеры и лазерное оборудование. Глоссарий и обозначения»

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта:

- MOD — модифицированный стандарт.

Библиография

[1] ИСО/МЭК Руководство 99 Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM) [International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)]

УДК 537.872:006.354 ОКС 31.260

Ключевые слова: оптика и фотоника, лазеры и лазерное оборудование, методы определения мощности, энергии и временных характеристик лазерного излучения

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 19.10.2021. Подписано в печать 27.10.2021. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,20.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru