ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 58371— 2019 (ИСО 21254-3:2011)

Оптика и фотоника

ЛАЗЕРЫ И ЛАЗЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Методы определения порога лазерного разрушения

Часть 3

Обеспечение достоверности результатов испытаний на лучевую стойкость

(ISO 21254–3:2011, Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser-induced damage threshold — Part 3: Assurance of laser power (energy) handling capabilities, MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

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 27 сентября 2019 г. № 810-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 21254-3:2011 «Лазеры и лазерное оборудование. Методы испытаний пороговых значений повреждений, вызванных лазерным излучением. Часть 3. Обеспечение характеристик управляемости мощности (энергии) лазера» (ISO 21254-3:2011 «Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser-induced damage threshold — Part 3: Assurance of laser power (energy) handling capabilities», MOD) путем изменения отдельных слов и фраз, которые выделены в тексте курсивом; исключения раздела 4 «Обозначения» как избыточного, поскольку все обозначения приведены в терминологических статьях.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

6 Некоторые элементы настоящего стандарта могут быть объектами патентных прав. Международная организация по стандартизации (ИСО) не несет ответственности за установление подлинности каких-либо или всех таких патентных прав

*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, 2011 — Все права сохраняются
© Стандартинформ, оформление, 2019

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

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и фотоника

ЛАЗЕРЫ И ЛАЗЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Методы определения порога лазерного разрушения

Часть 3
Обеспечение достоверности результатов испытаний на лучевую стойкость

Optics and photonics. Lasers and laser-related equipment.
Methods for determination of laser-induced damage threshold.
Part 3. Assurance of laser power (energy) handling capabilities

Дата введения — 2020—09—01

ВНИМАНИЕ!

Экстраполяция данных по лазерному разрушению может привести к переоценке порога лазерного разрушения (*ПЛР*). В случае токсичных материалов (таких как ZnSe, GaAs, CdTe, ThF4, халькогениды, Be, Cr, Ni), это может стать причиной опасности для здоровья, см. *ГОСТ Р 58369—2019* (*приложение А*).

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает два метода проверки лучевой стойкости, т. е. диапазона значений мощности (энергии) лазерного излучения, при котором на поверхностях оптических компонентов не возникает разрушения. Первый метод содержит все испытания в соответствии с заданным уровнем доверия в совокупности знаний о потенциальных дефектах. Второй метод содержит простые, и, соответственно, недорогостоящие испытания на уровне, важном на практике.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 58369—2019 (ИСО 21254-1:2011) Оптика и фотоника. Лазеры и лазерное оборудование. Методы определения порога лазерного разрушения. Часть 1. Основные положения, термины и определения

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 *ГОСТ Р 58369*, а также следующие термины с соответствующими определениями:

Издание официальное

3.1 **уровень лучевой нагрузки ϕ, *Дж/см²*, *Вт/см²*, *Вт/см*** (assurance level ϕ): Плотность энергии/плотность мощности/линейная плотность мощности лазерного излучения, воздействующего на оптическую поверхность испытываемого компонента.

3.2 **площадь нагрузки $A_ϕ$, *см²*** (assurance area $A_ϕ$): Площадь области, в которой значение $H(x,y,z)$ равно или превышает уровень лучевой нагрузки ϕ.

3.3 **уровень доверия γ** (confidence level γ): Вероятность положительного результата испытаний на лучевую стойкость при заданной лучевой нагрузке.

3.4 **пучок с однородным профилем** (flat-top beam): Пучок, имеющий значительную часть площади поперечного сечения пучка с почти неизменным уровнем лучевой нагрузки.

3.5 **облучаемая доля испытательной площади $f_{исп}$** (fraction of test area to be exposed f_{test}): Доля от площади поверхности оптического компонента, для которой необходимо провести облучение с целью достижения определенного уровня доверия.

3.6 **испытательная площадь $A_{исп}$, *см²*** (area to be tested A_{test}): Площадь поверхности оптического компонента, для которой необходимо провести облучение с целью достижения определенного уровня доверия.

3.7 **горизонтальное перекрытие $Ω_x$** (horizontal overlap $Ω_x$): Доля от площади пучка, которая перекрывается двумя последовательными импульсами в направлении x.

3.8 **вертикальное перекрытие $Ω_y$** (vertical overlap $Ω_y$): Доля от площади пучка, которая перекрывается двумя последовательными импульсами в направлении y.

3.9 **расстояние между испытательными участками $d_{уч}$** (distance between test sites d_{ts}): Отдаление одного испытательного участка от ближайшего.

4 Методы испытаний

4.1 Настоящий стандарт описывает методы, которые обеспечивают достоверность результатов испытаний оптических компонентов на лучевую стойкость к воздействию плотности мощности (плотности энергии) излучения.

Данные методы используют в различных случаях применения, включая неразрушающий контроль, отбор образцов-свидетелей, выборочный контроль и проверку субапертуры. Уровень доверия того, что компонент не содержит дефектов с порогом лазерного разрушения (*ПЛР*) ниже допустимой мощности излучения, увеличивается вместе с процентным выражением доли испытательной площади. Эта зависимость уровня доверия приведена в приложениях В и С.

Значение необходимого уровня доверия и число импульсов на испытуемом участке (испытание «1 на 1» или «С на 1»), а также частоту повторения импульсов, при которой будут проводиться испытания, устанавливают по согласованию между испытательным центром и пользователем/изготовителем компонента. Кроме того, определяют следующие параметры: площадь нагрузки $A_ϕ$, расстояние между испытательными участками, $d_{уч}$ и общее число испытательных участков $N_{общ}$, подлежащих облучению.

Аппаратуру, общие принципы и отбор проб для испытаний см. в *ГОСТ Р 58369*. Для обеспечения достоверности результатов испытаний применяют лазерную систему, оснащенную системой формирования пучка лазерного излучения с воспроизводящимся однородным профилем.

При испытании отобранные испытательные участки на поверхности образца подвергают согласованной или заданной нагрузке в виде воздействия лазерного излучения, последовательному облучению доли площади поверхности образца и проверке отсутствия разрушения. Для достижения заданного уровня доверия необходимо обеспечить облучение достаточного числа испытательных участков на оптической поверхности.

Поскольку обнаружение разрушения соответствует отрицательному результату, испытание проводят в рамках неразрушающего контроля компонентов, если это уместно.

Для обнаружения разрушения проводят технический осмотр испытательного участка под микроскопом до и после облучения.

Лучевую стойкость оптической поверхности, работающей с лазерными импульсами короткой длительности, обычно выражают в единицах плотности энергии, т. е. в джоулях на квадратный сантиметр.

Лучевую стойкость оптической поверхности, работающей с непрерывным или квазинепрерывным лазерным излучением, обычно выражают в единицах линейной плотности мощности, т. е. в ваттах на сантиметр.

Подходящим для масштабирования результатов, полученных при помощи непрерывных и квазинепрерывных лазеров, физическим параметром является линейная плотность мощности, выраженная в ваттах на сантиметр.

4.2 Методы испытаний

4.2.1 Испытания на лучевую стойкость (способность оптической поверхности выдерживать лазерное излучение) можно провести двумя методами:

- метод 1 позволяет определить уровень доверия, который допускает наличие не более чем заданного числа дефектов на испытательной площади, см. 5.2.2;

- метод 2 разрабатывают, как правило, для эмпирических испытаний образцов конкретного типа в условиях промышленного производства для обеспечения высокоскоростного экономически выгодного контроля продукции. Критерии проведения испытаний см. в 5.2.3.

4.2.2 Метод 1

В зависимости от применения оптического компонента, выбирают уровень лучевой нагрузки ϕ, уровень доверия γ и число дефектов $N_д$ на образец (обычно входит в обязанность пользователя).

Для определения значений $f_{исп}$ и $A_{исп}$ используют график операционно-характеристической зависимости, показанный на рисунке 1.

$A_ф$ определяют (путем измерения) из распределения плотности мощности или плотности энергии облучающего пучка в плоскости мишени.

Общее число испытательных участков $N_{общ}$ вычисляют по формуле

$$N_{общ} = \frac{A_{исп} \cdot f_{исп}}{A_ф}. \quad (1)$$

Расстояние между испытательными участками $d_{уч}$ определяют для шестиугольных плотноупакованных решеток и для квадратных решеток по формулам:

$$d_{уч} = \sqrt{\frac{2A_{исп}}{N_{общ}\sqrt{3}}} \text{ — для шестиугольных плотноупакованных решеток;} \quad (2)$$

$$d_{уч} = \sqrt{\frac{A_{исп}}{N_{общ}}} \text{ — для квадратных решеток.} \quad (3)$$

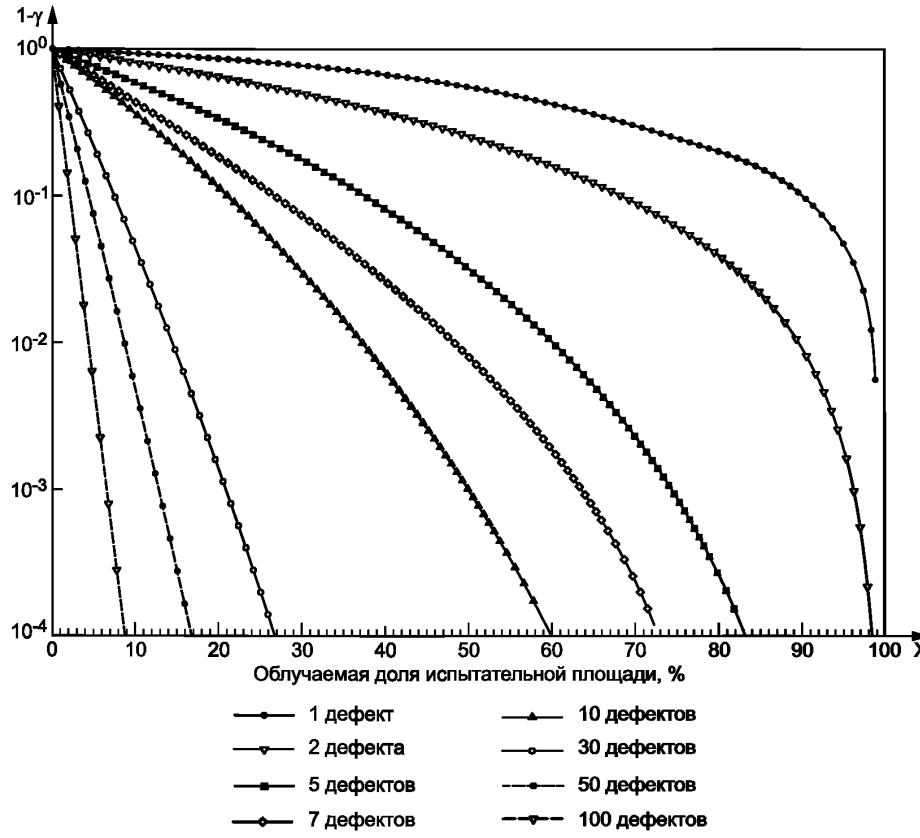
Горизонтальное перекрытие Ω_x вычисляют по формуле

$$\Omega_x = \frac{\iint H(x,y) \cdot H\left(x - d_{уч}, y\right) dxdy}{\iint H(x,y)^2 \, dxdy}. \quad (4)$$

В некоторых случаях без надлежащего контроля условий проведения испытаний определения лучевой стойкости оказывается невозможным, т. е. при Ω_x или $\Omega_y << 1$. Если $H(x, y)$ не обладает достаточной симметрией, то необходимо определить Ω_y и, по возможности, использовать другое расстояние между испытательными участками в направлениях x и y:

$$\Omega_y = \frac{\iint H(x,y) \cdot H\left(x, y - d_{уч}\right) dxdy}{\iint H(x,y)^2 \, dxdy}. \quad (5)$$

$N_{общ}$ подвергают облучению шаг за шагом. Каждый испытательный участок должен быть отдален на расстояние, соответствующее длине ребра $d_{уч}$ равнобедренного шестиугольника для шестиугольной плотной упаковки. При испытаниях «С на 1» каждый испытательный участок подвергают воздействию излучения с необходимым для конкретного применения числом импульсов. Оптический компонент считают не прошедшим испытание на лучевую стойкость, а результат испытаний отрицательным, если на каком-либо участке возникло разрушение, компонент должен быть утилизирован. Результат испытаний считают положительным, если испытуемый оптический компонент выдержал лучевую нагрузку без разрушений на всех испытательных участках.



Примечание — Вывод представленной на рисунке 1 зависимости, называемой операционно-характеристической (ОХ), основан на преобладании механизма разрушения на дефектах. Подробности о выводе ОХ зависимости приведены в приложении С.

Рисунок 1 — График операционно-характеристической зависимости

4.2.3 Метод 2

Для испытаний методом 2 должны быть установлены и проконтролированы следующие параметры:

- уровень лучевой нагрузки ф;
- площадь нагрузки $A_ф$;
- число испытательных участков $N_{общ}$;
- число импульсов воздействия на каждый участок S;
- частота повторения импульсов в испытании «С на 1» $f_и$;
- расстояние между испытательными участками $d_{уч}$.

Если пользователь не определяет перечисленные параметры, то в испытательной лаборатории следует использовать максимальную площадь пятна, при которой может быть достигнут достаточный уровень лучевой нагрузки. В испытательной лаборатории также следует предложить схему облучения без перекрытия пятен (например, 10 рядов по 10 отдаленных пятен в центральной части испытательной площади).

Пример испытания методом 2 см. в приложении В.

5 Точность

Расчет погрешности поверки, как указано в *ГОСТ Р 58369*, должен быть выполнен для определения общей точности измерительной установки. В расчете погрешности учитывают изменение частоты повторения импульсов, общую энергию или мощность пучка, а также профиль пучка и форму импульса.

6 Протокол испытаний

В протокол испытаний включают информацию по *ГОСТ Р 58369—2019*, раздел 8, перечисления a)—c), метод испытания, а также следующую информацию:

a) условия испытания:
- настройки параметров лазерной системы;
- площадь нагрузки;
- энергия импульса;
- длительность импульса;
- частота повторения импульсов;

b) результаты испытаний:
- прошла ли деталь испытание;
- если не прошла, необходимо включить микрофотоснимок с изображением участка с разрушением.

Пример представлен в приложении А.

Приложение А
(справочное)

Пример протокола испытаний

Испытания на лучевую стойкость проведены по ГОСТ Р 58371—2019.

Наименование испытательной организации	
Испытатель/дата:	/ xx/xx/xxxx
Образец	
Тип образца:	Исходная деталь, СО при 193 нм на CaF2
Изготовитель:	Blinding Light Optical, Салем, Массачусетс, США
Хранение, очистка:	Нормальные лабораторные условия
Спецификация:	«Глухое» зеркало, R > 99,5 % при 193 нм, угол падения – 0 рад., стандартное покрытие для нормального использования в эксимерных лазерах
Код детали, дата производства:	BLO, 05.10.2019
Серийный номер детали:	BLO 3328-5570-193
Спецификация испытания	
Параметры лазера	
Длина волны:	193 нм
Угол падения:	0 рад.
Состояние поляризации:	не поляризовано
Частота повторения импульсов:	200 Гц
Эффективный диаметр луча в плоскости мишени:	6,6 мм *(см. рисунок А.2)*
Длительность импульса:	13,0 нс
Эффективная длительность импульса:	12,5 нс *(см. рисунок А.1)*

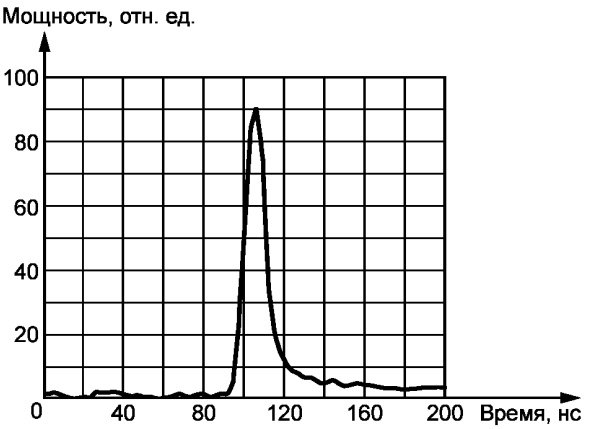
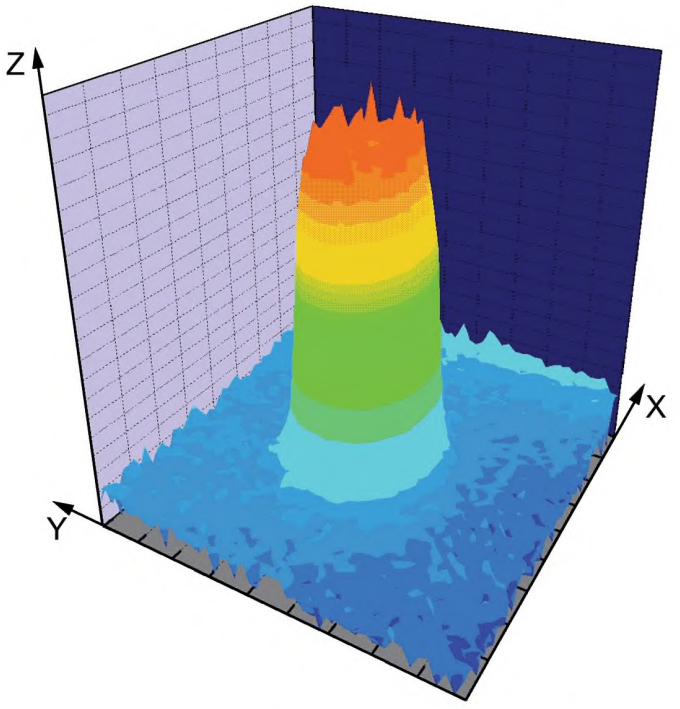


Рисунок А.1 — Форма импульса



X — масштаб длины, мкм; *Y* — масштаб длины, мкм; *Z* — плотность энергии, отн.ед.

Рисунок А.2 — Профиль пучка

Суммарная погрешность

a) Случайные погрешности:

Энергетическая нестабильность от импульса к импульсу	±7 %
Нестабильность пространственного профиля от импульса к импульсу	±3 %
Нестабильность формы от импульса к импульсу	±10 %

b) Систематические погрешности:

калибровка монитора измерителя энергии	±8 %
общая воспроизводимость измерения плотности энергии	±8 %
общая неопределенность измерения плотности энергии	±10 %

Методика испытаний

Метод испытаний:	метод 1
Уровень лучевой нагрузки:	6,5 МДж/см^2
Уровень доверия:	97 %
Плотность дефектов на деталь:	5
Испытательная площадь:	4,9 см^2
Испытание с заданными условиями? (Да или Нет):	Нет
Частота повторения импульсов:	200 Гц
Число импульсов на один участок:	100 000
Число импульсов на один образец:	800 000
Расположение испытательных участков:	шестиугольная плотная упаковка (см. рисунок А.3)
Расстояние между испытательными участками:	6,7 мм
Число испытуемых образцов:	1

Общее число испытательных участков:	8
Обнаружение разрушения:	осмотр после испытания, микроскоп Номарского
Хранение образца:	упаковка изготовителя, ПЭ, нормальные комнатные условия
Испытательная среда:	чистая, с отфильтрованным воздухом
Очистка:	ручная очистка бумагой для протирки оптических стекол, изопропанол и ацетон
Результаты испытаний:	пройдено

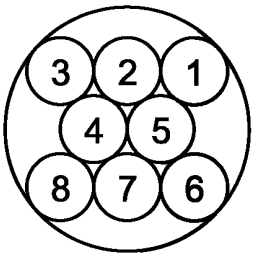


Рисунок А.3 — Расположение испытательных участков

Приложение В
(справочное)

Примечания по использованию

В.1 В данном приложении описывается применение настоящего стандарта к оформлению стандартного задания для испытательной лаборатории, испытаниям конкретного образца и к подготовке протокола испытаний.

Стандартное задание на проведение испытаний на лучевую стойкость может выглядеть следующим образом:

«Оптическая поверхность с покрытием должна быть аттестована при нагрузке 10 Дж/см^2 на уровне доверия 95 % в отношении того, что внутри световой апертуры присутствует не более двух участков, приводящих к образованию разрушения. Световая апертура детали имеет площадь 10 см^2.»

В.2 Испытание методом 1

Параметры для проведения испытаний на лучевую стойкость приведены в задании, приведенном в последних двух предложениях пункта В.1.

Шаг 1. Определяют долю испытательной площади, $f_{исп}$, для которой требуется провести облучение на уровне 10 Дж/см^2 для аттестации на уровне доверия 95 % того, что присутствует не более двух участков, приводящих к образованию разрушения. Для определения $f_{исп}$, см. рисунок 1. Используя рисунок В.1, проводят следующие построения. Чертят горизонтальную линию (А) со значением 0,05, данное значение будет дополнением до 100 % доверия (что можно также назвать риском). Продолжают эту линию до пересечения с графиком зависимости для $N_д$ = 2, т.е. до точки Р. Затем чертят линию (В), перпендикулярную к А в точке Р. Пересечение В с горизонтальной осью указывает на долю испытательной площади, т. е. 0,77 или 77 %, см. рисунок В.1.

Шаг 2. Определяют площадь пятна лазерного излучения, соответствующую уровню лучевой нагрузки 10 Дж/см^2 или выше, A_{10}. Для определения A_{10} требуется знать пространственный профиль, $H(y, z)$. В приведенном примере принимается, что пространственное распределение плотности энергии представляет собой идеальное однородное в виде цилиндра с радиусом 1 мм, а именно:

$$H(y,z) = \begin{cases} H_0, & \text{если } \sqrt{y^2+z^2} \le 1 \text{ мм} \\ 0, & \text{если } \sqrt{y^2+z^2} > 1 \text{ мм.} \end{cases} \quad (В.1)$$

Для такого распределения плотности энергии A_{10} равно π мм^2, т. е. 0,031 см^2.

Шаг 3. Следующий шаг — это расчет числа испытательных участков, $N_{общ}$, необходимое, чтобы подвергнуть 77 % световой апертуры, $A_{исп}$, воздействием 10 Дж/см^2:

$$N_{общ} = \frac{A_{исп} f_{исп}}{A_{10}} = 249. \quad (В.2)$$

Шаг 4. Определение расстояния между испытательными участками является следующим шагом. Наиболее эффективным расположением двухмерной решетки является шестиугольная плотноупакованная решетка, в которой каждый участок имеет шесть соседних участков, каждый из которых находится на равном расстоянии. Если расстояние между испытательными участками обозначается через $d_{уч}$, то

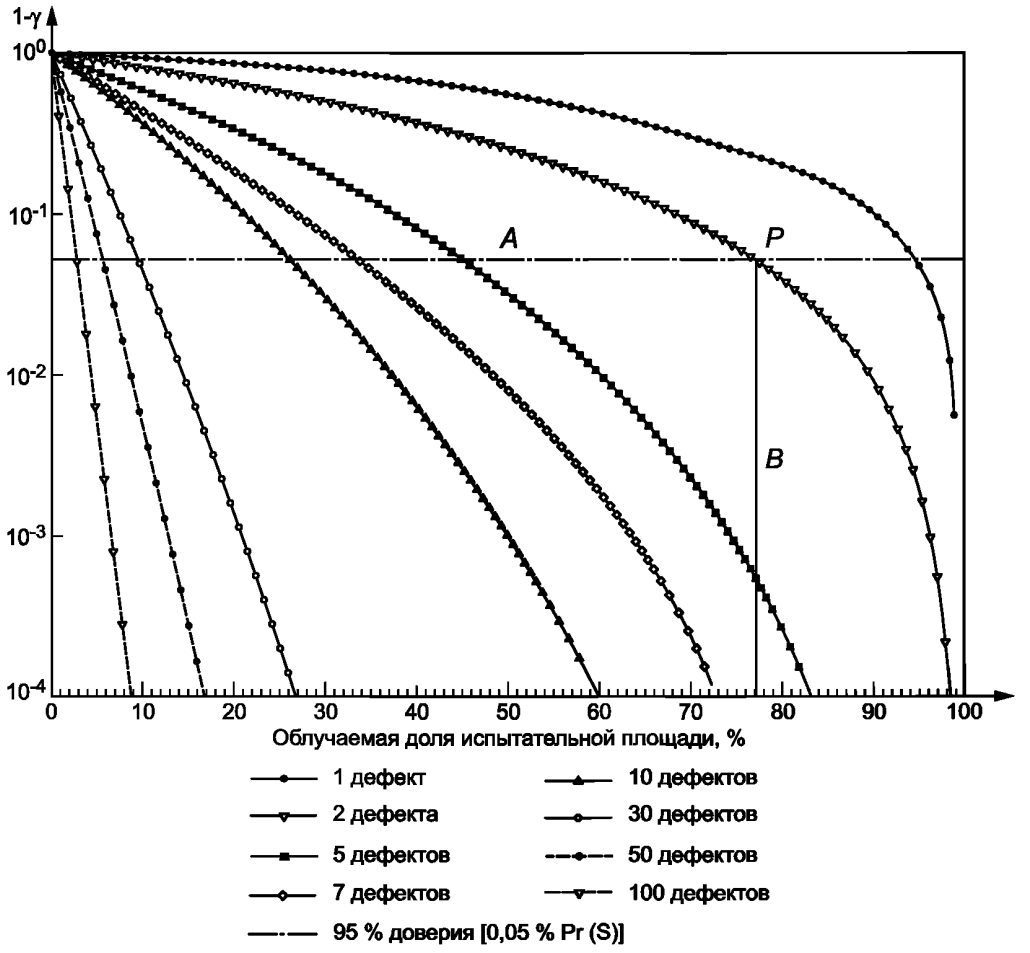
$$d_{уч} = \sqrt{\frac{2A_{исп}}{N_{общ}\sqrt{3}}} \text{ — для шестиугольных плотноупакованных решеток;} \quad (В.3)$$

$$d_{уч} = \sqrt{\frac{A_{исп}}{N_{общ}}} \text{ — для квадратных решеток.} \quad (В.4)$$

Шаг 5. Расчет $d_{уч}$ в данном случае приводит к расстоянию между центрами участков 1,9 мм для шестиугольной плотной упаковки.

Шаг 6. В настоящем случае перекрытие отсутствует, т. к. $d_{уч}$ больше диаметра пятна. Таким образом, $\Omega = 0$.

Шаг 7. Облучение детали является последним шагом методики. Деталь подвергается воздействию 249 раз на расстоянии 1,9 мм между участками, при этом каждый из них контролируется на наличие разрушения. Если ни на одном из облученных испытательных участков не обнаружено разрушения, то делается заключение о том, что деталь прошла испытания.



A — горизонтальная линия; *B* — перпендикулярная линия; *P* — пересечение линий *A* и *B*

Рисунок В.1 — Облучаемая доля испытательной площади, которую необходимо подвергнуть испытаниям для достижения уровня доверия γ, для разных значений $N_д$

В.3 Испытание методом 2

При испытании методом 2 регистрируют следующие параметры:

- *уровень лучевой нагрузки* ϕ;
- *площадь нагрузки* $A_ϕ$;
- *число испытательных участков* $N_{общ}$;
- *число импульсов на испытательный участок S*;
- *частоту повторения импульсов* $f_и$, *если S > 1*;
- *расстояние между испытательными участками* $d_{уч}$.

Для целей данного примера принимается, что испытание проводится на окне размерами 5 на 5 см.

Процесс и параметры, приведенные в настоящем стандарте, на практике должны быть определены достаточно точно для получения воспроизводимых результатов. Здесь не будет приведено указаний относительно значений параметров для испытания по методу 2. Это ответственность пользователя, изготовителя или испытательной организации.

По окну размерами 5 на 5 см пользователь определил следующие значения:

- *уровень лучевой нагрузки,* $ϕ = 10$ *Дж/см*^{2};
- *площадь нагрузки,* $A_ϕ = 15$ *мм*^{2};
- *число испытательных участков,* $N_{общ} = 5$;
- *число импульсов на исследуемую область,* $S = 200$;
- *частоту повторения импульсов,* $f_и = 20$ *Гц*;
- *расстояние между испытательными участками максимально возможное.*

В данном предполагаемом случае испытательный участок 1 испытываемого окна первоначально подвергается воздействию 200 импульсов (см. рисунок В.2). При отсутствии разрушения лазерный пучок перемещают

на участок 2, который также подвергается воздействию 200 импульсов. Данный процесс продолжается до тех пор, пока все пять участков не будут подвержены воздействию 200 импульсов либо пока не будет обнаружено разрушение.

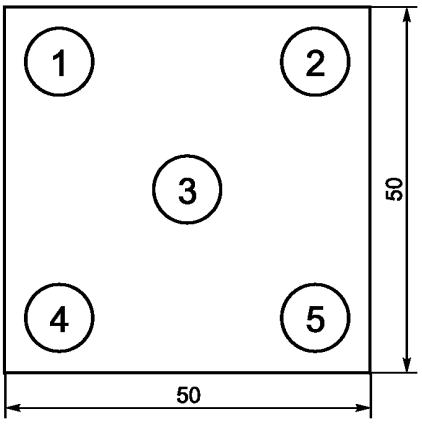


Рисунок В.2 — Схема расположения пятен при испытании методом 2 (типичная)

Приложение С
(справочное)

Вывод операционно-характеристической зависимости

В настоящем приложении представлена подробная информация о выводе операционно-характеристической зависимости вероятности положительного результата испытаний на лучевую стойкость доли испытательной площади, характеризующейся количеством разрушений на дефектах, $N_д$.

Вывод зависимости начинается определения вероятности разрушения первым импульсом, обозначенной $P(D_1)$, которая определяется следующим образом:

$$P(D_1) = 1 - e^{\frac{-A_ф N_д}{A_{исп}}}. \quad (С.1)$$

Вероятность неразрушения (отсутствия разрушения) после воздействия первого импульса, обозначаемая $P(ND_1)$, а именно:

$$P(ND_1) = e^{\frac{-A_ф N_д}{A_{исп}}}. \quad (С.2)$$

Вероятность неразрушения после воздействия второго импульса — произведение вероятностей неразрушения после первого и после второго импульсов. Значение $P(ND_2)$ определяется следующим образом:

$$P(ND_2) = e^{\frac{-A_ф N_д}{A_{исп} - A_ф}}. \quad (С.3)$$

Причиной вычитания $A_ф$ является отсутствие дефектов в первом пятне, поэтому дефекты $N_д$ находятся в оставшейся доле $A_{исп}$. Таким образом, вероятность неразрушения при втором импульсе, $P(S_2)$, определяется следующим образом:

$$P(S_2) = P(ND_1) \cdot P(ND_2) = e^{\frac{-A_ф N_д}{A_{исп}}} \cdot e^{\frac{-A_ф N_д}{A_{исп} - A_ф}}. \quad (С.4)$$

Из уравнения (С.4) понятно, что значение $P(S_n)$, вероятность неразрушения после n-го импульса, определяется следующим образом:

$$P(S_n) = e^{\frac{-A_ф N_д}{A_{исп}}} \cdot e^{\frac{-A_ф N_д}{A_{исп} - A_ф}} \ldots e^{\frac{-A_ф N_д}{A_{исп} - (n-1)A_ф}}. \quad (С.5)$$

Уравнение (С.5) можно записать в безразмерном виде путем вычитания $A_{исп}$ из экспонент следующим образом:

$$P(S_n) = e^{\frac{-A_ф N_д}{A_{исп}}} \cdot e^{\frac{\frac{-A_ф N_д}{A_{исп}}}{1 - \frac{-A_ф}{A_{исп}}}} \ldots e^{\frac{\frac{-A_ф N_д}{A_{исп}}}{1 - (n-1)\frac{-A_ф}{A_{исп}}}}. \quad (С.6)$$

Пусть $u = \frac{A_ф}{A_{исп}}$, т. е. отношение площади лазерного пятна к испытательной площади, то видно, что u является обратной величиной числа испытательных участков, необходимых для подвергания $A_{исп}$ воздействию. Таким образом, величина $(n-1)u$ представляет собой облученную долю от испытательной площади до n-го импульса. Таким образом, уравнение (С.6) можно записать так:

$$P(S_n) = e^{-uN_д} \cdot e^{\frac{-uN_д}{1-u}} \ldots e^{\frac{-uN_д}{1-(n-1)u}}. \quad (С.7)$$

График уравнения (С.7) приведен на рисунке С.1.

На рисунке С.1 показано, что $P(S_n)$ будет сильно изменяться от числа дефектов и необходимой доли площади нагрузки. Кроме того, $P(S_n)$ монотонно убывает по мере увеличения испытательной площади. Таким образом, отсутствие разрушения после испытаний можно интерпретировать как определение того, что в пределах площади нагрузки дефектов обнаружено менее $N_д$. Однако существует конечная вероятность того, что проверяемая оптическая поверхность будет преждевременно разрушена или число дефектов на ней будет превышать $N_д$, но она не будет разрушена. Чем меньше данная конечная вероятность, тем выше достоверность того, что число дефектов на площади нагрузки не превышает $N_д$. Следовательно, γ принимается за достоверность результатов испытания на стойкость.

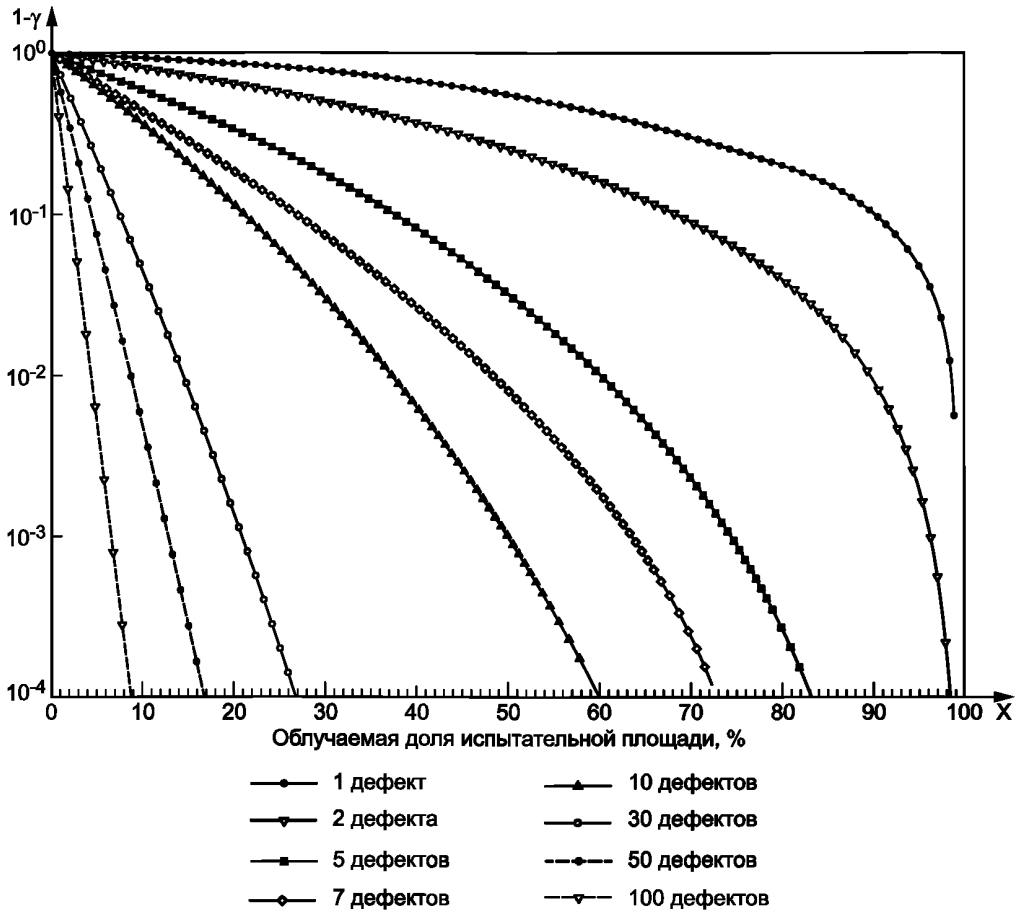


Рисунок С.1 — График операционно-характеристической зависимости

Например, если исследование проводится на небольшом участке, ожидается, что оптическая поверхность не будет разрушена при условии отсутствия областей с высокой концентрацией дефектов. Таким образом, достоверность результатов испытания небольшого участка, определяющая максимальное число дефектов на площади нагрузки, низкая, при этом значение γ мало. И наоборот, если проводится облучение достаточно большой доли испытательной площади, становится возможным определить $N_д$ даже между значениями 1 и 2. В результате значение γ велико, и вывод о том, что на площади нагрузки число дефектов меньше, чем $N_д$, обладает высокой достоверностью. Это приводит к приравниванию γ к достоверности.

УДК 681.7:621.389:006.354 ОКС 31.260

Ключевые слова: оптика и фотоника, лазеры, лазеры и лазерное оборудование, методы определения порога лазерного разрушения, обеспечение достоверности результатов испытаний

БЗ 9—2019/9

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

Сдано в набор 03.10.2019. Подписано в печать 22.10.2019. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,68.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru