ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 54836— 2011

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛАЗЕРНОЙ АППАРАТУРЫ

Часть 13

Измерения для классификации лазерной аппаратуры

IEC/TR 60825-13: 2006
Safety of laser products – Part 13:
Measurements for classification of laser products
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией «Научно-технический центр сертификации электрооборудования «ИСЭП» (АНО «НТЦСЭ «ИСЭП») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 452 «Безопасность аудио-, видео-, электронной аппаратуры, оборудования информационных технологий и телекоммуникационного оборудования»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011 г. № 1238-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному документу МЭК/ТО 60825-13:2006 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 13. Измерения для классификации лазерной аппаратуры» (IEC/TR 60825-13:2006 «Safety of laser products–Part 13: Measurements for classification of laser products»).

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). 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 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.ru)

© Стандартинформ, 2014

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

Введение

Международная электротехническая комиссия (МЭК) является всемирной организацией по стандартизации, включающей все национальные комитеты (Национальные комитеты МЭК). Целью МЭК является развитие международного сотрудничества по всем вопросам стандартизации в области электрической и электронной аппаратуры. По указанному и другим видам деятельности МЭК публикует международные стандарты. Их подготовка возлагается на технические комитеты. Любой национальный комитет МЭК, заинтересованный данным вопросом, может участвовать в этой подготовительной работе. Международные, правительственные и неправительственные организации, сотрудничающие с МЭК, также участвуют в подготовительной работе. МЭК тесно сотрудничает с Международной организацией по стандартизации (ИСО) в соответствии с условиями, определенными в соответствующем соглашении между двумя организациями.

Официальные решения или соглашения МЭК по техническим вопросам выражают, насколько это возможно, международное согласованное мнение по относящимся к делу вопросам, так как каждый технический комитет имеет представителей от всех заинтересованных национальных комитетов.

Выпускаемые документы имеют форму рекомендаций для международного использования, публикуются в виде стандартов, технических отчетов или руководств и принимаются национальными комитетами именно в таком понимании.

В целях содействия международной унификации (единой системе) национальные комитеты МЭК обязуются при разработке национальных и региональных стандартов брать за основу международные стандарты МЭК, насколько это позволяют условия данной страны. Любое расхождение между стандартами МЭК и соответствующими национальными или региональными стандартами должно быть ясно обозначено в последних.

МЭК не предусматривает процедуры маркировки и не несет ответственность за любое оборудование, заявленное на соответствие одному из стандартов МЭК.

Необходимо обратить внимание на то, что некоторые элементы настоящего международного стандарта могут являться предметом патентного права. МЭК не несет ответственность за установление любого такого патентного права.

Главной задачей технических комитетов МЭК является разработка международных стандартов. Тем не менее, технический комитет может предложить публикацию стандарта, когда он собрал данные различного вида из тех, что обычно публикуются в качестве международного стандарта, например отражающие «современный технический уровень».

Международный документ МЭК/ТО 60825-13 подготовлен техническим комитетом 76 «Безопасность оптического излучения и лазерная аппаратура».

Текст международного документа основан на следующих документах:

Первая редакция	Отчет о голосовании
76/332/DTR	76/345/RVC

Полную информацию о голосовании по одобрению настоящего международного документа можно найти в протоколе голосования, указанном в приведенной выше таблице.

Публикация настоящего международного документа является плановой в соответствии с Директивами ИСО/МЭК, Часть 2.

Настоящий международный документ должен использоваться совместно со стандартом МЭК 60825-1:1993 и Изменением 1 (1997) и Изменением 2 (2001) к нему, упомянутым в настоящем международном документе как «стандарт».

Перечень всех частей стандартов серии МЭК 60825, имеющих общее название «Безопасность лазерной аппаратуры», можно найти на веб-сайте МЭК.

Комитет принял решение, что содержание настоящего международного документа будет оставаться без изменения до даты результата пересмотра, указанного на веб-сайте МЭК gost.e-ecolog.ru в специальной публикации с необходимыми обоснованиями. После чего международный документ может быть:

- утвержден;
- отменен;
- заменен на пересмотренное издание;
- дополнен.

Поправка к ГОСТ Р 54836—2011/IEC/TR 60825-13:2006 Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 13. Измерения для классификации лазерной аппаратуры

В каком месте	Напечатано	Должно быть
Титульный лист, первая страница стандарта	**ГОСТ Р 54836—2011**	**ГОСТ Р 54836—2011/IEC/TR 60825-13:2006**
Библиографические данные	ОКС 13160:32.260	ОКС 13.100; 31.260

(ИУС № 2 2015 г.)

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛАЗЕРНОЙ АППАРАТУРЫ
Часть 13
Измерения для классификации лазерной аппаратуры

Safety of laser products. Part 13. Measurements for classification of laser products

Дата введения — 2013—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт обеспечивает производителей, испытательные центры, персонал, контролирующий безопасность труда, и других заинтересованных лиц практическим руководством по методам выполнения радиометрических измерений или анализа по установлению уровня эмиссии лазерной энергии согласно МЭК 60825-1. Процедуры измерений, описанные в настоящем стандарте, предназначены для руководства по классификации лазерной аппаратуры в соответствии с МЭК 60825-1. Допускаются другие процедуры, если они лучше или более подходящие.

Информация представлена для того, чтобы вычислить допустимые уровни излучения (ДПИ) и максимально возможные экспозиции (МВЭ), так как некоторые параметры, используемые при расчете пределов, являются зависимыми от значения других измеряемых параметров.

Настоящий стандарт применяется для лазеров, включая протяженные источники и лазерные матрицы. Пользователь настоящего стандарта должен быть осведомлен, что процедуры, описанные в настоящем стандарте, при рассмотрении протяженных источников дают результаты, которые могут уступать более стабильным результатам, полученным при использовании более точных методов.

Примечание – Продолжается работа над более сложными исходными оценками и она будет закончена при условии достижения международного соглашения по методам.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты, обязательные при его применении. Для датированных ссылок применяется только указанное издание. Для недатированных ссылок применяется последнее издание ссылочного документа, включая все изменения и поправки.

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

МЭК 60825-1:1993 Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования, требования и руководство пользователя (IEC 60825-1:1993 Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide [1)])

МЭК 61040 Приемники измерения мощности и энергии, приборы и устройства для лазерной радиации (IEC 61040, Power and energy measuring detectors, instruments and equipment for laser radiation)

ИСО 11554 Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерные установки. Методы проверки мощности, энергии и временных характеристик лазерного пучка (ISO 11554, Optics and optical instruments - Lasers and laser-related equipment - Test methods for laser beam power, energy and temporal characteristics)

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 стан-

[1)] Объединенное издание (1.2) содержит МЭК 60825-1 (1993) и его Изменения 1 (1997) и Изменения 2 (2001) [A consolidated edition comprising IEC 60825-1 (1993) and its Amendments 1 (1997) and Amendments 2 (2001)].

дарт, 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 МЭК 60825-1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **угловая скорость** (angular velocity): Скорость сканирующего пучка в радианах за секунду.

3.2 **профиль пучка** (beam profile): Распределение энергетической освещенности эффективного сечения пучка.

3.3 **перетяжка пучка** (beam waist): Минимальный диаметр осесимметричного пучка. Для асимметричных пучков, расположенных на разном расстоянии от источника, может быть сужение пучка вдоль каждой главной оси.

3.4 **приборы с зарядовой связью, CCD** (charge-coupled device, CCD): Электронно-оптические самосканирующие полупроводниковые преобразователи (формирователи) изображения, использующие металл-оксидую полупроводниковую (МОП) технологию, поверхностное запоминание и передачу информации.

3.5 **критическая частота** (critical frequency): Частота следования импульсов, выше которой импульсный лазер может быть отнесен к лазерам с непрерывным излучением при оценке возможной лазерной опасности.

3.6 **гауссовский профиль пучка** (Gaussian beam profile): Профиль лазерного пучка, который действует в низшей перпендикулярной моде, TEM_{00} (волна типа ТЕМ, $ПММ_{00}$).

Примечание – Гауссовский профиль пучка может быть сформирован также прохождением лазерными пучками не TEM_{00}-типа сквозь(через) пучок, сформированный оптическими элементами.

3.7 **измерительная апертура** (measurement aperture): Апертура, используемая для классификации лазера по мощности или энергии для их сравнения с допустимыми уровнями излучения (ДПИ) каждого класса.

3.8 **частота повторения импульса, PRF** (Pulse repetition frequency, PRF): Число импульсов в секунду, выражаемое в герцах (Гц).

3.9 **переключатель добротности** (Q-switch): Устройство для образования очень коротких, большой пиковой мощности импульсов лазера, полученных путем увеличения накопления и сброса энергии внутри и снаружи излучающей когерентный свет среды соответственно.

3.10 **лазер с переключателем добротности** (Q-switch laser): Лазер, излучающий короткие импульсы большой мощности с помощью переключателя добротности.

3.11 **релеевское расстояние, Z_r** (Rayleigh distance, Z_r): Расстояние от перетяжки пучка до точки, где диаметр пучка увеличивается в $2^{0,5}$ раза для гауссовского и подобного гауссовскому профиля пучка.

Примечание – Релеевское расстояние часто используют как конфокальный параметр.

3.12 **чувствительность, R** (responsivity, R): Производительность приемника (детектора), выраженная как величина R = O/I, где O – электрическая мощность приемника (детектора), а I – оптическая мощность или энергия на входе.

4 Назначение

4.1 Общие положения

Настоящий стандарт предназначен в качестве справочного руководства (но не имеющего ограничительный характер) для использования производителями, испытательными лабораториями, персоналом, контролирующим безопасность труда, представителями (чиновниками) промышленности и правительственными властями. Настоящий стандарт содержит также интерпретацию МЭК 60825-1 касающихся вопросов измерения и содержит дополнительный пояснительный материал.

4.2 Предварительное рассмотрение

Перед проведением радиометрических измерений в целях классификации аппаратуры или в соответствии с другими применяемыми требованиями МЭК 60825-1 необходимо первоначально определить некоторые параметры лазера.

a) Длина волны излучения

Лазеры могут испускать излучение на одной или более определенных длинах волн.

Значения излучаемой длины волны, длин волн или спектральное распределение длины волны обычно могут быть получены от производителя лазера. В зависимости от типа лазера производитель может установить как единственное значение длины волны, так и диапазон длин волн. В ином случае длина волны, длины волн или спектральное распределение могут быть определены посредством измерений, которые не включены в настоящий стандарт. Для определения ДПИ (AEL) для многочисленных длин волн см. 7.1.

b) Временной режим работы

Временной режим работы имеет отношение (относится) к режиму излучения энергии. Некоторые лазеры испускают постоянную (непрерывную) волну излучения (CW), а другие лазеры испускают энергию импульсно.

Импульсные лазеры могут быть с одиночным импульсом, переключателем добротности, периодическими импульсами или режимом блокировки. Измерение сканирующего или модулирующего CW-излучения при фиксированном размещении тоже является результатом последовательности импульсов.

Кроме того, последовательность импульсов может быть закодирована, но она имеет среднее значение коэффициента заполнения периода импульса (время излучения как часть фактической продолжительности работы, выраженная в десятых долях или в процентах).

c) Условия достаточно возможного единичного дефекта

Согласно МЭК 60825-1 установлено, что испытания должны быть проведены для каждого и всех возможных предсказуемых условий единичного дефекта. Обязанностью производителя является гарантировать, что уровень допустимого излучения не превысит ДПИ (AEL) установленного класса при любых условиях.

d) Неопределенности измерений

Важно рассмотреть потенциальные источники ошибок при измерении лазерного излучения. Неопределенности измерений рассматриваются в разделе 5 настоящего стандарта.

e) Побочное излучение

Побочное излучение, проникающее в измерительную апертуру, может повлиять на результат измерения мощности или энергии и длительности импульса. Персонал, проводящий испытания, должен гарантировать, что побочное излучение не достигает приемника (детектора) с помощью блока установки измерений или с помощью учета побочного излучения.

f) Конфигурация аппаратуры

Если измерения проводятся с целью классификации, то должны быть известны конфигурации аппаратуры при всех установленных условиях эксплуатации, включая ремонт и обслуживание, и должны быть известны условия единичных дефектов. Если измерения проводятся для определения соответствия требованиям по безопасности блокировок, маркировки и информации для пользователя, то аппаратура должна быть в конфигурации применительно для каждой из определенных категорий использования (функционирование, обслуживание, ремонт) в соответствии с МЭК 60825-1.

Технический комитет МЭК (ТК 76) признает иные эквивалентные процедуры измерений, которые приводят к результатам таким же надежным, как процедуры, установленные настоящим стандартом. Процедуры измерений, установленные настоящим стандартом, пригодны для соответствующих процедур измерений, установленных МЭК 60825-1, если проведение измерений необходимо. Во многих случаях проводить радиометрические измерения нет необходимости, и соответствие требованиям МЭК 60825-1 может быть определено путем проведения анализа хорошо известного источника и конструкции фактической аппаратуры.

При некоторых обстоятельствах может возникнуть необходимость частичной разборки аппаратуры, чтобы провести измерения в соответствующем месте, особенно для выполнения требований возможного единичного дефекта. В случае, если лазерная аппаратура содержит другие лазерные приборы и системы, то конечная аппаратура является предметом рассмотрения МЭК 60825-1.

5 Требования к контрольно-измерительным приборам

Измерительные приборы, используемые при испытаниях, должны соответствовать требованиям последнего издания МЭК 61040 (Приемники измерения мощности и энергии, приборы и оборудо-

вание для лазерного излучения). Класс используемых приборов (между классом 1 и классом 20, дающим приблизительное равное значение неопределенности измерений) зависит от необходимой точности измерений.

Если применяются приборы не полностью соответствующие МЭК 61040, то оцениваются доли неопределенности измерений различных параметров, которые должны быть согласованы с требованием к суммарной неопределенности измерений. Основные рассматриваемые параметры согласно МЭК 61040:

- изменение чувствительности во времени;
- неоднородность чувствительности по поверхности приемника;
- изменение чувствительности в течение излучения;
- температурная зависимость чувствительности;
- зависимость чувствительности от угла падения:
- нелинейность;
- зависимость чувствительности от длины волны;
- зависимость чувствительности от поляризации;
- ошибки усреднения чувствительности импульсного излучения по времени;
- дрейф нуля;
- неопределенность калибровки.

Калибровка должна проводиться согласно национальным стандартам.

Испытания для определения неопределенности измерений приборов должны проводиться в соответствии с МЭК 61040.

Неопределенности измерений CCD матриц и камер приведены в ИСО 11554.

6 Проведение классификации

Известные или измеренные параметры аппаратуры позволяют рассчитать ДПИ и условия измерений. Кроме того, должны быть проанализированы условия неисправностей, которые могут увеличить опасность. После этого проводят измерение излучения аппаратуры (или несколько различных измерений), если излучение находится в пределах ДПИ выбранного класса.

В таблицах 1–4 МЭК 60825-1 установлены возможные пределы излучения. Длины волн указаны в строках таблицы, а длительности излучения указаны в столбцах. На пересечении строки и столбца содержится одна или более формул, использующих параметры, которые определены в МЭК 60825-1 (раздел 9.3, примечания к таблицам 1–4).

Порядок проведения классификации показан на рисунках 1 и 2.

Первоначально определяется тип лазера: импульсный или непрерывный. Лазер относят к непрерывным, если продолжительность импульса больше 0,25 с. Порядок проведения классификации для непрерывных лазеров показан на блок-схеме рисунка 1, а для импульсных лазеров – на блок-схеме рисунка 2.

Затем должна быть определена длина волны.

Если лазер импульсный или сканирующий, то следует определить длительность импульса (ДИ) и частоту повторения импульса (ЧПИ).

Должны быть определены интересующий класс или классы. Например, для применения лазеров малой мощности вне диапазона волн от 400 до 700 нм могут быть рассмотрены классы 1, 1М или 3R. Для источников видимого диапазона могут быть рассмотрены классы 1, 1М, 2 или 2М.

После этого должна быть определена длительность развертки (временная база). Она может быть определена в единицах стандартных значений согласно МЭК 60825-1 (раздел 8.4, перечисление e), или из значения параметра T_2 (МЭК 60825-1, примечания к таблицам 1–4), или при рассмотрении специальных временных свойств аппаратуры.

Эта информация необходима для нахождения пересечения нужной строки и столбца таблиц 1–4 МЭК 60825-1, содержащего интересующую формулу или формулы. Параметры, использованные в формулах, определяют другие параметры, которые необходимо определить. Они включают, прежде всего, видимый размер источника (или эквивалент стягиваемого угла α) и измеренный угол приема γ_p очевидной фотохимической опасности. В настоящем стандарте в основном рассматриваются только простые протяженные источники. Рассмотрение источника как малого и установка условия C_6=1 являются приблизительной оценкой (оценкой с завышением уровня погрешностей) в случае, если видимый размер источника не известен.

Затем должны быть определены условия измерений (раздел 9.3 и таблица 10 МЭК 60825-1) и ДПИ (таблицы 1–4 МЭК 60825-1). Для импульсных лазеров должны быть оценены несколько условий, установленных согласно МЭК 60825-1 (раздел 8.4, перечисление f), чтобы гарантировать, что все они находятся в пределах ДПИ.

После определения ДПИ должны быть рассчитаны выходные параметры. Выходные параметры могут указываться производителем или непосредственно измеряться. Если выходные параметры указаны производителем, то они должны контролироваться измерениями в соответствии с разделом 9 МЭК 60825-1. Если допустимое излучение меньше, чем ДПИ, лазер может быть отнесен к указанному производителем классу. Для импульсного лазера устанавливается класс ДУИ для всех продолжительностей излучения в пределах основного времени.

Если допустимое излучение не меньше, чем ДПИ, то должен быть установлен более высокий класс ДПИ лазерной аппаратуры и проведена его оценка. Это повторяется до тех пор, пока ДПИ лазерной аппаратуры не будет оценен как класс 4.

Система должна оцениваться в соответствии с МЭК 60825-1 для обеспечения гарантии, что возможные одиночные неисправности не будут служить причиной излучения радиации выше, чем уровень ДПИ установленного класса.

Классификация лазера считается установленной, если установлены вышеуказанные критерии.

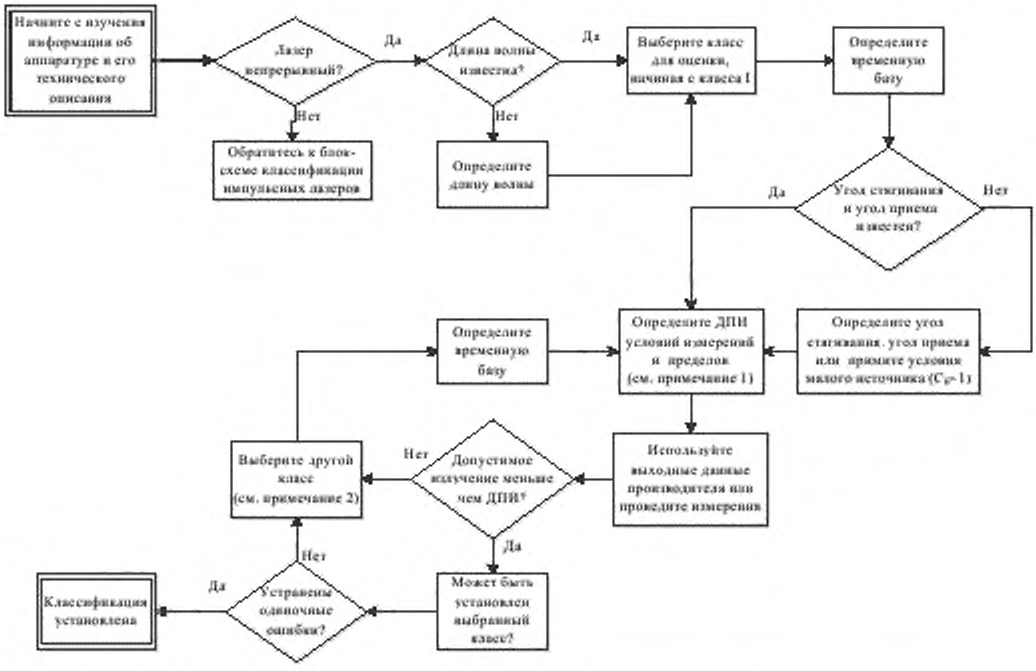


Рисунок 1 – Порядок проведения классификации лазеров непрерывного излучения

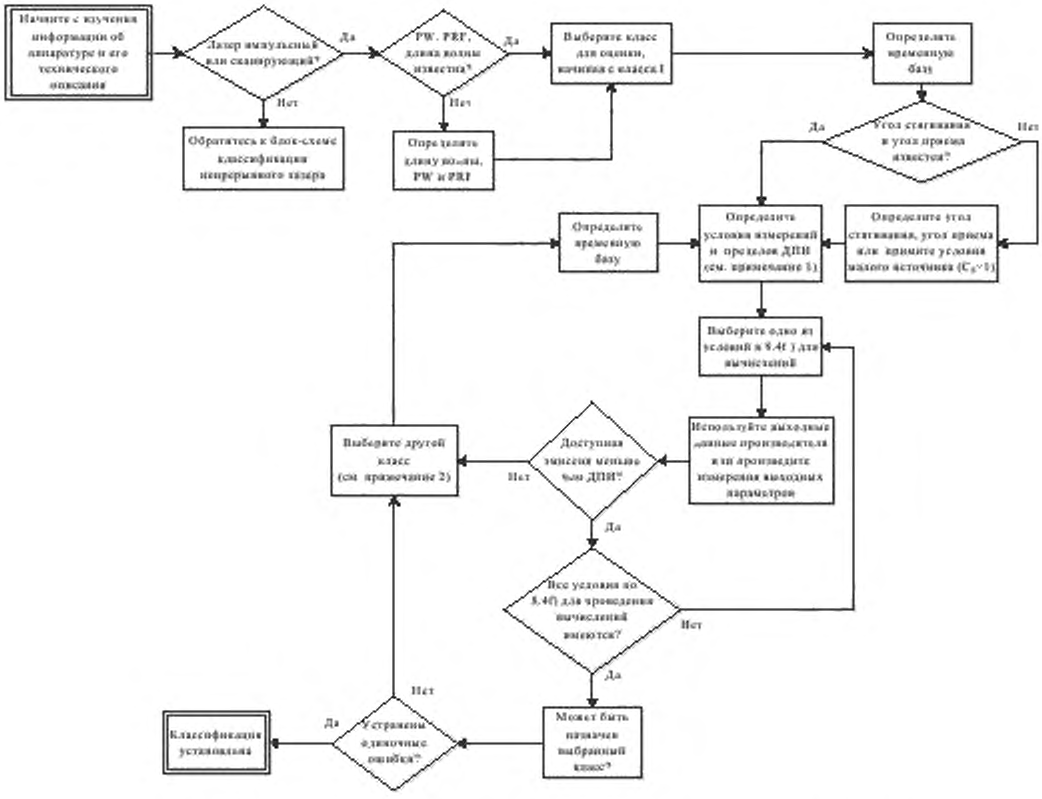


Рисунок 2 – Порядок проведения классификации импульсных лазеров

Примечание 1 – Может быть установлено более одного условия для определения класса аппаратуры. Например, в диапазоне длин волн 400–600 нм ни тепловой, ни фотохимический предел (каждый с их собственными условиями измерений) не должен быть превышен для применяемого класса. Также, если аппаратура имеет импульсный выход, ни один из трех пределов (одиночный импульс, последовательность импульсов, средняя мощность) не могут быть превышены.

Примечание 2–Если аппаратура не соответствует требованиям класса 1 или 2, то для оценки излучения аппаратуры используются требования класса 1М или 2М. Если излучение аппаратуры соответствует требованиям класса 1М или 2М, то нет необходимости определять соответствие требованиям класса 3R.

7 Параметры для расчета допустимых уровней излучения (эмиссии)

7.1 Длина волны (λ)

7.1.1 Определение длины волны

В большинстве случаев нет необходимости определять этот параметр с большой точностью. Вообще, оптическая опасность не связана строго с длиной волны, за несколькими исключениями (см. рис. 3):

a) диапазон 302,4–315 нм: за пределами этого диапазона значительно изменяются параметры T_1 и C_2 ;

b) диапазон 450–600 нм: за пределами этого диапазона уменьшается в 1000 раз фотохимическая опасность;

c) диапазон 1150–1200 нм: за пределами этого диапазона тепловая опасность уменьшается в 8 раз;

d) 400 нм: на длинах волн больше, чем 400 нм опасность главным образом относится к ретинальной опасности (опасность для сетчатки глаза), а на длинах волн короче, чем 400 нм опасность главным образом не относится к ретинальной;

e) 1400 нм: на длинах волн больше, чем 1400 нм опасность главным образом не относится к

ретинальной, а на длинах волн короче, чем 1400 нм опасность главным образом относится к ретинальной.

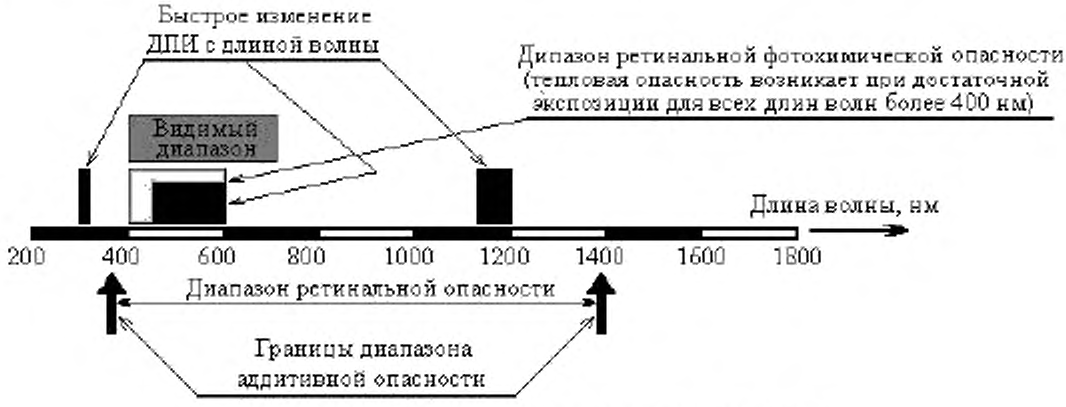


Рисунок 3 – Важные длины волн и диапазоны длин волн

Для узкого лазерного пучка вполне достаточно сведений о длине волны, установленных производителем, и в этом случае не рассматриваются положения, установленные в частях 7.1, а также 7.2 и 7.3.

Если возможный диапазон длин волн (изменяющийся от изделия к изделию) в значительное число раз превышает диапазоны, установленные в 1), 2) или 3), то может быть использована или самая опасная (самая короткая) длина волны или может быть измерена длина волны для данного изделия.

В диапазонах 1), 2) или 3) может потребоваться линейно-ломанное суммирование для определения предела на различных длинах волн и определение доли, вносимой этой длиной волны. Детально это рассмотрено в 7.2.1 и 7.3.

Дополнительно рассматриваются опасности, которые должны быть учтены совместно. Например, множественные эмиссии с длиной волны короче, чем 400 нм, или длиной волны между 400 и 1400 нм, или больше, чем 1400 нм рассматриваются в совокупности. Опасности суммируются для широкополосных или множественных эмиссий в пределах каждой области, и должно быть применено линейно-ломанное суммирование, как установлено в подразделе 8.4 МЭК 60825-1 перечисление b). В случае, если изделие излучает длины волн в двух из этих диапазонов (например, 700 нм и 1500 нм), рассматриваются две длины волны, используя соответствующий для каждой длины волны ДПИ. В целях классификации применяют более высокий класс.

Для лазеров с возможным диапазоном длин волн или широкополосным спектром, включающим длины волн больше 1400 нм и/или меньше 400 нм, уровни ДПИ должны быть специально проанализированы. Опасности и эффекты различны при длинах волн выше или ниже указанных пороговых длин волн. При отнесении аппаратуры к данному классу мощность или энергия в каждой спектральной области должна быть меньше, чем соответствующий уровень ДПИ.

7.1.2 Опасные для глаза диапазоны

Тепловая опасность существует при достаточной экспозиции на всех длинах волн свыше 400 нм.

Ретинальная фотохимическая опасность рассматривается только в диапазоне длин волн от 400 до 600 нм и для времени экспозиции более 1 с.

Опасные диапазоны длин волн приведены ниже:

- диапазон 180–400 нм: опасность главным образом фотохимическая и не ретинальная для экспозиции CW (непрерывного излучения) и тепловая для импульсной экспозиции (МЭК 60825-1 не рассматривает длины волн короче, чем 180 нм);

- диапазон 400–600 нм: в этом диапазоне должны быть учтены как тепловая, так и фотохимическая опасность. Для фотохимической опасности не учитывается излучение продолжительностью менее 10 с (или 1 с для диапазона длин волн 400–484 нм с видимым размером источника между 1, 5 и 82 мрад);

- диапазон 400–140 нм: диапазон ретинальной опасности, опасность для сетчатки доминирующая;

- диапазон 1400 нм – 1 мм: на длинах волн более 1400 нм глубина проникновения

разрушающего излучения намного меньше, чем на длинах волн 400 – 1400 нм. Опасность тепловая, но главным образом не относящаяся к сетчатке глаза.

7.2 Многоволновые источники

Термин «многоволновой источник» относится к источникам, которые излучают две или более дискретные длины волны. Лазеры, излучающие множество длин волн, относятся к этой категории.

Лазеры с импульсами излучения короче 100 фс могут иметь относительно большой спектр испускаемых длин волн. Спектр длин волн этих лазеров должен оцениваться согласно 7.3, если уровни ДПИ или МВЭ различаются более, чем на 10 % для диапазона длин волн лазерного импульса.

7.2.1 Область одиночной опасности.

Для некоторых источников с различной длиной волны, излучение которых оказывает одинаковый тип опасности, должен быть установлен весовой коэффициент для определения, соответствует ли аппаратура допустимому уровню или выходит за пределы ДПИ данного класса. Для единичной длины волны могут быть установлены следующие критерии:

Если $P_{изм}$ < ДПИ, то изделие не превышает установленного для соответствующего класса предела.

Где $P_{изм}$ – измеренная мощность (или энергия, или другая количественная характеристика), а ДПИ – предел класса по мощности (или по энергии, или по другой количественной характеристике). Это может быть сформулировано по другому, как:

Если $P_{изм}$ / ДПИ < 1, то изделие не превышает установленного для соответствующего класса предела.

Таким же образом могут быть описаны критерии для двух длин волн:

Если $P_{изм}(\lambda_1)$/ ДПИ(λ_1) + $P_{изм}(\lambda_2)$/ ДПИ(λ_2) < 1, то изделие не превышает установленного для соответствующего класса предела.

При числе длин волн больше двух этот расчет может быть проведен как общее суммирование:

Если $\sum_{i=1,2,3\ldots} [P_{изм}(\lambda_i)/ ДПИ(\lambda_i)] < 1$, то изделие не превышает установленного

для соответствующего класса предела.

Этот критерий применяется однократно к одному типу опасности (т.е. фотохимическая и тепловая опасности рассматриваются отдельно).

Примечание 1 – Несмотря на то, что значения уровней тепловой опасности различаются для видимого диапазона (400–700 нм) и для ближнего инфракрасного диапазона (700–1400 нм), базовые времена (или продолжительность эмиссии t_i или расчетный параметр T_2) одинаковы. Поэтому применяется приведенная выше формула суммирования .

7.2.2 Две или более области опасности

Если изделие излучает две разные длины волны и они находятся в различных областях опасности (например, λ_1 = 300 нм и λ_2 = 430 нм), то каждую длину волны нужно рассматривать отдельно:

Если $P_{изм}(\lambda_1)$ < ДПИ(λ_1) и $P_{изм}(\lambda_2)$ < ДПИ(λ_2), то изделие не превышает установленного для соответствующего класса предела.

Если любое из этих условий не выполняется, то должно быть проведено сравнение с ДПИ, установленного для более высокого класса.

7.3 Широкополосные источники

Некоторые лазеры (например, лазеры с ультракороткими импульсами) имеют существенную ширину спектра излучения. В результате этого их классификация требует оценки более чем одной спектральной области.

7.3.1 Спектральные области с малым изменением ДПИ от длины волны

Если спектр источника излучения не включает любую из спектральных областей 1), 2) или 3), или критические длины волн 4) или 5) (см. 7.1), распределение может быть аппроксимировано единственной длиной волны.

1) Если ДПИ не изменяется в зависимости от длины волны, то выбор любой длины волны в пределах спектра излучения эквивалентен.

2) Если ДПИ медленно изменяется в зависимости от длины волны и спектр источника излучения длин волн находится в одном спектральном диапазоне в ограничительной таблице, то может быть рассчитан предел пикового значения или центра распределения, включая более короткие длины волн, соответствующие 10 % пикового значения распределения интенсивности излучения. Если ДПИ отличается меньше, чем на 1%, то используют пиковое или центральное значение длины волны.

Консервативный подход рассматривает использование более ограниченных длин волн.

7.3.2 Спектральные области с большим изменением ДПИ от длины волны (302,5–315 нм, 450–600 нм и 1150–1200 нм)

Если источник излучения имеет некоторые или все спектры излучения, находящиеся в трех областях, в которых пределы значительно зависят от длины волны, то можно использовать два метода расчета.

1) Рассчитывают ДПИ, используя наименьшую длину волны соответствующей области. Однако ДПИ для более коротких длин волн чаще всего более жесткие, чем ДПИ для более длинных волн, и может быть использован этот простой и консервативный метод. Однако в результате расчета может быть получен излишне жесткий предел. Если рассчитанный ДПИ приемлемый (например, предположительно изделие относится к классу 1 исходя из этого метода), то нет необходимости в дальнейших расчетах.

2) Вычисляют сумму слагаемых, полученных в результате деления измеренных мощностей на ДПИ, являющихся функциями длины волны. Используют общее суммирование согласно 7.2.1.

Предположим, например, что источник с треугольным спектральным распределением имеет минимальную длину волны 400 нм, пиковое значение 460 нм и максимальную длину волны 520 нм. ДПИ для диапазона волн 400–450 нм является постоянным. Для длин волн выше 450 нм ДПИ увеличивается экспоненциально с коэффициентом C_3 .

Если значение

$$P_{изм}\ (400\ нм < \lambda < 450\ нм)/ДПИ(400\ нм < \lambda < 450\ нм) + \sum_{450 < \lambda_i < 520\ нм} [P_{изм}\ (\lambda_i)/\ ДПИ(\lambda_i)] < 1,$$

то применяемый ДПИ не превышен.

7.3.3 Спектральные области, содержащие граничные типы опасностей (около 400 нм и 1400 нм)

Если спектральное распределение излучения аппаратуры включает граничные области опасности (400 нм и 1400 нм), то излучение аппаратуры рассматривается независимо в каждой области. При необходимости проводят процедуры согласно 7.2.2 и 7.3.2 для каждой спектральной области.

7.3.4 Сверх широкополосные источники

Требуется определять мощность или энергию на единицу длины волны. Если такая информация не предоставлена изготовителем, должны быть проведены спектральные измерения. Эти источники не рассматриваются в настоящем стандарте. Информация по измерению широко излучающих источников приведена в [1].

Если лазерная аппаратура не излучает радиацию длиной волны менее 315 нм, то вычисления могут быть упрощены. Для этого необходима следующая информация:

a) полная мощность или энергия излучения длиной волны между 315 нм и 400 нм, измеренная в соответствии с требованиями МЭК 60825-1 для тепловых пределов (P_a или Q_a);

b) полная мощность или энергия излучения длиной волны между 400 нм и 700 нм, измеренная в соответствии с требованиями МЭК 60825-1 для тепловых пределов (P_b или Q_b);

c) полная мощность или энергия излучения длиной волны между 400 нм и 450 нм, измеренная в соответствии с требованиями МЭК 60825-1 для фотохимических пределов (P_c или Q_c);

d) спектральное распределение мощности или спектральное распределение энергии излучения длиной волны 450–600 нм, измеренное в соответствии с требованиями МЭК 60825-1 для фотохимических пределов [$P_d(\lambda)$ или $Q_d(\lambda)$];

e) спектральное распределение мощности или спектральное распределение энергии излучения длиной волны в диапазоне от 700 нм до предельной длины волны, измеренное в соответствии с требованиями МЭК 60825-1 для тепловых пределов [$P_e(\lambda)$ или $Q_e(\lambda)$].

Несмотря на то, что процедуры применяются как для мощности, так и для энергии, ниже представлен только расчет мощности (P):

– выбирают ДПИ (согласно разделу 9 МЭК 60825-1 для формул и инструкций по вычислению пределов);

– рассчитывают ультрафиолетовый предел $ДПИ_a$ и коэффициент $R_a = P_a/ДПИ_a$;

– рассчитывают видимый тепловой предел $ДПИ_b$ и коэффициент $R_b = P_b/ДПИ_b$;

– рассчитывают видимый фотохимический предел $ДПИ_c$ для диапазона длин волн 400 нм$<\lambda<$450 нм и $ДПИ_d$ для диапазона длин волн 450 нм $< \lambda <$ 600 нм. Суммарный коэффициент рассчитывают по формуле

$$R_{cd} = P_c / ДПИ_c + \sum_{450 < \lambda_i < 600\ нм} [P_d\ (\lambda_i) / ДПИ_d(\lambda_i)]\ ;$$

– рассчитывают инфракрасный тепловой предел $ДПИ_e(\lambda)$ для диапазона длин волн от 700 нм и до предельной длины волны. Суммарный коэффициент рассчитывают по формуле

$$R_e = \sum_{700\ нм < \lambda_i < \lambda_{макс}} [P_e\ (\lambda_i) / ДПИ_e(\lambda_i)]\ .$$

Устанавливается низший класс лазерной аппаратуры, для которого выполняются все следующие условия:

$$R_a < 1{,}0,$$
$$R_b + R_e < 1{,}0 \text{ и}$$
$$R_{od} < 1{,}0.$$

7.4 Временные характеристики источника

Если изделие излучает непрерывно и с постоянной мощностью, то проводится прямой анализ. Должно быть определено время эмиссии либо в соответствии с установленной МЭК 60825-1 фиксированной длительностью, либо с длительностью, установленной в соответствии с расчетом (т.е. T_2 как функция видимого размера источника или стягивающего угла источника). Это позволит вычислить соответствующий ДПИ. Для таких изделий нет необходимости применять положения 7.4.

7.4.1 Источники с ограниченным временем включения («ON»)

Если изделие может излучать только ограниченный период времени, меньший, чем базисное время (длительность развертки), установленное для соответствующего класса в МЭК 60825-1, то для расчета применимого ДПИ, используется более короткое время. Более короткие времена эмиссии приводят к более высоким пределам пиковой мощности. Это необходимо учитывать при рассмотрении ДПИ для всех временных продолжительностей до базисного времени классификации.

7.4.2 Источники с периодическим или постоянным коэффициентом заполнения импульса

Некоторые изделия состоят из источников, которые производят регулярные или кодированные (нерегулярные) серии импульсов. Нерегулярные серии импульсов могут рассматриваться как регулярные, если известен максимальный коэффициент заполнения. В этом случае коэффициент заполнения рассматривается как часть или процент времени излучения источника.

При длительности импульса 3 мкс и частоте следования 120 импульсов в секунду коэффициент заполнения будет равен $120 \times 3 \times 10^{-6}/1$ или 0,036 %.

Для кодированной сети импульсов, использующих ежесекундную серию импульсов из 120 возможных импульсов длительностью 3 мкс каждый, с 50 % степенью кодирования (50 % импульсов позиционируется и 50 % не позиционируется) коэффициент заполнения будет равен $0{,}5 \times 120 \times 3 \times 10^{-6}/1$ или 0,018 %.

Для получения дополнительной информации для расчета пределов можно обратиться к таблице 9 МЭК 60825-1 (продолжительность времени T_i, ниже которой группа импульсов суммируется). Частота следования импульсов, коэффициент заполнения, кодированный коэффициент заполнения и сведения таблицы 9, содержащие сведения для ДПИ, необходимы, чтобы рассчитать эффективную мощность импульса и продолжительность, а также эффективную частоту следования импульсов.

Должны быть рассмотрены три предела:

i) предел для единичного импульса, основанный на ширине импульса;

ii) предел для средней мощности для установленной или расчетной классификационной временной базы (продолжительности развертки);

iii) предел для средней энергии импульса в составе серии импульсов, принимая в расчет значение C_5.

Перечисление f) пункта 8.4 МЭК 60825-1 устанавливает, что наиболее жесткие требования i), ii) и iii) применяются при определении ДПИ для повторяющихся импульсов или модулированных лазеров для тепловых пределов с длинами волн 400 нм и выше. Требование iii) использует поправочный коэффициент для ДПИ единичного импульса, основанного на количестве импульсов, излучаемых в течение рассматриваемой временной базы или продолжительность времени T_2 , в зависимости от того, который из них короче.

7.4.2.1 Длительность импульса

Согласно МЭК 60825-1 длительность импульса определяется как приращение времени между точками амплитудной кривой, соответствующими половине пиковой мощности импульса при ее возрастании и спаде. Таким образом, длительность импульса - это интервал времени между точкой на возрастающем участке кривой, в которой амплитуда достигает 50 % от пикового значения мощности, и точкой на ниспадающем участке кривой, где амплитуда возвращается к тому же значению (см. рисунок 4).

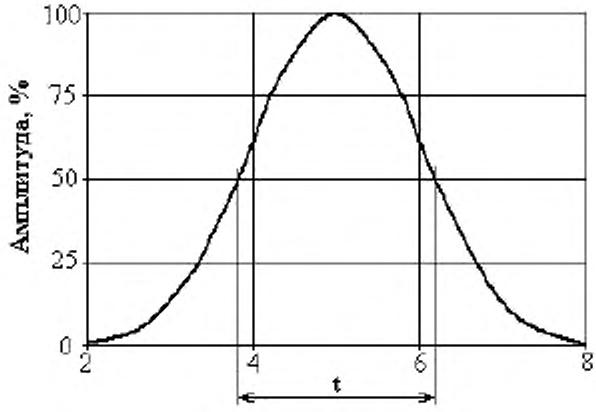


Рисунок 4 – Определение длительности импульса

Длительность импульса t может быть точно определена при использовании измерительного инструмента, состоящего из фоточувствительного датчика и осциллографа или подобного прибора. К измерительному инструменту предъявляются следующие требования:

a) временная или частотная характеристика всей измерительной цепи должна быть достаточной для точного измерения длительности;

b) измеряемое излучение должно быть равномерно распределено по активной поверхности датчика так, чтобы не было ни локальных точек насыщения, ни локальных изменений чувствительности датчика;

c) энергетическая экспозиция или освещенность излучения не должна превышать максимального значения, установленного для измерительного инструмента.

Для классификации лазеров с единичным импульсным режимом, режимом модуляции добротности, режимом синхронизации мод и импульсно-периодических или сканирующих лазеров требуется знание длительности импульса. В случае сканирующего излучения длительность импульса должна быть определена во всех доступных положениях растрового изображения. Это необходимо потому, что скорость пучка может быть непостоянной вдоль линии сканирования в зависимости от типа дефлектора. Для сканирующих лазеров, в состав которых входит лазер, действующий в режиме непрерывной волны (CW), длительность импульса зависит от диаметра и скорости пучка. Для сканирующих лазеров, в состав которых входит импульсный или модулированный лазер, частота модуляции, диаметр пучка и скорость сканирования должны быть учтены при классификации изделия и вычислении длительности эмиссии.

7.4.3 Источники с изменением амплитуды

Если импульсы не П-образные (постоянная амплитуда в течение времени включения импульса, см. рисунок 5) может потребоваться детальный анализ структуры импульса.

Для П-образного импульса возможен упрощенный анализ, в котором учитываются только амплитуда импульса $A(t)$ и длительность импульса t_p.

Для дополнительных (нестандартных) импульсов может потребоваться линейно-ломанный анализ. Рассматривают, как минимум, полную энергию в интервалах времени от $t = 0$ до $t = t_1$, от $t = 0$ до $t = t_2$ и от $t = 0$ до $t = t_p$. Применяют оценку согласно разделу 7.4 последовательно ко всем из установленных длительностей.

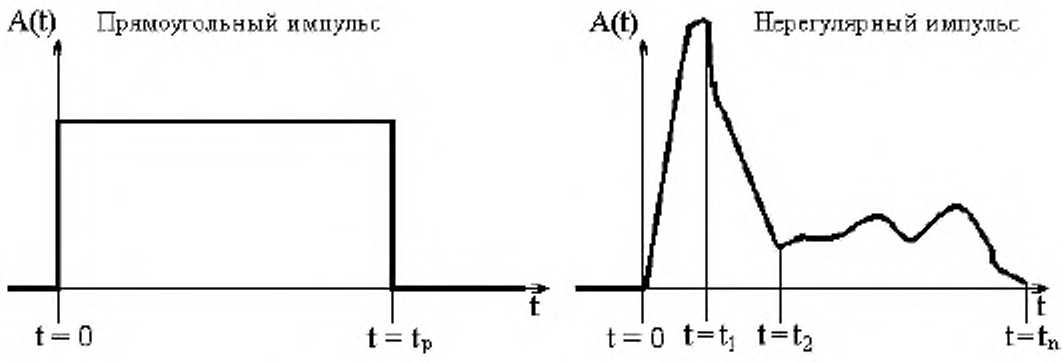


Рисунок 5 – П-образный и нестандартный импульсы

7.4.4 Источники с переменными длительностями импульсов или с нестандартными импульсами

Для последовательности импульсов с переменной длительностью и/или с переменными амплитудами может быть использован метод интегрального импульса времени включения (TOTP) согласно перечисления f), iii) раздел 8.4 МЭК 60825-1.

7.5 Угол стягивания (α)

Внутри области тепловой ретинальной опасности (диапазон длин волн 400–1400 нм) ДПИ определяют в зависимости от угла стягивания α видимого источника через поправочный коэффициент C_6 (см. таблицы 1–4 МЭК 60825-1). Формула, используемая для расчетов ДПИ, зависит от величины T_2, а T_2, в свою очередь, зависит от α.

Видимый источник представляет реальный или виртуальный объект, который формирует наименьшее зрительное изображение для исходной оценки расположения ретинальной опасности. Угол стягивания видимого источника определяется размером наименьшего зрительного изображения, которое может произойти посредством аккомодации глаза (т.е. посредством изменения фокусного расстояния хрусталика глаза). Угол стягивания видимого источника используется как предел размера зрительного изображения. Угол стягивания – это плоский угол, противолежащий диаметру видимого источника в хрусталике глаза (см. рисунки 6а и 6b). Угол стягивания видимого источника может изменяться в зависимости от положения вдоль оси пучка. За исключением поверхности излучателей (таких, как полностью диффузно пропускающих или отражающих пучки, или СИД без крышек объектива или отражателей), положение видимого источника является также функцией положения глаза в пучке.

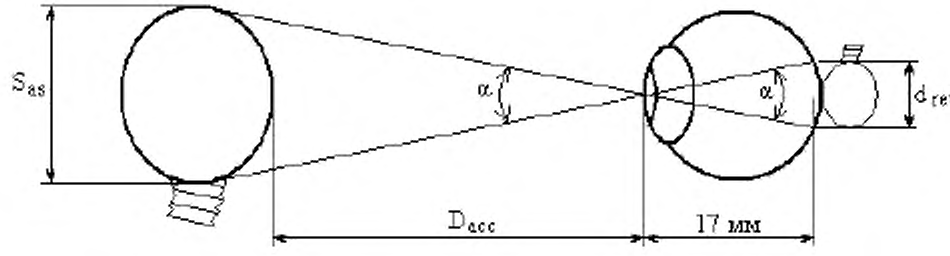


Рисунок 6а – Угол стягивания (α) и размеры (s_{as}) видимого некогерентного или диффузного источника

Примечание - Пример показывает передачу проходящего или отраженного пучка, диффузор, такой как матовая лампочка, реальный и видимый источник.

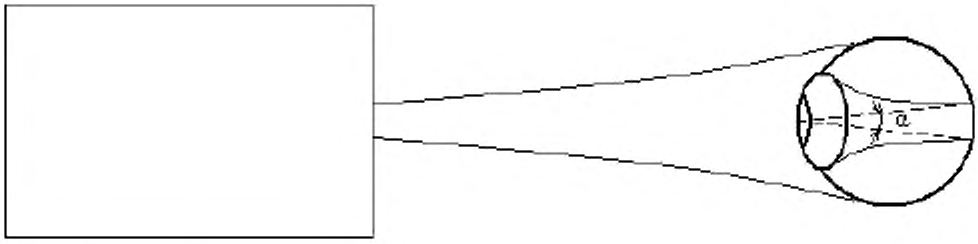


Рисунок 6b – Угол стягивания основного лазерного пучка в одном положении в пучке

Примечание - Такая ситуация является более сложной, чем для простого источника, изображенного на рисунке 6а, и угол стягивания и положение видимого источника, как правило, изменяются с положением в пучке.

Рисунок 6 – Примеры угла стягивания

Подобная мощность или энергия, рассеянная по большему, чем ретинальное пятно пространству, в большинстве случаев уменьшает ретинальную опасность, как выражено в C_6. Поэтому это может быть важным параметром для средних (1,5 < α < 100 мрад) и больших (α > 100 мрад) отдельных источников и матричных источников. Однако довольно часто не нужно определять угол стягивания и коэффициент C_6 принимают равным единице. Это обеспечивает наиболее консервативную оценку. Оценка лазерной опасности или классификация всегда должна начинаться с предположения, что значение коэффициента C_6 = 1. Если этого достаточно, т.е. значение ДПИ предполагаемого (применяемого) класса лазера не превышено, то нет необходимости выполнять дальнейший анализ.

Большинство одиночных лазеров без модификации оптики пучка относятся к малым источникам C_6 = 1 и положение видимого источника не влияет на лазерную безопасность. Для этих изделий нет необходимости в рассмотрении нижеуказанных положений настоящего подраздела 7.5.

Для наиболее распространенного лазерного пучка определение угла стягивания α и использование коэффициента C_6 > 1 не рассматриваются в настоящем стандарте. Эти вопросы будут рассмотрены в следующей поправке.

Для пространственных излучателей, таких как диффузно пропускающих и отражающих лазерные пучки или барьерных СИД (без модификации оптики), может быть использован упрощенный анализ согласно 7.5.2.2.

Особый случай матричных источников с допущением, что каждый отдельный источник относится к малым (α ≤ 1,5 мрад), анализ проводят по 7.5.3. Простые источники с некруговым излучением иллюстрируются в 7.5.3.4. Некоторые соображения, которые применяют специально для оценки сканирующих лазеров, описаны в 7.8.

7.5.1 Расположение перетяжки пучка

Для малых источников и для всех источников при принятии C_6=1 допустимый уровень излучения может быть измерен на предварительно установленном расстоянии от контрольной (базовой) точки. Контрольные точки указаны в таблице 1, приведенной ниже. В случаях диффузных или полупроводниковых источников или излучателей большой площади без модификации оптики контрольные точки для определения допустимых уровней излучения таблицы 1 действительны также для измерений средних и больших источников при использовании C_6 > 1.

Таблица 1 – Контрольные точки

Тип изделия	Контрольные точки
Полупроводниковые излучатели (лазерные диоды, суперлюминесцентные диоды)	Физическое положение излучающего кристалла (микросхемы)
Сканирующее излучение (включая линейно сканирующие лазеры)	Вершина сканирования (точка поворота сканирующего пучка)
Линейный лазер	Фокальная точка линии (вершина веерного угла)
Волоконно-оптический лазер	Конец волокна
Диффузные источники	Поверхность диффузора
Другие	Перетяжка пучка

Примечание 1 – Если контрольная точка расположена внутри защитного кожуха (т.е. нет доступа) на расстоянии от самой близкой доступности человека большем чем, измеренное согласно МЭК 60825-1, измерение должно проводиться в самой близкой точке доступа человека.

Методика оценивания расположения перетяжки пучка, приведенная ниже, может быть использована для малых источников и гауссовских пучков. Необходимым условием достоверности этой оценки является выполнение анализа вне Релеевской области, где применяемые оптические лучи такие, что может быть использовано дальнее поле расходимости.

Примечание 2 – Информация о местоположении видимого источника приведена в [2].

Выберают удобную базовую плоскость (опорную плоскость) (с уверенностью, что расходимость постоянна, т. е. базовая плоскость расположена в дальней зоне). Определяют угол расхождения θ дальней зоны. Перетяжка пучка располагается на расстоянии r от базовой плоскости (см. рисунок 7)

$$r = d/(2 \operatorname{tg} \theta/2),$$

где r - расстояние от базовой плоскости до виртуальной точки фокуса малого источника.

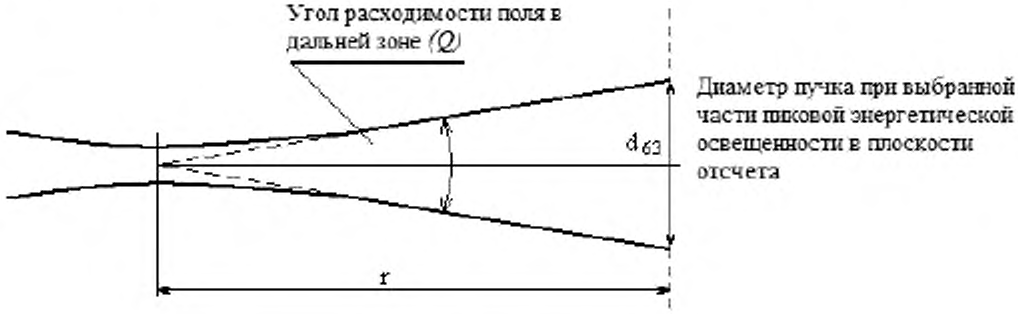


Рисунок 7 – Расположение перетяжки гауссовского пучка

В некоторых случаях (например, для линейных лазеров с цилиндрическими линзами или обычных астигматических пучков) может появиться множество перетяжек пучка (для линейных лазеров см. таблицу 1). Обычные астигматические пучки не являются предметом рассмотрения настоящего стандарта.

Сканирующие пучки анализируются в разделе 7.8.

7.5.2 Методы определения угла стягивания (α)

Существует несколько методов определения угла стягивания видимого источника. Разные методы обеспечивают различные степени точности, требуют различного объема проводимых работ и имеют разную стоимость. Используемый метод определяется необходимой степенью точности, т.е. приближенности к МВЭ и ДПИ, и в некоторых случаях - сложностью кожуха (корпуса). Настоящим стандартом установлены следующие методы в порядке возрастания сложности их проведения:

a) консервативный метод, выбираемый по умолчанию (7.5.2.1);

b) метод, используемый для простых источников, таких как поверхностные излучатели или абсолютно диффузные пучки (7.5.2.2);

c) метод проходящего пучка (7.5.2.3);

d) метод искусственного глаза (7.5.2.4).

7.5.2.1 Консервативный метод, выбираемый по умолчанию

Если угол стягивания α не известен и отсутствует доступный метод экспериментальной оценки, то может быть сделана приемлемая количественно обоснованная оценка или могут быть выбраны установленные по умолчанию значения. Значение по умолчанию для угла стягивания α = 1,5 мрад, ниже этого значения отсутствует изменение ДПИ. При этом значении α значения $C_6 = 1,0$ и $T_2 = 10$ с. Этот метод расчета безопасный для применения, так как вычисленные пределы могут быть искусственно занижены. Как отмечено выше, это хороший стандартный метод, применяемый для первой аппроксимации. Часто нет необходимости делать дальнейший анализ.

7.5.2.2 Метод, используемый для поверхностных излучателей или диффузных пучков

Для поверхностных излучателей, таких как диффузно пропускающих (передающих) или отражающих лазерные пучки, или безоболочные (бескорпусные) лазерные диоды (без изменения оптики), может использоваться упрощенный анализ. Для этих источников реальный источник то же самое, что видимый источник, и размер реального источника может использоваться для определения угла стягивания. Поэтому S_{as} на рисунке 6а становится равным диаметру реального источника, а D_{acc}, аккомодационное расстояние между поверхностью излучателя и глазом становится равной реальному расстоянию между глазом и источником. Для определения угла стягивания α можно использовать уравнение, приведенное ниже

$$\alpha = 2 \operatorname{arctg}(s_{as}/2\, D_{acc}) = 2 \operatorname{arctg}(d_s/2r),$$

где arctg - обратная величина тангенциальной тригонометрической функции. Если α является достаточно маленьким, то тригонометрическая функция может быть упрощена:

$$\alpha \approx d_s/r\ ,$$

где d_s - диаметр поверхности излучателя;

r- расстояние между поверхностью излучателя и глазом (или измерительной апертуры).

При использовании оптики (например, составной линзы, проекционной линзы или рефлектора) видимый размер источника и его положение изменяются. Это требует более детального анализа, который не является предметом рассмотрения настоящего стандарта и будет рассмотрен в следующих поправках.

7.5.2.3 Метод проходящего пучка

Этот метод основан на оптике луча, а не волновой оптике. Одной важной особенностью этого метода оценки является принятие условия, что самое опасное расстояние наблюдения может быть больше 100 мм. Детальный анализ этого метода не является предметом рассмотрения настоящего стандарта.

7.5.2.4 Метод искусственного глаза

Наиболее прямой и точный метод определения ретинальной энергетической освещенности (сетчатки глаза) (использующий измерение опасности мощности или энергии, попадающей на диаметр светового пятна сетчатки глаза). Используя искусственный глаз, представляющий подобие глаза человека, можно измерить опасность в диапазоне условий наблюдения.

Теоретически глаз обычно моделируется как тонкая линза, расположенная внутри роговой оболочки глаза, с эквивалентным фокусным расстоянием (в воздухе) в диапазоне от 14,5 до 17 мм в зависимости от аккомодации глаза. Сетчатка глаза располагается в 17 мм (2-ой базовой плоскости) от хрусталика (линзы) и предполагается, что это пространство наполнено воздухом. Фокусное расстояние 17 мм соответствует состоянию спокойного глаза (фокусирование бесконечности) и фокусное расстояние 14,5 мм соответствует расстоянию 10 см от точки аккомодации глаза, т. е. соответствует наименьшему расстоянию, на котором глаз может воспроизвести яркое изображение объекта. Гиперметропические и миопические глаза не рассматриваются в настоящем стандарте. Апертура с диаметром линзы 7 мм моделирует зрачок глаза.

Детальный анализ этого метода не является предметом рассмотрения настоящего стандарта.

7.5.3 Составные источники и простые некруговые пучки

Не вся лазерная аппаратура имеет одиночный излучатель или излучатель с круговой диаграммой направленности. Примером составных источников являются многоканальные волоконно-оптические передатчики, мульти- элементные знаки и сигнальные устройства (например, светофоры и стрелки-указатели) и мультисегментные знаки и символы. Простые источники (например, диффузные пучки и СИД без модификации оптики) могут иметь произвольную форму, но легко различаемую, если они являются гомогенными (однородными) (см. 7.5.3.4).

Теоретически для составных излучателей должны быть рассмотрены все комбинации размещения для того, чтобы определить опасный вариант установки. Единичный малый яркий источник может быть или не быть наиболее неблагоприятным случаем. Точно также все вместе взятые источники могут быть или не быть наиболее опасными.

В действительности не все комбинации должны быть рассмотрены. Если все источники имеют одинаковую яркость, то анализ часто может быть упрощен.

Провести анализ линейного множества легче, чем двумерного множества (матрицы). Однако возможно провести два размерных анализа, чтобы определить самый опасный случай.

7.5.3.1 Процедура

Процедуру начинают с единичного источника. В рамках настоящего стандарта предполагают, что единичный источник всегда малый источник (C_6 = 1). Определяют последовательность источников, которые будут проанализированы. Для каждого варианта определяют угол стягивания комбинации источников (см. далее по тексту). Это позволит рассчитать ДПИ для каждого варианта. Для ана-

лиза комбинации малых источников положение видимого источника может быть аппроксимировано как положение фактического матричного источника (для всех положений в пучках), и фактическое расстояние отдельного источника используется для расчета угла стягивания (см. рисунок 9). В рассмотрение принимаются только матрицы с размерами в пределах полей зрения, соответствующих α_{max} = 100 мрад в любом направлении.

Затем проводят измерение допустимого излучения (мощность, проходящая через измерительную диафрагму, диаметром 7 мм) для каждой комбинации источников и сравнивают ее с расчетным ДПИ. Поле зрения (или входная угловая апертура) ограничивается измерительной установкой (использующей апертуру с переменной областью) так, чтобы только рассмотренные для каждого случая источники учитывались при измерении мощности (см. рисунки 8a и 8b).

Пример четырехканальной одномерной матрицы оптико-волоконных источников с одинаковой средней мощностью и равными интервалами приведена в таблице 2. S_0 – размер единичного источника (в настоящем стандарте предполагается, что единичный источник является малым, и поэтому принимается, что α_1 = 1,5 мрад), r – измеряемое расстояние (т.е. расстояние между реальным матричным источником и приемником (см. рисунок 8a) или реальным матричным источником и изображением объектива (см. рисунок 8b) и Δ- межцентровой размер одиночных источников (см. рисунок 9). Перед проведением вычислений среднеарифметического значения заметим, что согласно МЭК 60825-1 значения α_v и α_h должны быть всегда ограничены диапазоном значений от 1,5 мрад до 100 мрад.

Таблица 2 – Матрица источников четырехканальная

Число источников	Видимый размер источника, мм	Угол стягивания, мрад	ДПИ выбранного класса, мВт	Допустимое излучение, мВт
1	$s_{v1} = s_{h1} = s_0$	$\alpha_{v1} = \alpha_{h1} = \alpha_1 = s_0/r$	$ДПИ_1$	P_1
2	$s_{v2} = s_0$; $s_{h1} = s_0+\Delta$	$\alpha_{v2} = s_{v2}/r$; $\alpha_{h2} = s_{h2}/r$; $\alpha_2 = (\alpha_{v2} + \alpha_{h2})/2$	$ДПИ_2$	P_2
3	$s_{v3} = s_0$; $s_{h3} = s_0+2\Delta$	$\alpha_{v3} = s_{v3}/r$; $\alpha_{h3} = s_{h3}/r$; $\alpha_3 = (\alpha_{v3} + \alpha_{h3})/2$	$ДПИ_3$	P_3
4	$s_{v4} = s_0$; $s_{h4} = s_0+3\Delta$	$\alpha_{v4} = s_{v4}/r$; $\alpha_{h4} = s_{h4}/r$; $\alpha_4 = (\alpha_{v4} + \alpha_{h4})/2$	$ДПИ_4$	P_4

Если мощность и энергия различаются между конкретными источниками или источники расположены не одинаково в пространстве, то число анализируемых случаев увеличивается. Например, шесть возможных комбинаций из двух источников в составе четырехканальной матрицы источников. Геометрия и подобие между источниками будут определять возможный уровень упрощения.

Выделение из парных величин допустимого излучения и ДПИ оцененного класса должно быть наименьшим из всех рассмотренных случаев. Затем изделие может быть классифицировано согласно проведенной оценке.

7.5.3.2 Комплексы многоканальных линий

Если в составе комплекса содержится *n*-каналов, то все варианты с первого канала по n-канал должны быть рассмотрены для определения наиболее жесткого (ограничивающего) предела. Для проведения упрощенной оценки обычно принимается условие, что все каналы имеют среднюю мощность излучения такую же, как канал с максимальной мощностью излучения. Это упрощение принято для рассмотрения в этом пункте. В ином случае, анализ может быть более сложным, но возможно проведение оценки, которое позволит рассчитать самое жесткое условие и оно не будет чрезмерным. Если матрица двумерная (не ограниченная расположением только по прямой или кривой линии), то может быть рассмотрено несколько вариантов размещений (компоновок) для определенного среднего числа (между 1 и *n*).

Варианты, которые будут оцениваться, определяются подбором различных круглых апертур в плоскости излучения. Минимальный диаметр апертуры источника излучения включает в себя один канал. Максимальный диаметр апертуры источника излучения соответствует полному углу захвата (приема) 100 мрад при диаметре измерительной апертуры 7 мм. Определяют α в зависимости от варианта размеров матричного источника и измеряют доступную эмиссию через апертуру диаметром 7 мм. Сравнивают ДПИ, соответствующий этому углу α, с полученным значением допустимого излучения. Допустимое излучение не должно превышать ДПИ выбранного класса для любой возможной комбинации источников.

Для ознакомления с геометрией измерения см. рисунки 8a и 8b. Вычисления основаны на угле стягивания α (для оценки комбинации источников). Таким образом, определение соответствующего значения α важно (критично) для многоканального случая. Учитывая, что каждый единичный источник

рассматривается как малый источник, угол стягивания α соответствует приемному конусу, изображенному на рисунках 8a и 8b (для одноканального варианта принимаемое минимальное значение по умолчанию α = 1,5 мрад достаточно).

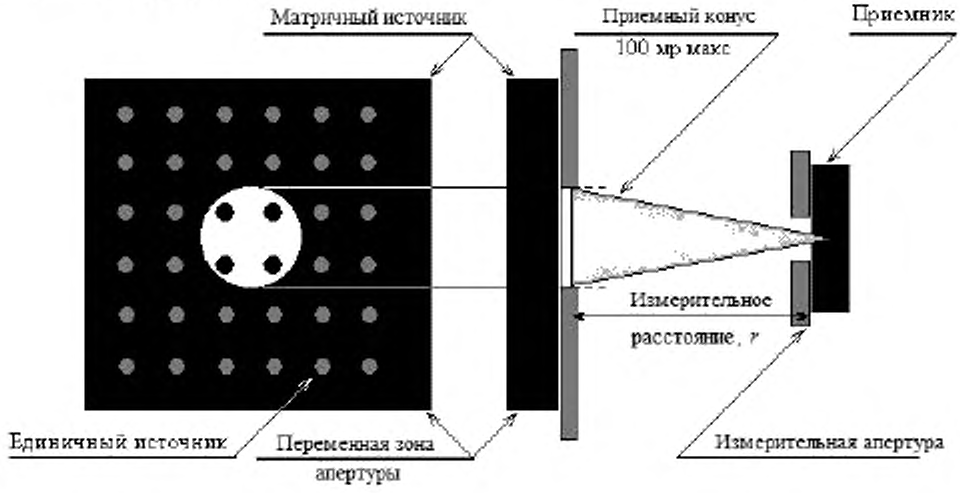


Рисунок 8a – Геометрия измерения для доступного источника

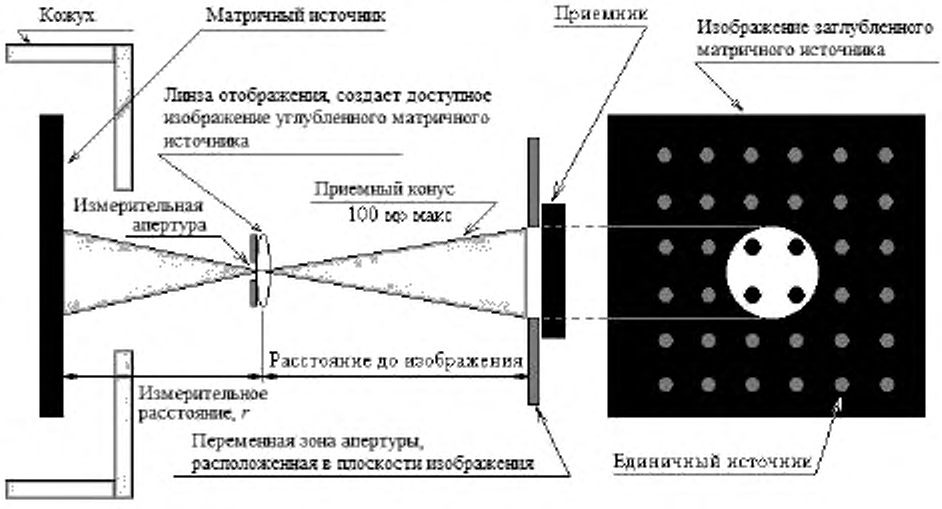


Рисунок 8b – Геометрия измерения для заглублённого источника

Рисунок 8 – Геометрии измерения источника

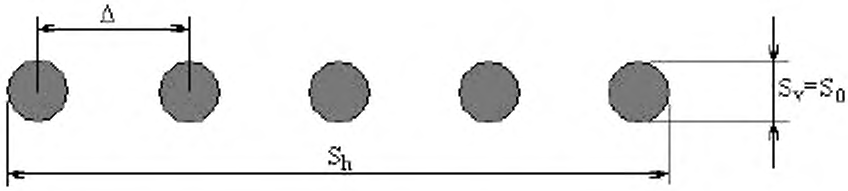
7.5.3.3 Угол стягивания линейной матрицы

Для простоты принимают, что линейная матрица идентична совокупности источников, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Если любое из этих условий не применяется, то анализ становится более сложным. Если интервалы различны в двух направлениях, то параметр Δ становится Δ_x и Δ_y (см. рисунок 9). Этот анализ применяется для определения ретинальной опасности только в спектральном диапазоне 400–1400 нм.

Рисунок 9 иллюстрирует как определять угол стягивания линейной матрицы источников.

Предполагая, что единичные источники являются малыми, угол стягивания рассчитывается ис-

ходя из размеров матричного источника. Деление измерительного расстояния r (см. рисунки 8a и 8b) определяет угол стягивания для каждого ортогонального направления. Эквивалентное значение угла стягивания α вычисляется как среднее значение двух ортогональных значений α_s, α_v и α_h. Так как почти все жилы волоконных и оптических источников значительно меньше 0,15 мм (соответствует минимальному значению α от 1,5 мрад на расстоянии 100 мм), то в расчетах часто используется минимальное значение по умолчанию. Поэтому размер S_0 единичной жилы или единичного источника почти всегда принимается равным 0,15 мм, хотя обычно он меньшего размера. Согласно МЭК 60825-1 перед началом среднеарифметического расчета α матрицы оно всегда ограничивается значением $\geq \alpha_{min}$ и $\leq \alpha_{max}$ в каждом ортогональном направлении (α_v или α_h).



Δ = расстояние от центра до центра;
S_v = вертикальный размер = S_0 (размер одного источника);
S_h = горизонтальный размер = $S_0 + (n - 1)\,\Delta$;
$\alpha_v = S_v/r$;
$\alpha_h = S_h/r$;
$\alpha = (\alpha_v + \alpha_h)/2$;

Рисунок 9 – Видимый исходный размер линейной матрицы

Значения T_2 и C_6 могут определяться по α для каждой комбинации источников. Используя эти значения и C_4, и C_7 параметры зависящие от длины излучаемой волны, можно будет рассчитать ДПИ канала. Если оцениваемое положение находится в дальней зоне и предполагается, что пучки от каждого источника являются гауссовскими, то диаметр пучка одиночного источника на каждом расстоянии может быть определен по пучку расходимости, и доля излучаемой мощности, собираемая апертурой диаметром 7 мм, может быть рассчитана на основе сопряженного параметра (см. 7.8.7). Это может быть использовано при определении допускаемой мощности на один канал в каждой комбинации и минимизации значения возможного жесткого ограничения.

7.5.3.4 Простой некруговой источник

Для простого источника, такого как диффузный пучок или СИД без оптической модификации, излучающий источник подобен видимому источнику относительно и его местоположения, и размера. До сих пор принимались во внимание круговые симметричные источники. Если источник некруговой, эффективный угол стягивания определяется так

$$\alpha_{x+y} = (\alpha_x + \alpha_y)/2,$$

где α_x и α_y - углы стягивания в двух ортогональных направлениях, как показано на рисунке 10.

Перед началом расчета среднего значения угол стягивания, который больше, чем α_{max}, или меньше, чем α_{min}, должен ограничиваться значениями α_{max} или α_{min} соответственно.

Для прямоугольного источника значения угла стягивания α_x и α_y соответствуют длинной и короткой стороне реального источника.

Для эллиптического источника значения угла стягивания α_x и α_y соответствуют удвоенному значению большой и малой полуоси эллипса.

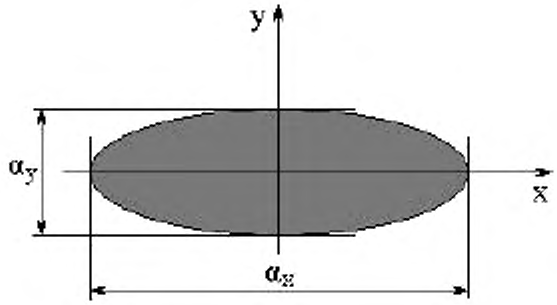


Рисунок 10 – Эффективный угол стягивания простого некругового источника

7.6 Продолжительность эмиссии

В МЭК 60825-1 [п. 8.4, перечисление e)] приведены три варианта классификации временной базы:

a) 0,25 с для длин волн видимого диапазона для классов 2, 2М и 3R;

b) 100 с применяется для всех случаев, за исключением указанных в перечислениях a) и c);

c) 30 000 с для намеренно длинного времени наблюдения.

Исключение существует для диапазона ретинальной опасности 400–1400 нм и только для тепловой опасности. Если параметр T_2 указан в соответствующей графе таблицы, содержащей формулы расчета пределов, то рассчитывают T_2 и используют его, если он подходит. Значение T_2 находится в диапазоне от 10 с для малых источников до значения по умолчанию 100 с для больших источников [см. МЭК 60825-1, пункт 8.4, перечисление f)].

7.7 Условия измерений

Согласно таблице 10 МЭК 60825-1 условия измерения включают:

a) диаметр измерительной апертуры;

b) расстояние между измерительной апертурой и источником или видимым источником;

c) приемный угол устройства измерения излучения;

d) предельный угол эмиссии (расхождение или угол стягивания видимого источника) измеряемого излучения.

Должны быть приняты меры для ограничения измеряемого излучения излучением в главном пучке. Любое внеосевое излучение, достигающее приемник через отражение и рассеяние от поверхностей неизмеряемых устройств, должно быть исключено.

Так как максимальный приемный угол для измерения излучения 100 мрад, то при измерении больших источников (α > 100 мрад) энергия от любой части источника вне этого угла не должна собираться.

Угол стягивания видимого источника определяют на расстоянии большем или равном 100 мм от видимого источника при оценке соответствия условию 2 таблицы 10 МЭК 60825-1. Если видимый источник располагается на расстоянии большем, чем установлено в МЭК 60825-1, оценка для условия 2 должна быть проведена в ближайшей точке доступа человека.

Для оценки соответствия условию 1 таблицы 10 МЭК 60825-1 соответствующее расстояние составляет 2 м от ближайшей точки доступа человека. Если при расчете значения коэффициента C_6 > 1 используется угол стягивания, то должны быть рассмотрены все расстояния для определения максимальной опасности. Оценка, проводимая при некоторых условиях 1, предполагает умножение значения угла стягивания на коэффициент 7 для расчета увеличенного изображения. Для этих случаев для условия 1 максимальный угол, выше которого лазерная энергия обязательно должна быть собрана, должен быть (100 мрад)/7 = 14,3 мрад. Однако коэффициент умножения может быть меньше, чем 7 (см. раздел 9 МЭК 60825-1 для получения большей информации о коэффициенте умножения).

7.8 Сканирующие пучки

Во многих случаях предполагается применение простых расчетов при C_8=1 и длительности импульса, соответствующей длительности просмотра пучка через полную измерительную апертуру на

расстоянии 100 мм от вершины угла сканирующего пучка, полученную в результате классификации в соответствии с требованиями к изделию. Если желательно иметь наименее жесткий предел, эта часть настоящего стандарта описывает в общих чертах метод, определяющий более точный ДПИ, который может позволить установить более низкую классификацию или большую выходную мощность – при той же классификации.

Примечание – Как указано в 9.3 МЭК 60825-1 стандарта, условия 1 и 2 не применяются для сканирующих пучков.

7.8.1 Стационарный угол стягивания (α_s)

Если допустить, что сканирующая система неисправна и глаз сфокусирован на определенном расстоянии Z, то стационарный угол стягивания стягивает угол пучка диаметром (d) на расстоянии Z. Рисунок 11 показывает оптическую схему расположения для неисправной сканирующей системы, где положение точки, которая изображает глаз, находится вне вершины сканирующего пучка

$$\alpha_s = d/Z ,$$

где d – диаметр пучка в точке фокуса глаза;

Z – расстояние от измерительной апертуры до точки фокуса глаза.

Примечание 1 – Профиль энергетической освещенности изображения на сетчатке глаза прямо пропорционален профилю энергетической освещенности пучка в точке аккомодации только когда все лучи, фактически формирующие пучок, входят в апертуру диафрагмы АР. В ином случае, модель «искусственного глаза» или экспериментальная установка должна быть использована для определения угла стягивания.

Примечание 2 – Диаметр пучка определяется в соответствии с МЭК 60825-1, например, может использоваться диаметр d_{63}, охватывающий 63 % энергии. Для гауссовского пучка этот диаметр равен $1/e$ (36,8 %) (e = 2,7183; $1/e$ = 0, 367877).

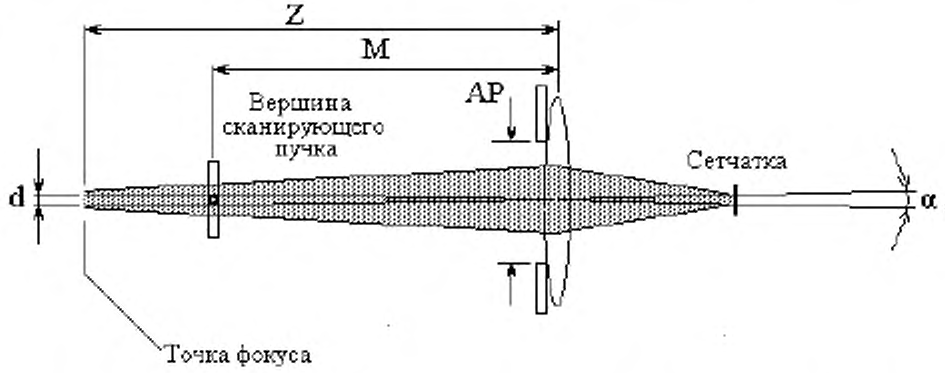


Рисунок 11 – Изображение стационарного видимого источника, расположенного на расстоянии от вершины сканирующего пучка

7.8.2 Длительность импульса сканирования (T_p)

Оптическая система, которая сканирует при двух различных временах (t_0 и t_1), соответствующих достижению центром пучка краев измерительной апертуры (АР), изображена на рисунке 12.

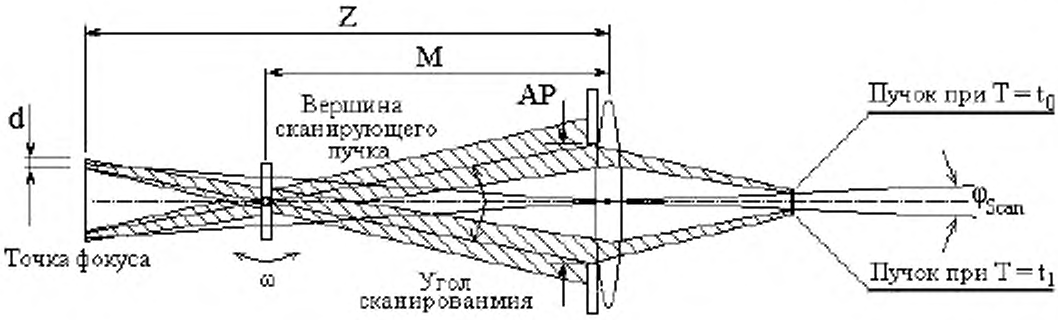


Рисунок 12 – Изображение сканирования видимого источника, расположенного на расстоянии от вершины сканирующего пучка

Примечание – Элемент сканирования показан как прозрачный, а не отражающий элемент для того, чтобы упростить оптическую схему размещения.

Длительность импульса, используемая для классификации постоянной угловой скорости, рассчитывается как

$$T_p = t_1 - t_0 = [\mathrm{tg}^{-1}(AP / M)]/\omega \approx AP / M{\cdot}\omega,$$

где ω – угловая скорость сканирующего пучка в рад/с;

AP – диаметр измерительной апертуры, определенный согласно таблицы 10 МЭК 60825-1 (например, 7 мм для $\lambda > 1400$ нм);

M – расстояние от измерительной апертуры до вершины сканирования.

Примечание – Так как M намного больше, чем AP, то для упрощения уравнения используется маленькое угловое приближение.

При увеличении расстояния от элемента сканирования угол $\varphi_{скан}$, стягивающий измерительную апертуру, уменьшается и в результате уменьшается длительность импульса. Этого может не быть в случае, когда пучок больше измерительной апертуры или скорость сканирования является нелинейной функцией. Измерение длительности и частоты повторения импульса согласно 7.4.2.1.

7.8.3 Стягиваемый угол сканирования ($\alpha_{скан}$)

Стягиваемый угол сканирования $\alpha_{скан}$ используется при вычислении C_6 для сканирующих пучков. Если глаз не сфокусирован на вершину угла сканирования, то пучок формирует на сетчатке глаза линию сканирования, которая противолежит углу $\varphi_{скан}$. Он зависит от измерительной апертуры и расстояния между вершиной пучка сканирования и расположением изображения.

$$\varphi_{скан} = 2\ \mathrm{tg}^{-1}\{(AP / 2){\cdot}[(1/M) - (1/Z)]\} \approx AP{\cdot}[(1/M) - (1/Z)].$$

Примечание 1 – Вершина пучка сканирования не обязательно располагается на поверхности элемента сканирования.

Примечание 2 – Эта формула действительна независимо от того, с какой стороны от вершины пучка сканирования расположена точка фокуса глаза.

Стягиваемый угол сканирования $\varphi_{скан}$ не может быть использован для определения угла стягивания вдоль направления сканирования при вычислении C_6 потому, что в течение короткого времени вся энергия направляется к одной точке на сетчатке глаза. Однако для длительностей меньше T_i согласно таблице 9 МЭК 60825-1(например, $18{\cdot}10^{-6}$ с для 400 нм $< \lambda <$ 1050 нм) опасность не зависит от формы пучка и допускается интегрирование. В этом случае стягиваемый угол сканирования может быть увеличен до φ_T в соответствии с движением пучка по сетчатке за время T_i, который вычисляется по формулам:

если $T_p \geq T_i$;

$$\varphi_T = (T_i / T_p)\ \varphi_{скан},$$

если $T_p < T_i$.

$$\varphi_T = \varphi_{скан},$$

Подставляя уравнение для T_p и $\varphi_{скан}$, получаем

$$\varphi_T = T_i M \omega [(1/M) - (1/Z)].$$

Стягиваемый угол сканирования $\alpha_{скан}$ выражается формулой

$$\alpha_{скан} = макс[(\alpha_s + \varphi_T), \alpha_{min}],$$

где α_s – стационарный угол стягивания вдоль оси сканирования.
Примечание – Если α_s меньше, чем α_{min}, то α_s не заменяется на α_{min}.

Для любой другой точки фокуса глаза коэффициент C_B может быть вычислен по формуле

$$C_B = (\alpha_{пскан} + \alpha_{скан})/(2\ \alpha_{min}),$$

где $\alpha_{пскан}$ – угол стягивания вдоль несканирующей оси или α_{min}, в зависимости от того, который из них больше.

7.8.4 Реверсивное сканирование

Если сканирующая система является реверсивной, то существует место в конце линии сканирования, в котором пучок останавливается и изменяет свое направление. Необходимо рассмотреть определение ДПИ для этого случая. Так как угловая скорость не линейна, длительность импульса T_p не определяется формулой, приведенной в 7.8.2, и должна быть измерена или выведена для скорости как функции углового положения. Для того, чтобы рассчитать C_B, должен быть измерен φ_T или выведен угол, под которым пучок двигается в обратном направлении от конечной точки по прошествии времени (T_i/2). Длительность половинная потому, что направление реверсируется в конце линии сканирования, оставаясь в той же самой области на сетчатке глаза.

7.8.5 Количество линий сканирования в апертуре (n)

В случае множества сканирующих линий, исходящих из одной точки сканирующего элемента, разделение сканирующих линий, как правило, увеличивается с увеличением расстояния от сканирующего элемента. Количество линий сканирования в апертуре влияет на количество импульсов в серии импульсов в течение принятой временной базы. Нижеприведенное уравнение выражает количество импульсов в серии импульсов N как функции частоты повторяющихся импульсов (PRF), количества линий сканирования в апертуре и применяемой временной базы

$$N = (PRF)\ n\ T,$$

где N – количество импульсов в серии импульсов в пределах применяемой временной базы или времени T_2, в зависимости от того, которое из них меньше;
PRF – частота повторения импульса в единичной линии сканирования;
n – количество линий сканирования в апертуре;
T – применяемая временная база или время T_2, в зависимости от того, которое из них меньше.
Измерение длительности импульса и частоты повторения импульса согласно 7.4.2.1.

В сканирующих системах, в которых множественные линии сканирования проникают в зрачок от разных зон источника, соответствующие изображения на сетчатке имеют различную локализацию. Если эти источники разделены более чем на 100 мрад, предполагается, что они независимы и рассматриваются как изолированные источники. Для углового разделения меньше, чем 100 мрад, ДПИ вычисляют для каждого источника индивидуально, а также для всех комбинаций множественных источников для определения наиболее жесткого варианта. Если множественные источники рассматривают как один неравномерный источник, то количество импульсов является количеством составных частей, из которых сформировано неравномерное изображение. Например, если источник А и источник В имеют комбинированное значение C_B величиной, равной $C_{B(A+B)}$,и оба одновременно N раз сканируются через измерительную апертуру во время проведения измерений, то ДПИ будет определяться суммой мощностей источников А и В, уменьшенной на критерий периодического импульса для N импульсов, а не 2N импульсов. Измерения для множественных и неравномерных источников проводятся согласно подразделу 8.4 МЭК 60825-1.

7.8.6 Местоположение максимальной опасности

Местоположение максимальной опасности там, где в результате комбинации угла стягивания, длительности импульса, числа импульсов и собираемой энергии (или мощности) получают наиболее жесткую классификацию. Если стационарный пучок больше, чем измерительная апертура на расстоянии, большем чем 100 мм, то расположение максимальной опасности может быть ближе к видимому

источнику (чем рассчитано для малого источника) потому, что большее значение коэффициента C_6 компенсируется уменьшением парного (сопряженного) параметра. В случае множества линий сканирования только расстояние (промежуток) до перехода к меньшему числу линий сканирования внутри измерительной апертуры может быть рассмотрено как максимально опасное. При оценке расстояния для определения наиболее опасного местоположения все переменные величины измеряются на этом расстоянии.

Для систем простых сканирующих пучков должны быть приведены исследования условий максимальной опасности в двух случаях. Пример приведен в разделе А.4 (приложение А).

7.8.6.1 Фокус в бесконечности (расслабленный глаз)

Важно рассмотреть случай для условий, когда глаз фокусируется в бесконечности, если для расчета $\alpha_{пскан}$ используют C_6>1. В этом случае Z принимают равным бесконечности (∞) и α_s, стремящимся к нулю (→ 0), если лазерный пучок имеет приемлемое качество. В результате этого $\alpha_{пскан}$ не зависит от расстояния от вершины угла сканирования M, но зависит только от T_i и угловой скорости сканирования

$$\alpha_{скан} = \max [(T_i\, \omega), \alpha_{min}].$$

Если угловая скорость меньше, чем (α_{min}/T_i), то $\alpha_{скан} = \alpha_{min}$. Если пучок астигматический $\alpha_{пскан}$ может быть достаточно большим для того, чтобы $C_6 > 1$, то часто наиболее опасное условие – измерительное расстояние 100 мм. Это может быть проверено при изменении измерительного расстояния для определения наихудшего случая.

7.8.6.2 Фокус в вершине угла сканирования

Другим условием оценки является вариант, когда глаз сфокусирован на вершину угла сканирования и измерительная апертура расположена так далеко, что α_s и $\alpha_{пскан}$ меньше, чем α_{min}. В этом случае коэффициент $C_6 = 1$. Расстояние Z приведено в формуле

$$Z_0 = d_{max}/0{,}0015,$$

где d_{max} – наибольший размер пучка при расположении в вершине угла сканирования.

7.8.7 Параметр, связанный с гауссовским пучком (η)

Независимо от полного количества энергии в пучке только энергия, проходящая через ограничительную диафрагму на данном расстоянии измерения, должна быть включена для проведения классификации.

В зависимости от ширины перетяжки и расходимости пучка пучок может быть больше, чем измерительная апертура в некоторых или на всех положениях вдоль доступной части пучка. Для не гауссовских пучков мощность, проходящая через апертуру, должна измеряться напрямую (непосредственно).

Для симметричного гауссовского профиля пучка часть полной энергии, проходящей через круглую апертуру, сосредоточенная в пучке, выражается формулой

$$\eta = 1 - \exp [- (AP/d_{ap})^2],$$

где AP – диаметр измерительной апертуры;

d_{ap} – диаметр пучка в апертуре (определяется согласно МЭК 60825-1, например, d_{63}).

Приложение А
(справочное)

Примеры классификации больших источников и сканирующих пучков

А. 1 Примеры классификации больших источников.

Этот пример описывает метод классификации изделия с большим видимым источником (> 100 мрад). Излучение энергии, как предполагают, происходит равномерно и приблизительно перпендикулярно плоской поверхности, поскольку структура пучка не представлена (т.е. источник некогерентный или полностью диффузный), фактическая область излучения - видимый источник. Принятые параметры – круглый источник диаметром d и расходимость Θ пучка равна $1/e$.

Анализ определяет полную допустимую мощность для класса 1. Поскольку не является очевидным, что условия измерений жестко ограничены, то должны быть оценены оба условия 1 и 2 таблицы 10 МЭК 60825-1 для различных расстояний. Для различных расстояний анализ определяет, какая часть полной допустимой мощности максимально собирается внутри угла 100 мрад, какая часть этой энергии собирается измерительной апертурой и угол стягивания видимого источника. Эти параметры затем могут быть использованы для определения ДПИ класса 1 и полной мощности излучения, как без помощи применения увеличительной оптики, так и с ее помощью.

А.1.1 Предел для рассмотрения источников без применения увеличительной оптики

А.1.1.1 Излучаемая энергия, которая может быть собрана для рассмотрения источников без применения увеличительной оптики

Необходимо определить долю излучаемой от части источника энергии в пределах максимального угла приема δ = 100 мрад на расстоянии (r). Любая излучаемая энергия за пределами круговой проекции источника, образованной углом приема 100 мрад, не должна рассматриваться. Мы можем обозначить долю излучаемой энергии внутри угла приема 100 мрад как F_a.

Рассматривают два геометрических условия:

Для расстояний $r < 10d$ круговая проекция источника, образованная углом приема 100 мрад, имеет диаметр меньше, чем d мм, тогда

$$F_a = \pi/4\ (0{,}1\ r)^2\ \text{мм}^2/(\ \pi/4\ d^2\ \text{мм}^2) = (0{,}1\ r/d)^2.$$

Для расстояний $r \geq 10d$ вся энергия источника собрана в круговой проекции источника, образованной углом приема 100 мрад, тогда $F_a = 1$.

А.1.1.2 Угол стягивания источника для рассмотрения источников без применения увеличительной оптики

Значение угла стягивания α зависит от части источника, которая принимается в расчет, и расстояния r от источника.

Если расстояния $r < 10d$, то излучение источника заполняет угол сбора

$$\alpha = 100 \text{ мрад и } C_6 = 100/1{,}5 = 66{,}7.$$

Если расстояния $r \geq 10d$, то $\alpha = d/r$ рад и $C_6 = 667\ d/r$.

А.1.1.3 Собираемая энергия для рассмотрения источников без применения увеличительной оптики

Для расстояний $r < 10d$ область изображения расходящегося пучка от части источника диаметром 0,1 r на расстоянии r приблизительно равна

$$A_r = \pi/4\ (\Theta\ r + 0{,}1r)^2 = 0{,}79\ (\Theta + 0{,}1)^2\ r^2\ \text{мм}^2.$$

Часть этого изображения, собранная в апертуре диаметром 7 мм, составляет

$$F_c = 0{,}384/[0{,}79\cdot(\Theta + 0{,}1)^2\cdot r^2] = 0{,}49/[(\Theta + 0{,}1)^2\cdot r^2].$$

Для расстояний $r \geq 10d$ область изображения расходящегося пучка от целого источника на расстоянии r приблизительно равна

$$A_r = \pi/4\ (\Theta\ r + d)^2\ \text{мм}^2$$

Часть этого изображения, собранная в апертуре диаметром 7 мм, составляет

$$F_c = 0{,}384/[\pi/4\cdot(\Theta\ r + \text{d})^2] = 0{,}49/[(\Theta\ r + d)^2].$$

Критерий для класса 1.

Энергетический предел для класса 1 согласно таблице 1 МЭК 60825-1 составляет

$$E = 0{,}7\ C_4\ C_6\ T_2^{3/4}\ \text{мДж}.$$

Для допустимого предела мощности критерий выражается, как

$$\text{ДПИ} = E/T_2 = (0{,}7\ C_4\ C_6\ T_2^{3/4})\ 1/T_2 = 0{,}7\ C_4\ C_6/T_2^{1/4}\ \text{мВт}. \qquad (\text{А.1})$$

Полная допустимая мощность при рассмотрении источников без применения увеличительной оптики.

Для определения полной допустимой мощности излучения необходимо использовать поправочные коэффициенты T_2 и C_6 для оцениваемого расстояния. Несмотря на то, что согласно МЭК 60825-1 угол стягивания видимого источника допускается определять на фиксированном расстоянии 100 мм, более консервативным является анализ, устанавливающий оценку параметра на измерительном расстоянии $r > 100$ мм.

Используя уравнение (А.1), полная допустимая мощность излучения на любом расстоянии может быть определена из формулы

$$P_T = \text{ДПИ}/(F_a\ F_c) = 0{,}7\ C_4\ C_6/(\ F_a\ F_c\ T_2^{1/4})\ \text{мВт}. \qquad (\text{А.2})$$

А.1.2 Анализ для рассмотрения источников с применением увеличительной оптики

А.1.2.1 Приближение

Для оценки условия 1 используется метод, описанный выше для рассмотрения источников без применения увеличительной оптики, который дополняется следующими уточнениями:

- большая область сбора излучения для апертуры диаметром 50 мм;
- угол стягивания источника увеличивается в 7 раз соответственно увеличительной оптике;
- приемный угол для сбора излучаемой энергии уменьшается до значения δ = 100/7 мрад соответственно увеличительной оптике;
- минимальное расстояние составляет 2000 мм согласно таблице 10 МЭК 60825-1

А.1.2.2 Излученная энергия для рассмотрения источников с применением увеличительной оптики

Рассматриваются два геометрических условия:

Для расстояний $200 < r < 70d$ круговая проекция источника, образованная углом приема 100/7 мрад, на расстоянии r имеет диаметр меньше, чем d мм, и приблизительная доля собираемой энергии равна

$$F_{ea} = \pi/4\ (0{,}1r/7)^2\ см^2/\ (\pi d^2/4\ см^2) = (0{,}1\ r/7d)^2.$$

Для расстояний $r \geq 70d$ см энергия источника собрана в круговой проекции источника, образованной углом приема 100/7 мрад, тогда $F_{ea} = 1$.

А.1.2.3 Угол стягивания источника при рассмотрении источников с применением увеличительной оптики

Если расстояния $200 < r < 70d$, тогда α = 100 мрад и C_{ea} = 100/1,5 = 66,7.

Если расстояния $r \geq 70d$, тогда $\Theta = 7d/r$ рад и $C_{ea} = 4670\ d/r$.

А.1.2.4 Собираемая энергия источника для рассмотрения источников с применением увеличительной оптики

Для расстояний $r \geq 70d$ область изображения расходящегося пучка от части источника диаметром 0,1 r /7 на расстоянии r приблизительно равна

$$A_r = \pi/4\ (\Theta r + 0{,}1r/7)^2 = 0{,}79\ (\Theta + 0{,}0143)^2\ r^2 \quad см^2.$$

Часть этого изображения, собираемая апертурой диаметром 50 мм

$$F_{ca} = 19{,}6/[0{,}79(\Theta + 0{,}0143)^2\ r^2] = 25/[(\Theta + 0{,}0143)^2\ r^2].$$

Для расстояний $r \geq 70d$ область изображения расходящегося пучка от целого источника диаметром 0,1 r /7 на расстоянии r приблизительно равна

$$A_r = \pi/4\ (\Theta \cdot r + d)^2 \quad см^2.$$

Часть этого изображения, собираемая апертурой диаметром 7 мм:

$$F_{ca} = 19{,}6/[\pi(\Theta r + d)^2] = 25/(\Theta r + d)^2.$$

А.1.2.5 Полная допустимая мощность излучения для рассмотрения источников с применением увеличительной оптики

Полная мощность излучения на любом расстоянии, полученная с использованием ДПИ из уравнения (А.2), но с параметрами для рассмотрения источников с применением увеличительной оптики

$$P_{Ta} = ДПИ/(F_{ea}.\ F_{ca}) = 0{,}7\ C_4\ C_6/(\ F_{ea}\ F_{ca}\ T_{2a}{}^{*/4}) \quad мВт \qquad (А.3)$$

А.1.2.6 Полная допустимая мощность изделия

При определении полной мощности излучения на разных расстояниях при условиях 1 и 2 минимальное значение на любом расстоянии может быть принято и использовано в качестве допустимого уровня мощности изделия.

Следует отметить, что предел для условия рассмотрения источников без применения увеличительной оптики будет постоянен для всех расстояний $r < 10d$, в то время как предел для условия рассмотрения источников с применением увеличительной оптики будет постоянен для всех расстояний $r < 70d$. Эти постоянные величины могут или не могут быть ограничительным критерием.

А.1.2.7 Типовой результат

Если исходный диаметр источника d = 3 см и значение расходимости принимается Θ = 0,05 рад, то допустимая мощность излучения при рассмотрении условия 2 для варианта источника без применения увеличительной оптики на самом жестком расстоянии r < 30 см , вычисленная из уравнения А.2, равна 0,61 Вт. Допустимая мощность излучения источников при рассмотрении условия 1 для варианта источника с применением увеличительной оптики на наиболее жестком расстоянии r < 210 см, вычисленная из уравнения А.3, равна 0,11 Вт. Таким образом, для класса 1 полная допустимая мощность излучения P_{Ta} = 0,11 Вт.

А.2 Примеры сканирующего пучка

А.2.1 Постоянная угловая скорость

Пучок с красным спектром сканирует по горизонтали одиночной линии с помощью трехгранного зеркала, вращающегося со скоростью 1000 об/мин. Грани приводятся в движение посредством вала электродвигателя диаметром 20 мм. Пучок близок к параллельному и имеет диаметр 0,6 мм (1/e) на гранях зеркала. Для иллюстрации этого примера используется измерительное расстояние 100 мм. Это, возможно, не самый наихудший (жесткий) случай.

Случай 1) Каков ДПИ для класса 1 в случае, когда глаз фокусируется на вершину конуса сканирования?

Так как изображением является вершина сканирования, то пучок не сканируется через сетчатку глаза. Для вращающейся грани вершина сканирования находится в центре вращения. Это используют, как закрытое положение видимого источника.

Z = 100 мм M = 100 мм d ~ 0,6 мм ω = 104,7 рад/с

$\alpha_{пскан}$ = 0,006 рад AP = 7,0 мм N = 500 $\varphi_{скан}$ = 0 рад

T_p = 0,67 мс φ_T = 0 рад $\alpha_{скан}$ = 0,006 рад

$C_6 = 4,0$ ДПИ = $(C_6\ 7\ 10^{-4})/(N\ T_p)^{0.25}$ Вт → ДПИ = 3,68 мВт

Случай 2) Каков ДПИ для класса 1, когда глаз фокусируется на бесконечность?

$Z = \infty$ $M = 100$ мм $d \sim 0,6$ мм $\omega = 104,7$ рад/с

$\alpha_{пскан} = 0,0015$ рад $AP = 7,0$ мм $N = 500$ $\varphi_{скан} = 0,070$ рад

$T_p = 0,67$ мс $\varphi_T = 0,0019$ рад $\alpha_{скан} = 0,0019$ рад

$C_6 = 1,13$ ДПИ = $(C_6\ 7\ 10^{-4})/(N\ T_p)^{0.25}$ Вт → ДПИ = 1,04 мВт

Случай 3) Каков ДПИ для класса 1, когда измерительная апертура перемещена на расстояние, при котором $C_6 = 1$ и глаз фокусируется на вершину конуса сканирования?

$Z_0 = 400$ мм $M = 400$ мм $d \sim 0,6$ мм $\omega = 104,7$ рад/с

$\alpha_{пскан} = 0,0015$ рад $AP = 7,0$ мм $N = 500$ $\varphi_{скан} = 0$ рад

$T_p = 0,167$ мс $\varphi_T = 0$ рад $\alpha_{скан} = 0,0015$ рад

$C_6 = 1,0$ ДПИ = $(C_6\ 7\ 10^{-4})/(N\ T_p)^{0.25}$ Вт → ДПИ = 1,30 мВт

Для классификации должна быть использована максимальная допустимая мощность для класса 1, составляющая 1,04 мВт, как наиболее жесткий ДПИ определенный для случая 2.

А.2.2 Увеличенная постоянная угловая скорость

Как будет изменяться ДПИ, если скорость вращения грани увеличится до 4000 об/мин?

Случай 1) Каков ДПИ для класса 1, когда глаз фокусируется на вершину конуса сканирования?

Так как изображением является вершина сканирования, то пучок не сканируется через сетчатку глаза. Для вращающейся грани вершина сканирования находится в центре вращения. Это используют как закрытое положение видимого источника.

$Z = 100$ мм $M = 100$ мм $d \sim 0,6$ мм $\omega = 418,9$ рад/с

$\alpha_{пскан} = 0,006$ рад $AP = 7,0$ мм $N = 2000$ $\varphi_{скан} = 0$ рад

$T_p = 0,167$ мс $\varphi_T = 0$ рад $\alpha_{скан} = 0,006$ рад

$C_6 = 4,0$ ДПИ = $(C_6\ 7\ 10^{-4})/(N\ T_p)^{0.25}$ Вт → ДПИ = 3,68 мВт

Случай 2) Каков ДПИ для класса 1, когда глаз фокусируется на бесконечность и если ось зеркала вращается со скоростью 4000 об/мин?

$Z = \infty$ $M = 100$ мм $d \sim 0,6$ мм $\omega = 418,9$ рад/с

$\alpha_{пскан} = 0,0015$ рад $AP = 7,0$ мм $N = 2000$ $\varphi_{скан} = 0,0700$ рад

$T_p = 0,167$ мс $\varphi_T = 0,0075$ рад $\alpha_{скан} = 0,0075$ рад

$C_6 = 3,01$ ДПИ = $(C_6\ 7\ 10^{-4})/(N\ T_p)^{0.25}$ Вт → ДПИ = 2,771 мВт

Случай 3) Каков ДПИ для класса 1, если ось зеркала вращается со скоростью 4000 об/мин, измерительная апертура перемещена на расстояние, при котором $C_6 = 1$ и глаз фокусируется на вершину конуса сканирования?

$Z_0 = 400$ мм $M = 400$ мм $d \sim 0,6$ мм $\omega = 418,9$ рад/с

$\alpha_{пскан} = 0,0015$ рад $AP = 7,0$ мм $N = 2000$ $\varphi_{скан} = 0$ рад

$T_p = 0,042$ мс $\varphi_T = 0$ рад $\alpha_{скан} = 0,0015$ рад

$C_6 = 1,0$ ДПИ = $(C_6 \cdot 7 \cdot 10^{-4})/(N \cdot T_p)^{0.25}$ Вт → ДПИ = 1,30 мВт

Для классификации должна быть использована максимальная допустимая мощность для класса 1, составляющая 1,30 мВт, как наиболее жесткий ДПИ, определенный для случая 3.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответст-вия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 60825-1:1993	–	*
МЭК 61040	–	*
ИСО 11554	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»

* 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 стандартов:

- IDT – идентичный стандарт.

Библиография

[1] МКО S 009/E:2002 (CIE S 009/E:2002) Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems (Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем)

[2] Galbiati, Enrico. Evaluation of the apparent source in laser safety. Journal of Laser Applications, 2001, 13: p. 141–149 (Определение видимого источника в безопасности лазера)

УДК 621.375.826:001.4:006.354 ОКС 13160:32.260 Т58 ОКП 634200

Ключевые слова: лазерное излучение, допустимые уровни излучения, максимальная возможная экспозиция, апертура, ретинальная опасность

Подписано в печать 01.09.2014. Формат 60x84 1/8.
Усл. печ. л. 3,72. Тираж 44 экз. Зак. 3956

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru

gost.e-ecolog.ru

Поправка к ГОСТ Р 54836—2011/IEC/TR 60825-13:2006 Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 13. Измерения для классификации лазерной аппаратуры

В каком месте	Напечатано	Должно быть
Титульный лист, первая страница стандарта	**ГОСТ Р 54836—2011**	**ГОСТ Р 54836—2011/IEC/TR 60825-13:2006**
Библиографические данные	ОКС 13160:32.260	ОКС 13.100; 31.260

(ИУС № 2 2015 г.)

gost.e-ecolog.ru