МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)

INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC 60825-1— 2013

Безопасность лазерной аппаратуры

Часть 1

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ, ТРЕБОВАНИЯ И РУКОВОДСТВО ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

(IEC 60825-1:2007, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0—92 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2009 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, применения, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией Научно-техническим центром сертификации электрооборудования «ИСЭП» (АНО НТЦСЭ «ИСЭП»)

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 7 июня 2013 г. № 43)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	Минэкономики Республики Армения
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2013 г. № 1496-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 60825-1—2013 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2014 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 60825-1:2007 Safety of laser products Part 1. Equipment classification, requirements and user'c guide (Безопасность лазерной аппаратуры Часть 1. Классификация оборудования, требования и руководство для пользователей).

Стандарт подготовлен на основе применения ГОСТ Р МЭК 60825-1—2009.

Степень соответствия — идентичная (IDT).

Сведения о соответствии межгосударственных стандартов ссылочным международным стандартам приведены в дополнительном приложении ДА

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Стандартинформ, 2014

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

Содержание

1 Область применения и назначение . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 2
3 Термины и определения . . . 3
4 Технические характеристики . . . 11
4.1 Общие замечания . . . 11
4.2 Защитный кожух . . . 11
4.3 Панели доступа и защитные блокировки . . . 11
4.4 Соединитель дистанционной блокировки . . . 12
4.5 Ручной перезапуск . . . 12
4.6 Управление ключом . . . 12
4.7 Предупреждение эмиссии лазерного излучения . . . 13
4.8 Блокиратор пучка или аттенюатор . . . 13
4.9 Органы управления . . . 13
4.10 Оптические системы наблюдения . . . 13
4.11 Предосторожность при сканировании . . . 13
4.12 Отдельный доступ . . . 14
4.13 Условия окружающей среды . . . 14
4.14 Защита против других вредных факторов . . . 14
5 Маркировка . . . 14
5.1 Общие положения . . . 14
5.2 Классы 1 и 1M . . . 16
5.3 Классы 2 и 2M . . . 17
5.4 Класс 3R . . . 17
5.5 Класс 3B . . . 18
5.6 Класс 4 . . . 18
5.7 Маркировка апертуры . . . 18
5.8 Выходное излучение и стандартная информация . . . 18
5.9 Маркировка панелей доступа . . . 18
5.10 Предупреждение о невидимом лазерном излучении . . . 19
5.11 Предупреждение о видимом лазерном излучении . . . 19
6 Другие информационные требования . . . 19
6.1 Информация для пользователей . . . 19
6.2 Информация, необходимая при поставке и обслуживании . . . 21
7 Дополнительные требования для специфической лазерной аппаратуры . . . 21
7.1 Другие части стандарта серии IEC 60825 . . . 21
7.2 Медицинская лазерная аппаратура . . . 22
7.3 Лазерные обрабатывающие устройства . . . 22
7.4 Электрические игрушки . . . 22
7.5 Потребительская электронная аппаратура . . . 22
8 Классификация . . . 22
8.1 Введение . . . 22
8.2 Классификация ответственности . . . 22
8.3 Правила классификации . . . 22
9 Определение предела доступной эмиссии . . . 26
9.1 Испытания . . . 26
9.2 Измерение лазерного излучения . . . 27
9.3 Геометрия измерений . . . 35
Приложение A (справочное) Значения максимально допустимой экспозиции . . . 40
Приложение B (справочное) Примеры расчетов . . . 46

Приложение C (справочное) Описание классов и соответствующих потенциальных опасностей . . 54
Приложение D (справочное) Медицинские аспекты 58
Приложение E (справочное) Максимально возможная экспозиция и ПДЭ, выраженные как энергетическая яркость 66
Приложение F (справочное) Сводные таблицы 69
Приложение G (справочное) Обзор связанных частей стандарта IEC 60825 72
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии межгосударственных стандартов ссылочным международным стандартам (международным документам) 74
Библиография 75

Введение

1) Международная Электротехническая Комиссия (МЭК) всемирная организация по стандартизации, объединяющая все национальные комитеты (Национальные комитеты МЭК). Цель МЭК содействовать международной кооперации по всем концептуальным вопросам стандартизации в электрических и электронных направлениях. Как завершение этого и оказания помощи в других сферах, МЭК публикует Международные стандарты, Технические условия, Технические доклады, Публичные технические требования (ПТТ) и Руководства (в дальнейшем обозначаемые как «Публикации МЭК»). Их подготовка поручается техническим комитетам; любой Национальный комитет МЭК, заинтересованный в объекте рассмотрения может принимать участие в этой подготовительной работе. Международные, государственные и негосударственные организации, поддерживающие связь с МЭК также принимают участие в этой подготовке. МЭК тесно и плодотворно сотрудничает с Международной организацией по стандартизации (ИСО) в соответствии с соглашением, принятым между двумя организациями.

2) Формальные решения или соглашения МЭК по техническим вопросам устанавливаются так близко, как это возможно по международному согласованию мнений важных субъектов, начиная от представляющего комитета и с учетом мнений всех заинтересованных Национальных комитетов МЭК.

3) Публикации МЭК имеют форму рекомендации и принимаются Национальными комитетами по принадлежности. В то же время принимаются разумные меры, чтобы гарантировать техническое содержание Публикаций МЭК на должном уровне. МЭК не может нести ответственность за способы их применения или их интерпретацию любым конечным пользователем.

4) Для того, чтобы содействовать международной унификации, Национальные комитеты МЭК берут на себя обязанность с максимально возможной честностью применять Публикации МЭК в своих национальных и региональных публикациях. Любое расхождение стандартом между любой Публикацией МЭК и соответствующей национальной или региональной публикацией должно быть обязательно и четко указано письменно.

5) Предложения МЭК не означают процедуру их одобрения и не могут нести ответственность за то, что любая декларированная аппаратура соответствует Публикации МЭК.

6) Все пользователи должны быть уверены, что они имеют последнее издание этой публикации.

7) Не должна быть закреплена ответственность МЭК, или ее директоров, сотрудников, служащих или агентов, включая экспертов и членов технических комитетов и Национальных комитетов МЭК за персональный ущерб, нарушение свойств или другие нарушения любой природы, которые могут быть прямыми или косвенными, за стоимость (включая легальные платежи) и затраты на приобретение публикации, которая используется при пользовании этой Публикации МЭК, или ее разделов, или любой другой Публикации МЭК.

8) Обращается внимание на Справочный оттенок приводимых приложений этой публикации. Использование справочных публикаций помогает в затруднениях правильного применения этой публикации.

9) Обращается внимание на вероятность того, что некоторые элементы этой Публикации МЭК могут быть предметом патентного права. МЭК не несет ответственность за идентификацию одного или всех патентных прав.

Международный стандарт IEC 60825-1 подготовлен техническим комитетом МЭК 76: Безопасность оптического излучения и лазерная аппаратура.

Это второе издание IEC 60825-1 признает недействительным и заменяет первое издание публикации 1993 г., его Поправку 1 (1997 г.) и его Поправку 2 (2001 г.). Оно представляет собой техническую пересмотренную версию. Руководство пользователя изъято из этой части стандарта серии МЭК, и в настоящее время находится в отдельном документе (Часть 14). Светоизлучающие диоды (СИД) исключены из рамок этой части IEC 60825, но могут быть беспрепятственно включены в другие части.

Эта часть IEC 60825 имеет статус Публикации по групповой безопасности в соответствии с IEC Guide 104[1] относительно безопасности человека от аспектов лазерного излучения.

Текст этого стандарта базируется на следующих документах:

CDV	Отчет о голосовании
76/338/CDV	76/357/RVC

[1] IEC Guide 104:1997, The preparation of safety publication and the use of basic safety publication and group safety publications (Подготовка публикаций по безопасности и использование основных и групповых публикаций по безопасности).

Оно содержит указания для технических комитетов МЭК и авторов спецификаций в части способа разработки публикаций по безопасности.

Данное руководство не является нормативной ссылкой и приведено только в качестве справки.

Полную информацию по голосованию для одобрения этого стандарта можно найти в протоколе голосования, указанном в вышеприведенной таблице.

Эта публикация создана в соответствии с Директивами ISO/IEC, Часть 2.

Список всех частей серии IEC 60825, опубликованных под заголовком «Безопасность лазерной аппаратуры», можно найти на интернет-сайте МЭК.

Настоящий стандарт IEC 60825 также аннотирована в этой публикации как «Часть 1».

Комитет принял решение, что содержание этой публикации будет оставаться без изменения до тех пор, пока измененное содержание не будет на странице Интернета МЭК «gost.e-ecolog.ru в специальной публикации с необходимыми обоснованиями. На эту дату публикация будет

- подтверждена;
- отозвана;
- заменена пересмотренным изданием или
- исправлена.

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

Безопасность лазерной аппаратуры

Часть 1

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ, ТРЕБОВАНИЯ И РУКОВОДСТВО ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Safety of laser products. Part 1.
Equipment claccification, requirements and user'c guide

Дата введения — 2014—07—01

1 Область применения и назначение

Настоящий стандарт применяется для обеспечения безопасности лазерной аппаратуры, испускающей лазерное излучение в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм.

Лазерная аппаратура может состоять из отдельного лазера с источником питания или без него или из одного или нескольких лазеров в сложной оптической, электрической или механической системе. Обычно лазерную аппаратуру используют для демонстрации физических и оптических явлений, обработки материалов, считывания и запоминания данных, передачи и воспроизведения информации и т. д. Такие системы используют в промышленности, бизнесе, развлекательной индустрии, научных исследованиях, образовании, медицине и других продуктах.

Лазерная аппаратура, которую поставляют другие изготовители для использования в качестве компонентов в любых системах для последующих поставок, не являются предметом рассмотрения настоящего стандарта, так как окончательная аппаратура не может быть предметом настоящего стандарта. Однако если лазерная система, входящая в состав лазерной аппаратуры, может функционировать отдельно от аппаратуры, то на нее распространяются требования данного раздела.

Примечание 1 — Действующее оборудование не нуждается в использовании инструмента для начала функционирования.

Любая лазерная аппаратура исключается из дальнейших требований настоящего стандарта, если по классификации изготовителя аппаратура, соответствующая разделам 3, 8 и 9, показывает, что уровень эмиссии не превышает предел доступной эмиссии (ПДЭ) для класса 1 при всех условиях функционирования, технического обслуживания, сервисного обслуживания и при авариях.

Примечание 2 — Вышеприведенное освобождение не гарантирует безопасности лазерной аппаратуры в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

Дополнительно к опасностям лазерного излучения лазерное оборудование может также представлять другие опасности, такие как огонь и удар током.

Примечание 3 — Однако классификация и другие требования настоящего стандарта относятся исключительно к опасности лазерного излучения для глаз и кожи. Другие опасности не включены в его область действия.

Настоящий стандарт включает в себя минимальные требования. Соответствие настоящему стандарту может быть недостаточным, чтобы выполнять требования по уровню безопасности аппаратуры. Лазерная аппаратура должна удовлетворять соответствующим эксплуатационным и испытательным требованиям действующим стандартам по безопасности.

Издание официальное

Примечание 4 — Другие стандарты могут содержать дополнительные требования. Рассматриваемые требования должны учитывать применение и классификацию пользователя. Например, класс 3D или класс 4 лазерной аппаратуры не может быть установлен для использования других продуктов.

В тех случаях, когда лазерная система является составной частью оборудования, на которое распространяются требования других стандартов IEC по безопасности [например, медицинского оборудования (IEC 60601-2-22), оборудования информационных технологий (IEC 60950), аудио- и видеооборудования (IEC 60065), оборудования, предназначенного для использования в опасных средах (IEC 60079), электрических игрушек (IEC 62115)], настоящий стандарт применятся в соответствии с требованиями IEC Guide 104[2] в части опасностей, возникающих от лазерного излучения. Если ни один из стандартов по безопасности на изделия не применим, то применяют IEC 61010-1.

В предыдущих изданиях светоизлучающие диоды (СИД) были включены в область действия IEC 60825-1, и они могли быть включены в другие части серии стандартов IEC 60825. Однако с развитием стандартов по ламповой безопасности безопасность оптического излучения СИД в большинстве своем адресована стандартам по ламповой безопасности. Удаление СИД из области применения настоящего стандарта не устраняют СИД из других стандартов, включая СИД, которые соотносятся с лазерами. IEC S009 может применяться для определения класса СИД или аппаратуры, содержащей один или более СИД.

Значения максимально допустимой экспозиции (МДЭ) настоящего стандарта были разработаны для лазерного излучения и не относятся к сопутствующему излучению. Однако если существует вероятность, что сопутствующее излучение может быть опасным, значение лазерной МДЭ может быть оценено как консервативная потенциальная опасность.

МДЭ лазерного излучения не применяют к пациентам, при медицинском или косметическом/эстетическом лечении.

Примечание 5 — Приложения А — Н включены для возможной общей ориентации и иллюстрируют типичные случаи. Однако приложения не являются категорическими или исчерпывающими, и это всегда можно установить в нормативной части настоящего стандарта.

Цели настоящего стандарта:

- введении системы классификации лазеров и лазерной аппаратуры в зависимости от степени опасности их оптического излучения для того, чтобы оказывать помощь пользователю при оценке степени опасности и определении мер контроля;
- установлении требований для изготовителей, чтобы снабдить их информацией и принять необходимые меры предосторожности;
- однозначном предупреждении персонала об опасности, связанной с доступным излучением от лазерной аппаратуры, с помощью маркировок и инструкций;
- снижение вероятности получения ущерба, путем доведения до минимума ненужного доступного излучения и усовершенствование контроля опасностей от лазерного излучения применением средств защиты.

2 Нормативные ссылки

В данном разделе представлены следующие ссылочные стандарты, которые совершенно необходимы для применения настоящего стандарта. Дата ссылочных стандартов указана на действующее издание. В случае выхода более позднего по дате издания стандарта или утвержденных изменений к указанным ссылкам, они могут применяться наравне с перечисленными.

IEC 60050-845:1987 International electrotechnical vocabulary-Chapter 845: Lighting (Международный электротехнический словарь (МЭС). Глава 845. Освещение)

IEC 60601-2-22 Medical electrical equipment — Part 2-22: Particular requirements for basic safety and essential performance of surgical, cosmetic, therapeutic and diagnostic laser equipment (Медицинское электрическое оборудование — Часть 2-22. Частные требования к базовой безопасности и основным характеристикам хирургического, косметического, терапевтического и диагностического лазерного оборудования)

---

[2] IEC Guide 104:1997, The preparation of safety publication and the use of basic safety publication and group safety publications (Подготовка публикаций по безопасности и использование основных и групповых публикаций по безопасности).

IEC 61010-1 Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use. Part 1. General requirements (Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования. Часть 1. Общие требования)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по IEC 60050-845, а также следующие термины с соответствующими определениями.

Примечание — Для удобства термины приведены в порядке английского алфавита. Отличия от IEC 60050-845 указаны в скобках с пометкой «модифицировано».

3.1 **панель доступа** (access panel): Часть защитного кожуха или ограждения, которая дает доступ к лазерному излучению, если она снята или сдвинута.

3.2 **доступная эмиссия** (accessible emission): Уровень излучения, определенный в некотором положении и с апертурными диафрагмами [когда предел доступной эмиссии (ПДЭ) измеряется в Вт и Дж] или ограничивающими апертурами (когда ПДЭ измеряется в $Вт \cdot м^{-2}$ или в $Дж \cdot м^{-2}$), как описано в разделе 9.

Доступную эмиссию определяют там, где предполагается доступ человека, как установлено в пункте 3.37. Доступная эмиссия сравнивается с пределом доступной эмиссии (см. пункт 3.3) для того, чтобы определить класс лазерной аппаратуры. В настоящем стандарте, однако, используется термин «уровень излучения», который следует понимать как доступная эмиссия.

Примечание — Когда диаметр пучка больше апертурной диафрагмы, доступную эмиссию приводят в единицах ватт и джоуль, так как полная мощность и энергия, попадающая в лазерную апертуру, меньше испускаемой. Когда диаметр пучка меньше диаметра ограничивающей апертуры, доступную эмиссию, выраженную в $Вт \cdot м^{-2}$ или в $Дж \cdot м^{-2}$, т. е. энергетическую освещенность или энергетическую экспозицию, усредненные по ограничивающей апертуре, меньше чем действительная энергетическая освещенность или энергетическая экспозиция пучка. См. также апертурную диафрагму — пункт 3.9 и ограничивающую апертуру — пункт 3.52.

3.3 **предел доступной эмиссии, ПДЭ** (accessible emission limit, AEL): Максимальное значение доступной эмиссии устанавливается для определенного класса.

Примечание — Под выражением «уровень эмиссии не превышает ПДЭ» или похожим выражением, подразумевается, что доступная эмиссия определяется измерительным критерием, указанным в разделе 9.

3.4 **административный контроль** (administrative control): Нетехнические меры безопасности, такие как надзор за ключом, обучение персонала обеспечению безопасности, предупреждающие надписи, заблаговременное оповещение о появлении опасности методом «обратного отсчета» и контроль мер обеспечения безопасности.

3.5 **альфа минимум** α_{min} (alpha min α_{min}): См. угловой размер и минимальный угловой размер (пункты 3.7 и 3.58).

3.6 **угол приема** γ, рад (angle of acceptance): Плоский угол, в пределах которого приемник будет реагировать на оптическое излучение.

Этот угол приема может управляться апертурами или оптическими элементами перед приемником (см. рисунки 3 и 4). Угол приема иногда определяют как поле зрения.

3.7 **угловой размер видимого источника** α (angular subtense of the apparent source): Угол, стягиваемый видимым источником при наблюдении из точки пространства, как показано на рисунке 3.

Примечания:

1 — Положение и угловой размер видимого источника зависят от положения наблюдения в пучке (см. пункт 3.11).

2 — Угловой размер видимого источника в настоящем стандарте устанавливается только в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм в области ретинальной опасности.

3 — Угловой размер видимого источника не следует путать с расхождением пучка. Угловой размер видимого источника не может быть больше, чем расходящийся пучок, обычно он меньше расходящегося пучка.

3.8 **апертура** (aperture): Любое отверстие в защитном кожухе или другом защитном ограждении лазерной аппаратуры, через которое выходит лазерное излучение; посредством этого возникает доступ человека к такому излучению.

См. также термин «ограничивающая апертура», пункт 3.52.

3.9 **апертурная диафрагма** (aperture stop): Отверстие, служащее для определения площади, в которой измеряют излучение.

3.10 **видимый источник** (apparent source): Для данного положения ретинальной опасности реальный или виртуальный объект, который формирует наименьшее возможное изображение (учитывается диапазон аккомодации человеческого глаза).

Примечания:

1 Диапазон аккомодации глаза считают примерно от 100 мм до бесконечности. Видимый источник устанавливают по положению наблюдателя в пучке с расположением аккомодированных глаз в наиболее безопасных условиях для ретины

2 Такое определение используют для установления действительного места лазерного излучения в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм. В пределе исчезающего расхождения, т. е. в случае хорошо коллимированного пучка, местоположение видимого источника дается для бесконечности.

3.11 **пучок** (beam): Лазерное излучение, которое характеризуется направлением, расходимостью, диаметром или условиями сканирования.

Отклонение излучения от направления не зеркального отражения не определяется как пучок.

3.12 **ослабитель пучка** (beam attenuator): Устройство, которое уменьшает лазерное излучение до определенного уровня.

3.13 **диаметр пучка d_u, ширина пучка** (beam diameter,beam width): Диаметр пучка в точке пространства — это диаметр наименьшего круга, который составляет u % полной мощности (или энергии) лазера.

В настоящем стандарте используют d_{63}.

Примечания:

1 В случае Гауссового пучка d_{63} относится к точке, где энергетическая освещенность (энергетическая экспозиция) снижается до $1/e$ от ее центрального пикового значения.

2 Термин «вторичный момент диаметра» (по определению ISO 11146-1) не используют для профиля пучка с центральной высокой пиковой энергетической освещенностью и низким уровнем фона, так как уменьшение происходит установкой резонатора в дальнем поле: мощность, проходящая через апертуру, может быть в значительной степени недооценена, когда используют 2-й момент и рассчитывают мощность пучка, асимптотически приближающегося к гауссовскому профилю.

3.14 **расходимость пучка** (beam divergence): Дальний плоский угол конуса, определяемый диаметром пучка.

Если диаметры пучка (см. пункт 3.13) в двух точках, разделенных расстоянием r, составляют d_{63} и d'_{63}, то расходимость φ, радиан, вычисляют по формуле:

$$\varphi = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{d'_{63} - d_{63}}{2r} \right).$$

Единица СИ — радиант.

Примечание 1 — Термин «вторичный момент диаметра» (по определению ISO 11146-1) не используют для профиля пучка с центральной высокой пиковой энергетической освещенностью и низким уровнем фона, так как уменьшение происходит установкой резонатора в дальнем поле профиля пучка, что вызывает дифракционные картины, обусловленные апертурами.

3.15 **расширитель пучка** (beam expander): Комбинация оптических элементов, которая увеличивает диаметр пучка лазера.

3.16 **компонент на пути пучка** (beam path component): Оптический компонент, который лежит на заданном пути пучка (например, пучок, отраженный от зеркала или сфокусированный линзой).

3.17 **блокиратор пучка** (beam stop): Устройство, которое прерывает ход пучка лазера.

3.18 **лазерная аппаратура класса 1** (Class 1 laser product): Любая лазерная аппаратура, которая в процессе функционирования не допускает доступа человека к лазерному излучению, для которого чрезмерное значение предела доступной эмиссии установлено классом 1 для соответствующих длин волн и длительностей эмиссии [см. 8.2 и 8.3, перечисление e)].

Примечания

1 См. также ограничения схемы классификации в приложение С.

2 Так как испытания для установления класса аппаратуры ограничены испытаниями во время функционирования, то для некоторой встроенной лазерной аппаратуры с излучением выше ПДЭ для класса 1 может стать доступным во время проведения технического обслуживания, когда блокировки панели доступа отключены.

3.19 **лазерная аппаратура класса 1М** (Class 1M laser product): Любая лазерная аппаратура в диапазоне длин волн от 302,5 до 4000 нм, в которой возможен в процессе функционирования доступ человека к лазерному излучению, превышающему предел доступной эмиссии для класса 1 при соответствующих длинах волн и длительностях эмиссии [см. 8.3, перечисление e)], где уровень излучения измеряют в соответствии с 9.2, перечисление g).

Примечания

1 См. также ограничения схемы классификации в приложение С.

2 Из-за того что измерения проводят с меньшей измерительной апертурой или при большем расстоянии от видимого источника, чем используется для лазерной аппаратуры класса 1М, выход лазерной аппаратуры класса 1М потенциально опасен, когда для наблюдения используют оптический прибор (см. 8.2).

3 Так как испытания для установления класса аппаратуры ограничены испытаниями во время функционирования, то для некоторой встроенной лазерной аппаратуры с излучением выше ПДЭ для класса 1М может стать доступным во время проведения технического обслуживания, когда блокировки панели доступа отключены.

3.20 **лазерная аппаратура класса 2** (Class 2 laser product): Любая лазерная аппаратура в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, в которой возможен в процессе функционирования доступ человека к лазерному излучению, превышающему предел доступной эмиссии для класса 2 при соответствующих длинах волн и длительностях эмиссии [см. 8.2 и 8.3, перечисление e)].

Примечания

1 См. также ограничения схемы классификации в приложение С.

2 Так как испытания для установления класса аппаратуры ограничены испытаниями во время функционирования, то для некоторой встроенной лазерной аппаратуры с излучением выше ПДЭ для класса 2 может стать доступным во время проведения технического обслуживания, когда блокировки панели доступа отключены.

3.21 **лазерная аппаратура класса 2М** (Class 2M laser product): Любая лазерная аппаратура в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, в которой возможен в процессе функционирования доступ человека к лазерному излучению, превышающему предел доступной эмиссии для класса 2 при соответствующих длинах волн и длительностях эмиссии [см. 8.3, перечисление e)], где уровень излучения измеряют в соответствии с 9.2, перечисление h).

Примечания

1 См. также ограничения схемы классификации в приложение С.

2 Из-за того что измерения проводят с меньшей измерительной апертурой или при большем расстоянии от видимого источника, чем используется для лазерной аппаратуры класса 2, выход лазерной аппаратуры класса 2М потенциально опасен, когда для наблюдения используют оптический прибор (см. 8.2).

3 Так как испытания для установления класса аппаратуры ограничены испытаниями во время функционирования, то для некоторой встроенной лазерной аппаратуры с излучением выше ПДЭ для класса 2М может стать доступным во время проведения технического обслуживания, когда блокировки панели доступа отключены.

3.22 **лазерная аппаратура класса 3R и класса 3В** (Class 3R and Class 3B laser products): Любая лазерная аппаратура, которая в процессе функционирования допускает доступ человека к лазерному излучению, для которого чрезмерное значение предела доступной эмиссии установлено классами 1 и 2, по применению, но которая не допускает доступ человека к лазерному излучению, для которого чрезмерное значение предела доступной эмиссии установлено классами 3R и 3В соответственно для любых длительностей эмиссии и длины волны (см. 8.2).

Примечания

1 См. также ограничения схемы классификации в приложение С.

2 Аппаратура классов 1М и 2М может иметь выход больший или меньший, чем ПДЭ для класса 3R в зависимости от оптических характеристик.

3.23 **лазерная аппаратура класса 4** (Class 4 laser product): Любая лазерная аппаратура, у которой разрешается доступ человека к лазерному излучению с допустимым пределом излучения для класса 3В (см. 8.2).

3.24 **сопутствующее излучение** (collateral radiation): Любое электромагнитное излучение в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм, исключая лазерное излучение, генерируемое лазерной аппаратурой как его результат, или физически необходимым для функционирования лазера.

3.25 **коллимированный пучок** (collimated beam): Пучок излучения с очень маленьким углом сходимости или расходимости.

3.26 **непрерывное излучение** (continuous wave, CW): В настоящем стандарте лазер, функционирующий в непрерывном режиме с длительностью на выходе не менее 0,25 с, рассматривается как непрерывный лазер.

3.27 **заданный путь пучка** (defined beam path): Определенная часть лазерного пучка в лазерной аппаратуре.

3.28 **демонстрационная лазерная аппаратура** (demonstration laser product): Любая сконструированная или изготовленная лазерная аппаратура, предназначенная или используемая для демонстрации, развлечения, рекламирования, показа или художественной композиции.

Термин «демонстрационная лазерная аппаратура» не относится к лазерной аппаратуре, которая разработана и предназначена для другого применения, хотя она может быть использована для демонстрации этих применений.

3.29 **диффузное отражение** (diffuse reflection): Изменение пространственного распределения пучка излучения поверхностью или средой во многих направлениях.

Совершенный рассеиватель разрушает все корреляционные связи между падающим и отраженным излучением [IEV 60050 845-04-47, модифицировано].

3.30 **встроенная лазерная аппаратура** (embedded laser product): В настоящем стандарте — это лазерная аппаратура, которая относится к более низкому классу по сравнению со специальным прибором лазерного объединения, так как технические характеристики ограничивают доступную эмиссию.

Примечание — Лазер, который является частью встроенного лазерного аппарата, называют встроенным лазером.

3.31 **длительность эмиссии** (emission duration): Временная длительность импульса, последовательности или серии импульсов или непрерывного функционирования, в течение которой доступ человека к лазерному излучению оказывается возможным во время функционирования, технического или сервисного обслуживания лазерной аппаратуры.

Для одиночного импульса — это длительность на уровне половины пиковой мощности на переднем возрастающем фронте импульса и точкой заднего спада излучения на его хвосте. Для последовательности импульсов (или группы последовательности импульсов) — это длительность между точкой половины пиковой мощности первого импульса и точкой половины пиковой мощности последнего импульса.

3.32 **отклоненное лазерное излучение** (errant laser radiation): Лазерное излучение, которое отклоняется от заданного пути пучка.

Такое излучение испытывает нежелательные отражения от компонентов на пути пучка и отклонение излучения в результате повреждения элементов.

3.33 **длительность экспозиции** (exposure duration): Длительность импульса или серии, или последовательности импульсов, или непрерывной эмиссии лазерного излучения при попадании на тело человека.

Для последовательности импульсов — это длительность между точкой половины пиковой мощности первого импульса и точкой половины пиковой мощности последнего импульса.

3.34 **наблюдение протяженного источника** (extended source viewing): Условия наблюдения видимого источника на расстоянии не менее 100 мм при угле стягивания для глаза больше, чем минимальный угловой размер (α_{min}).

В случае двух протяженных источников в настоящем стандарте рассматривается термическая опасность поражения сетчатки глаз: промежуточный источник и большой источник. Их используют, чтобы различать по угловому размеру видимого источника α в промежутке от α_{min} до α_{max} (промежуточные источники) и более чем α_{max} (большие источники). (См. также пункт 3.80.)

Примером является наблюдение диффузных лазерных источников, диффузных отражений и матриц лазерных диодов.

3.35 **безопасность при неисправности** (fail safe): Конструкция, при которой неисправность узла не увеличивает опасность.

В режиме неисправности система становится неработающей или безопасной.

3.36 **защитная блокировка при неисправности** (fail safe safety interlock): Блокировка, которая в режиме неисправности продолжает выполнять свою функцию, т. е. обязательно переводит лазер в положение «выключено» при открывании шарнирного кожуха или перед удалением съемного кожуха и удерживает его в этом состоянии до тех пор, пока шарнирный кожух не будет закрыт или съемный кожух не будет установлен на место.

3.37 **доступ человека** (human access):

a) возможность облучения тела человека опасным лазерным излучением, испускаемым лазерной аппаратурой, т.е. излучение может обойти защитный кожух, или

b) возможность цилиндрического зондирования с диаметром пучка 100 мм и длиной 100 мм превышение уровня излучения класса 3B и ниже, или

c) возможность облучения руки или предплечья человека излучением, превышающим уровень ПДЭ класса 3B,

d) также для уровня излучения, превышающего эквивалентное излучение класса 3B или класса 4, возможность любой части человеческого тела встретить опасное лазерное излучение, непосредственно отраженное элементом поверхности внутренней конструкции аппаратуры через любое открытое отверстие в защитном кожухе.

Примечание — Для лазерной аппаратуры с принятыми мерами исключения доступа необходимо учитывать излучение от внутренней и внешней сторон защитного кожуха при определении доступа человека. Доступ человека к внутренним частям корпуса может быть исключен техническими средствами контроля, такими как автоматические системы обнаружения.

3.38 **интегральная энергетическая яркость Дж·м$^{-2}$·ср$^{-1}$** (integrated radiance): Интеграл энергетической яркости за данную длительность экспозиции, выражаемый как энергия излучения на единицу площади поверхности излучения и на единицу телесного угла эмиссии.

3.39 **наблюдение в пучке** (irradiance): Все условия наблюдения, когда глаз подвергается воздействию прямого или зеркально отраженного лазерного излучения, кроме случаев наблюдения, например диффузного отражения.

3.40 **энергетическая освещенность *E*, Вт·м$^{-2}$** (intrabeam viewing): Отношение потока излучения, падающего на часть поверхности, к площади этой части поверхности:

$$E = \frac{d\Phi}{dA}.$$

3.41 **лазер** (laser): Любой прибор, который может создавать или усиливать электромагнитное излучение в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм, главным образом, благодаря процессу управляемой вынужденной эмиссии.

[IEV 60050 — 845-04-39, модифицировано].

3.42 **контролируемая лазерная зона** (laser controlled area): Площадь, внутри которой расходимость и активность являются предметом контроля и наблюдения для возможной защиты от опасного излучения.

3.43 **источник лазерной энергии** (laser energy source): Любое устройство, используемое совместно с лазером, чтобы воспроизводить энергию при возбуждении электронов, ионов или молекул.

Основные источники энергии, такие как источники электропитания или батарейки не рассматриваются как источники лазерной энергии.

3.44 **зона лазерной опасности** (laser hazard area): См. номинальная опасная для глаз зона (пункт 3.61).

3.45 **лазерная аппаратура** (laser product): Любая аппаратура или соединение компонентов, которые составляют, создают или приводят к созданию лазера или лазерной системы.

3.46 **лазерное излучение** (laser radiation): Все электромагнитное излучение, испускаемое лазерной аппаратурой в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм, которое вырабатывается как результат вынужденного испускания.

3.47 **ответственный за лазерную безопасность** (laser safety officer): Лицо, компетентное в вопросах оценки и контроля лазерной опасности и отвечающее за организацию контроля лазерной опасности.

3.48 **лазерная система** (laser system): Лазер в комбинации с соответствующим источником лазерной энергии с дополнительными компонентами или без них.

3.49 **светоизлучающий диод;** СИД (light emitting diode, LED): Любое полупроводниковое устройство с *p-n* переходом, которое может вырабатывать электромагнитное излучение излучательной рекомбинацией в полупроводнике в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм.

(Оптическое излучение вырабатывается главным образом в процессе спонтанной эмиссии, хотя может иметь место вынужденная эмиссия.)

3.50 **предельный угол приема при оценивании фотохимической опасности для сетчатки γ_{ph}** (limiting angle of acceptance for evaluating retinal photochemical hazards): При расчете ретинальной фотохимической опасности определяют предельный измеряемый угол приема γ_{ph}. Угол γ_{ph} имеет отношение к адаптации глаза и не зависит от углового размера видимого источника. Если угловой размер видимого источника больше, чем определяемый предельный угол приема γ_{ph}, то угол приема γ ограничивается γ_{ph} и источник рассматривается полностью. Если измеряемый угол приема γ не лимитирован указанным уровнем, то опасность может быть переоценена.

Примечание — Если угловой размер видимого источника меньше, чем определенный предельный измеряемый угол приема, то действительный угол приема оптимален для измерения и не может быть ограничен, т. е. может быть использован обычный «открытый» угол приема радиометра.

3.51 **предельный угол приема при оценивании тепловой опасности для сетчатки γ_{th}** (limiting angle of acceptance for evaluating thermal hazards): Максимальный угловой размер для использования в расчетах ретинальной тепловой опасности.

Значение угла приема может варьироваться между α_{min} и α_{max} [см. 8.3, перечисление d); 9.3.2, перечисление b), 2)].

3.52 **ограничивающая апертура** (limiting aperture): Область в виде круга, по которой проводят усреднение энергетической освещенности и энергетической экспозиции.

3.53 **техническое обслуживание** (maintenance): Выполнение регулировок и методик, оговоренных в информации для потребителя изготовителем лазерной аппаратуры, которые должен выполнять потребитель для обеспечения установленных характеристик аппаратуры.

В это понятие не включается функционирование или сервисное обслуживание.

3.54 **максимальный угловой размер** α_{max} (maximum angular subtense I max): Значение углового размера видимого источника, свыше которого МДЭ и ПДЭ не зависят от размера источника.

Примечание — α_{max} = 100 мрад.

3.55 **максимальная интенсивность** (maximum output): Максимальная мощность излучения или, где это применимо, максимальная энергия излучения в импульсе полного доступного лазерного излучения, создаваемого лазерной аппаратурой в любом направлении во всем диапазоне возможностей функционирования в любой момент после изготовления.

Примечание — Максимальная интенсивность — максимальная доступная эмиссия, которая используется для определения класса лазерной аппаратуры. Так как определение доступной эмиссии включает, наряду с другими условиями, условия единичной неисправности (см. 9.2), то максимальная интенсивность может превышать наибольший выход аппаратуры в течение нормального функционирования.

3.56 **максимально допустимая экспозиция;** МДЭ (maximum permissible exposure, MPE): Уровень лазерного облучения, до которого при нормальных условиях может облучиться персонал без вредных последствий.

МДЭ представляет собой максимальный уровень облучения, которому можно подвергать глаза или кожу без возникающих сразу или через длительный промежуток времени повреждений и который связан с длиной волны излучения, длительностью импульса или длительностью экспозиции, особенностями подвергаемой опасности ткани, а также для видимого или ближнего инфракрасного излучения в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм — с размером изображения на сетчатке. Уровни максимально допустимой экспозиции (при современном уровне знаний) приведены в приложении А.

3.57 **медицинская лазерная аппаратура** (medical laser product): Любая лазерная аппаратура, разработанная, изготовленная или используемая в целях воздействия на человеческий организм при диагностике, хирургии или терапевтического лазерного облучения любой части тела человека.

3.58 **минимальный угловой размер** α_{min} (minimum angular subtense I min): Значение углового размера видимого источника, свыше которого источник считается протяженным. МДЭ и ПДЭ не зависят от размера источника с угловым размером меньше, чем α_{min}.

Примечание – α_{min} = 1,5 мрад.

3.59 **синхронизация мод** (mode-locking): Постоянный механизм или явление в лазерном резонаторе, создающие последовательность очень коротких (субнаносекундных) импульсов.

Хотя это явление вызывается преднамеренно, оно также может происходить спонтанно как «самосинхронизация мод». Получаемые пиковые мощности могут значительно превышать среднюю мощность.

3.60 **наиболее опасное положение** (most restrictive position): Положение в пучке, в котором отношение доступной эмиссии к ПДЭ — максимальное.

Примечание — Доступная эмиссия и ПДЭ могут зависеть от места излучения по отношению к полному размеру пучка.

3.61 **номинальная опасная для глаз зона;** НОГЗ (nominal ocular hazard area NOHA): Зона, внутри которой энергетическая освещенность или энергетическая экспозиция превышает предполагаемое значение максимально допустимой экспозиции (МДЭ), учитывая возможность случайного изменения направления лазерного пучка.

Если НОГЗ предусматривает возможность наблюдения через оптические приборы, то она называется «расширенной НОГЗ».

3.62 **номинальное опасное для глаз расстояние;** НОГР (nominal ocular hazard distance NOHD): Расстояние от выходной апертуры, на котором энергетическая освещенность или энергетическая экспозиция равна предполагаемому значению МДЭ.

Если НОГР предусматривает возможность наблюдения через оптические приборы, то оно называется «расширенным НОГР (РНОГР)».

3.63 **функционирование** (operation): Характеристика лазерной аппаратуры в полном диапазоне его функционирования.

В это понятие не включается техническое или сервисное обслуживание.

3.64 **предел фотохимической опасности** (photochemical hazard limit): МДЭ или ПДЭ, которые были получены для защиты персонала против фотохимических эффектов.

В ультрафиолетовом диапазоне предел фотохимической опасности защищает против этих эффектов роговицу и хрусталик, в то время как предел фотохимической опасности для сетчатки, определенный в диапазоне длин волн от 400 до 600 нм, защищает от повреждения экспозицией излучения сетчатку.

3.65 **защитное ограждение** (protective enclosure): Физические средства для защиты человека от экспозиции лазерного излучения в случаях, когда доступ необходим для монтажа оборудования.

3.66 **защитный кожух** (protective housing): Те части лазерной аппаратуры (включая аппаратуру, содержащую встроенные лазеры), которые сконструированы для предотвращения доступа человека к лазерному излучению, предписанного ПДЭ (обычно устанавливается изготовителем).

3.67 **длительность импульса** (pulse duration): Приращение времени, измеренное между точками, соответствующими половине пиковой мощности в начале и в конце импульса.

3.68 **импульсный лазер** (pulsed laser): Лазер, который генерирует энергию в виде одного импульса или последовательности импульсов.

Длительность импульса меньше, чем 0,25 с.

3.69 **энергетическая яркость L, Вт·м$^{-2}$·ср$^{-1}$** (radiance): Величина, вычисляемая по формуле:

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega},$$

где $d\Phi$ — поток излучения, переносимый элементарным пучком, проходящим через данную точку и распространяющимся в телесном угле $d\Omega$, содержащем данное направление;

dA — площадь элемента пучка, содержащего данную точку;

θ — угол между нормалью к элементу и направлением пучка.

[IEV 60050 — 845-01-34, модифицировано].

3.70 **энергия излучения Q, Дж** (radiant energy): Интеграл по времени от потока излучения Φ за данную длительность Δt:

$$Q = \int_{\Delta t} \Phi dt$$

[IEV 60050 — 845-01-27]

3.71 **энергетическая экспозиция H, Дж·м$^{-2}$** (radiant exposure): В точке на поверхности энергия излучения, падающего на часть поверхности, деленная на площадь части этой поверхности.

$$H = \frac{dQ}{dA} = \int E dt$$

[IEV 60050 — 845-01-42]

3.72 **мощность излучения, поток излучения Ф, *P*, Вт** (radiant power radiant flux): Мощность эмиссии, испускаемая, передаваемая или принимаемая в виде излучения.

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

[IEV 60050 — 845-01-24]

3.73 **коэффициент отражения** ρ (reflectance): Отношение мощности отраженного излучения к мощности падающего излучения при заданных условиях.

[IEV 60050- 845-04-58, модифицировано]

3.74 **соединитель дистанционной блокировки** (remote interlock connector): Соединитель, который позволяет подсоединять внешние органы управления, расположенные вдали от других узлов лазерной аппаратуры (см. 4.4).

3.75 **защитная блокировка** (safety interlock): Автоматическое устройство, связанное с защитным кожухом лазерной аппаратуры и служащее для предотвращения доступа человека к лазерному излучению лазерной аппаратуры классов 3R, 3B или 4, если часть кожуха демонтирована, открыта или удалена (см. 4.3).

3.76 **сканирующее лазерное излучение** (scanning laser radiation): Лазерное излучение, имеющее изменяющиеся во времени направление, начальную точку и картину распределения, относительно неподвижной системы координат.

3.77 **сервисное обслуживание** (service): Выполнение описанных в инструкциях изготовителя по сервисному обслуживанию процедур или регулировок, которые могут влиять на какой-либо аспект работы аппаратуры.

В это понятие не включается функционирование или техническое обслуживание.

3.78 **панель сервисного обслуживания** (service panel): Панель доступа к лазерному излучению, которая снимается или сдвигается при сервисном обслуживании.

3.79 **условие единичной неисправности** (single fault condition): Любая единичная неисправность, которая может повлиять на аппаратуру, и прямое последствие этой неисправности.

3.80 **малый источник** (small source): Источник с угловым размером α не более минимального углового размера α_{min}.

3.81 **зеркальное отражение** (specular reflection): Отражение от поверхности, которое можно считать пучком (см. пункт 3.11), включая отражения от зеркальной поверхности.

Примечание — Данное определение имеет в виду признание наличия отражающей поверхности, такой как параболический рефлектор, уменьшающий опасность падающего излучения или, по крайней мере, оставляющий ее без изменения.

3.82 **предел тепловой опасности** (thermal hazard limit): МДЭ или ПДЭ, которые были установлены для защиты персонала против тепловых эффектов как противопоставление фотохимического повреждения.

3.83 **временна́я база** (time base): Длительность эмиссии, которую используют для классификации лазерной аппаратуры [см. 8.3, перечисление e)].

3.84 **инструмент** (tool): Отвертка, монета или другой предмет, который можно использовать при работе с винтами или другими подобными средствами крепления.

3.85 **коэффициент пропускания т** (transmittance): Отношение потока прошедшего излучения к потоку падающего излучения при заданных условиях.

[IEV 60050 — 845-04-59, модифицировано]

3.86 **оптическая плотность (плотность пропускания) *D*** [transmittance (optical) density]: Десятичный логарифм величины, обратной коэффициенту пропускания т.

$$D = -\lg \tau$$

[IEV 60050 — 845-04-66]

3.87 **видимое излучение (свет)** [visible radiation (light)]: Оптическое излучение, которое может непосредственно вызвать зрительное ощущение.

[IEV 60050 — 845-01-03]

Примечание — В настоящем стандарте так обозначается электромагнитное излучение в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм.

3.88 **заготовка** (workpiece): Объект, предназначенный для обработки лазерным излучением.

4 Технические характеристики

4.1 Общие замечания

Для лазерной аппаратуры необходимы заранее предусмотренные меры безопасности, зависящие от класса, к которому они отнесены изготовителем. Требования для этого приведены в 4.2—4.12. Изготовитель, обеспечивающий персональную ответственность за классификацию лазерной аппаратуры и лазерных систем, должен научиться присвоению уровня, чему способствует полное понимание ими схемы классификации.

Модификация

Если осуществляемые изменения ранее классифицированной лазерной аппаратуры влияют на какой-либо аспект работы аппаратуры или на выполняемые ей функции в пределах области применения настоящего стандарта, то лицо или организация, осуществляющие такие изменения, несут ответственность за проведение повторной классификации и изменение маркировки лазерной аппаратуры.

4.2 Защитный кожух

4.2.1 Общие положения

Любая лазерная аппаратура должна иметь защитный кожух, который, будучи установленным в определенном месте, предотвращают доступ человека к лазерному излучению (включая отклоненное лазерное излучение), ПДЭ для класса 1, за исключением, когда доступ человека является необходимым для выполнения функционирования аппаратуры.

Когда классификация лазерной аппаратуры базируется на предотвращении доступа человека к уровню энергии, эквивалентной классу 4 (например, для процесса лазерной механики), защитный кожух должен противостоять обоснованно прогнозируемым условиям единичной неисправности (см. 9.1) без вмешательства человека. Если размеры защитного кожуха позволяют войти человеку, то применяют требования 4.12.

При техническом обслуживании лазерной аппаратуры классов 1, 1М, 2, 2М или 3R не должно быть возможности доступа человека к уровням лазерного излучения класса 3В или класса 4. При техническом обслуживании лазерной аппаратуры класса 3В не должно быть возможности доступа человека к уровням лазерного излучения класса 4.

4.2.2 Сервисное обслуживание

Закрепление любых частей корпуса или кожуха лазерной аппаратуры (включая встроенную лазерную аппаратуру), которые при сервисном обслуживании могут сниматься, открывая доступ к лазерному излучению, превышающему ПДЭ, и которые не имеют блокировки (см. 4.3), таким образом, чтобы для их снятия или смещения требовалось применение инструмента или инструментов.

4.2.3 Съемная лазерная система

Если лазерная система может быть вынута из защитного кожуха или ограждения и работать без модификации, то лазерная система должна удовлетворять требованиям изготовителя согласно разделов 4 и 5, в соответствии с ее классом.

4.3 Панели доступа и защитные блокировки

4.3.1 Панели доступа защитных кожухов должны быть оборудованы защитной блокировкой при следующих условиях:

a) панель доступа снимается или сдвигается в процессе технического обслуживания или функционирования и

b) при перемещении панели открывается доступ к уровням лазерного излучения, обозначенного «x» в нижеприведенной таблице 1.

В таблице 1 знаком «x» указывается необходимость защитной блокировки.

Таблица 1 — Требования к защитной блокировке

Класс аппаратуры	Доступная эмиссия в течение или после перемещения панели доступа				
	1, 1М	2, 2М	3R	3В	4
1, 1М	—	—	X	X	X
2, 2М	—	—	X	X	X
3R	—	—	—	X	X
3В	—	—	—	X	X
4	—	—	—	X	X

При перемещении панели должна быть исключена возможность проникания в открытое пространство излучения превышающего ПДЭ для класса 1М или класса 2М при соответствующих длинах волн.

В тех случаях, когда требуется защитная блокировка, она должна препятствовать доступу к уровню доступной эмиссии, превышающей принимаемому ПДЭ в таблице 1 в случае снятия панели. Неумышленный перезапуск блокировки не должен привести к распространению эмиссии, превышающей ПДЭ в таблице 1. Эти блокировки должны быть согласованы с требованиями, применяемыми в стандарте МЭК по безопасности аппаратуры (см. класс 1).

Примечание — Требования 9.1 также применяют к блокировкам, т.е. блокировки должны быть безопасными или легкосъемными, но не избыточными.

4.3.2 Если предусмотрен механизм намеренного отключения блокировки, изготовитель должен обеспечить наличие инструкций по безопасным методам работы. Когда снятая панель возвращена в свое нормальное положение, для восстановления функционирования ранее отключенная блокировка должна быть вновь включена. Блокировка должна иметь маркировку в соответствии с требованиями 5.9.2. Намеренное отключение блокировки должно сопровождаться четким визуальным или звуковым сигналом тревоги, если лазер включен или батареи конденсаторов не полностью разряжены, если панель снята или сдвинута. Визуальные сигналы тревоги должны быть хорошо видны через защитные очки, специально рассчитанные на длину(ы) волны доступного лазерного излучения.

4.4 Соединитель дистанционной блокировки

Любая лазерная система классов 3В и 4 должна иметь соединитель дистанционной блокировки. Когда контакты соединителя разомкнуты, доступное излучение не должно превышать ПДЭ для класса 1М или класса 2М.

4.5 Ручной перезапуск

Любая лазерная система класса 4 должна быть снабжена устройством ручного перезапуска, позволяющим возобновлять эмиссию излучения класса 4 после ее прерывания, вызванного использованием соединителя дистанционной блокировки или отключением источника сетевого электропитания на период времени более 5 с.

Примечание — Изготовители могут встраивать второй соединитель блокировки, когда не требуется быстрого включения начала эмиссии, но необязательно в аппаратуре применять два соединителя.

4.6 Управление ключом

Любая лазерная система классов 3А, 3В и 4 должна иметь встроенное устройство центрального управления (пульт), приводимое в действие с помощью ключа. Ключ должен быть извлекаемым, и когда он извлечен лазерное излучение не должно быть доступно.

Примечание — В настоящем стандарте термин «ключ» означает любые другие устройства контроля, такие как магнитные карты, комбинации шифра, компьютерные пароли и т. п.

4.7 Предупреждение эмиссии лазерного излучения

4.7.1 Любая лазерная система класса 3R, работающая в диапазоне длин волн ниже 400 нм и выше 700 нм и любая лазерная система классов 3B и 4 должны удовлетворять всем нижеприведенным требованиям.

4.7.2 В тех случаях, когда лазерная система включена или когда происходит заряд конденсаторных батарей импульсного лазера или если эти батареи разряжены не полностью, предупреждающее устройство должно подавать визуальный или звуковой сигнал. Предупреждающее устройство должно быть надежным или дублироваться. Визуальный предупредительный сигнал должен быть хорошо виден через защитные очки, рассчитанные на длину(ы) волны лазерного излучения. Приборы визуальной сигнализации должны быть расположены так, чтобы наблюдение за ними не было сопряжено с опасностью облучения лазерным излучением выше ПДЭ для классов 1M и 2M.

4.7.3 Каждый операционный орган управления и лазерная апертура, которые могут находиться на расстоянии не менее 2 м от устройства предупреждения об излучении, должны быть снабжены своими собственными устройствами предупреждения об излучении. Устройство предупреждения должно быть четко видимым или слышимым для лиц находящихся вблизи операционного органа управления или лазерной апертуры.

4.7.4 В месте, где лазерное излучение может распространяться шире, чем выходная апертура, визуальное предупредительное устройство должно ясно указывать выходную апертуру или апертуры, из которых может распространяться лазерное излучение в соответствии с 4.7.1.

4.8 Блокиратор пучка или аттенюатор

Любая лазерная система классов 3B и 4 должна быть оборудована одним или более постоянно подсоединенных средств (такие как блокиратор пучка, аттенюатор, выключатель). Блокиратор пучка или аттенюатор должен предотвращать, если необходимо, доступ человека к лазерному излучению, превышающему ПДЭ для класса 1M или класса 2M.

4.9 Органы управления

Любой лазерный аппарат должен иметь органы управления, расположенные так, чтобы при настройке и функционировании аппарата не приводило к экспозиции лазерным излучением для классов 3R, 3B или 4.

4.10 Оптические системы наблюдения

Любые оптические системы наблюдения, смотровое окно или экран дисплея, включенные в состав лазерной аппаратуры, должны обеспечивать достаточное ослабление лазерного излучения, чтобы препятствовать доступу человека к лазерному излучению выше ПДЭ для класса 1M. В любом прерывателе или переменном аттенюаторе, встроенном в оптические системы наблюдения, смотровое окно или экран дисплея, должны предусматривать средства:

a) для предотвращения доступа человека к лазерному излучению выше ПДЭ для класса 1M, когда прерыватель открыт или изменяется ослабление;

b) для предотвращения открывания прерывателя или изменения ослабления аттенюатора, когда возможно облучение лазерным излучением выше ПДЭ для класса 1M.

4.11 Предосторожность при сканировании

В лазерной аппаратуре, предназначенной для испускания сканирующего излучения и классифицированной на этой основе, при отказе сканирующего устройства или при изменении скорости или амплитуды сканирования обеспечивается невозможность доступа человека к лазерному излучению, превышающему ПДЭ для определенного класса, если экспозиция людей в течение временно́го интервала между обоснованно прогнозируемой эмиссией и сканированием не уменьшается ниже уровня ПДЭ для данного класса аппаратуры (см. также 9.1).

4.12 Отдельный доступ

Если защитный кожух оборудован панелью доступа к лазерному излучению, которая обеспечивает отдельный доступ, то:

a) устройство должно обеспечивать, чтобы любой человек, находящийся за кожухом, мог предотвратить риск включения лазеров класса 3B или 4;

b) устройство предупредительной сигнализации располагают так, чтобы обеспечить оповещение любого человека, который может находиться возле кожуха, об излучении лазеров класса 3R в диапазоне длин волн ниже 400 нм и выше 700 нм или лазеров класса 3B или 4 для любого человека, который может быть внутри кожуха;

c) когда предусмотрен или обоснованно прогнозируем доступ человека внутрь кожуха аппаратуры классов 1, 2 или 3R, должна быть предусмотрена защита техническими средствами от эмиссии лазерного излучения, эквивалентного классу 3B или классу 4.

Примечание — Методы предотвращения доступа человека, когда персонал находится внутри кожуха, могут включать чувствительные к давлению напольные маты, инфракрасные детекторы и т. д.

4.13 Условия окружающей среды

Лазерная аппаратура должна соответствовать требованиям безопасности, определяемым настоящим стандартом, всем ожидаемым условиям работы в соответствии с предполагаемым использованием лазера. Необходимо учитывать следующие факторы:

- климатические условия (например, температуру, относительную влажность);
- вибрацию и удар.

Если лазерная аппаратура не была оснащена в соответствии со стандартами по безопасности, руководствуются соответствующим пунктом IEC 61010-1.

Примечание — Требования, связанные с чувствительностью к электромагнитным факторам, в настоящее время рассматриваются.

4.14 Защита против других вредных факторов

4.14.1 Неоптические опасности

Требования по соответствию лазерной аппаратуры стандартам безопасности должны выполняться в течение всего периода функционирования и возможные единичные неисправности определяются следующим:

- электрическими внешними факторами;
- значительными изменениями температуры;
- распространением пожара от оборудования;
- звуком и ультразвуком;
- вредными веществами;
- взрывом.

Если лазерная аппаратура не была оснащена в соответствии со стандартами по безопасности, руководствуются соответствующим пунктом IEC 61010-1.

Примечание — Во многих странах действуют правила по контролю за вредными веществами. По этим вопросам следует обращаться в соответствующие национальные агентства.

4.14.2 Сопутствующее излучение

Защитный кожух лазерной аппаратуры должен защищать от опасных факторов сопутствующего излучения (например, ультрафиолетового, видимого, инфракрасного). Однако, если возможно предположить, что доступное сопутствующее излучение может быть опасным, то для оценки этой опасности с запасом, может быть использовано значение ПДИ для лазера.

5 Маркировка

5.1 Общие положения

Любая лазерная аппаратура должна иметь маркировку(и) в соответствии с требованиями данного раздела. Маркировки должны быть надежно закреплены, удобочитаемы и хорошо видимы во время функционирования, технического или сервисного обслуживания в соответствии с их назначением. Они должны

быть расположены так, чтобы их можно было прочитать, не подвергая персонал облучению лазерным излучением выше ПДЭ для класса 1. Рамки текста и обозначения должны быть черными на желтом фоне за исключением класса 1, где комбинацию этих цветов не используют.

Тексты маркировок, приведенные в этом разделе, носят рекомендательный, а не обязательный характер. Они могут быть заменены на текст аналогичного содержания.

Если размеры или конструкция аппаратуры не позволяют нанести на нее маркировку, то она должна быть включена в информацию для потребителя или нанесена на упаковку.

Примечание — Допускается непосредственная печать или гравировка маркировки на лазерной аппаратуре или панелях.



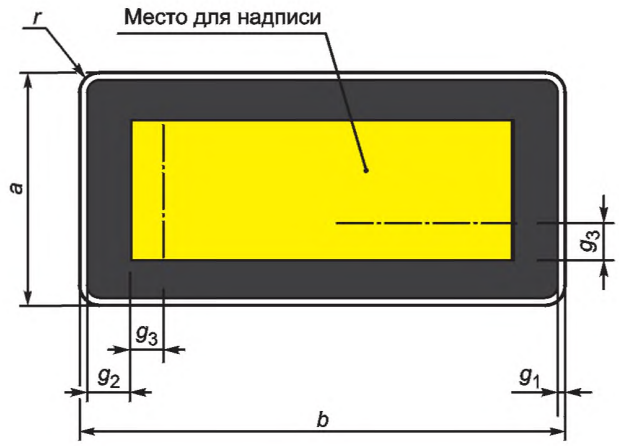
В миллиметрах

a	g_1	g_2	r	D_1	D_2	D_3	d
25	0,5	1,5	1,25	10,5	7	3,5	0,5
50	1	3	2,5	21	14	7	1
100	2	6	5	42	28	14	2
150	3	9	7,5	63	42	21	3
200	4	12	10	84	56	28	4
400	8	24	20	168	112	56	8
600	12	36	30	252	168	84	12
Значения размеров D_1, D_2, D_3, g_1 и d рекомендуются.							

Примечание 1 — Соотношение между наибольшим расстоянием L, с которого маркировку еще можно различить, и минимальной площадью маркировки A вычисляют по формуле: $A = L^2/2000$ (A и L выражены в квадратных метрах и метрах соответственно). Эту формулу применяют для L менее 50 м.

Примечание 2 —Значения размеров — рекомендуемые. До тех пор, пока они пропорциональны, символ и кайма могут иметь любой размер, который удовлетворяет размеру лазерной аппаратуры.

Рисунок 1 — Предупреждающая маркировка. Знак опасности



В миллиметрах

$a \times b$	g_1	g_2	g_3	r	Минимальная высота букв
26 × 52	1	4	4	2	Буквы должны иметь достаточный размер, чтобы быть читаемыми
52 × 105	1,6	5	5	3,2	
84 × 148	2	6	7,5	4	
100	2,5	8	12,5	5	
140 × 200	2,5	10	10	5	
140	2,5	10	12,5	5	
140 × 400	3	10	20	6	
200	3	12	12,5	6	
200 × 400	3	12	20	6	
250 × 400	4	15	25	8	
Размер g_1 рекомендуемый.					

Примечание 1 — Соотношение между наибольшим расстоянием L, с которого маркировку еще можно различить, и минимальной площадью маркировки A вычисляют по формуле: $A = L^2/2000$ (A и L выражены в квадратных метрах и метрах соответственно). Эту формулу применяют для L менее 50 м.

Примечание 2 — Значения размеров — рекомендуемые. Маркировка может быть любого размера, необходимого для размещения требуемого текста и окантовок. Минимальный размер каждой окантовки по ширине g_2 и g_3 должен составлять 0,06 длины короткой стороны маркировки.

Рисунок 2 — Поясняющая маркировка

5.2 Классы 1 и 1М

Кроме случаев, указанных в классе 1, каждая лазерная аппаратура класса 1 должна иметь прикрепленную поясняющую маркировку (см. рисунок 2) со следующим текстом:

ЛАЗЕРНАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 1

Любая лазерная аппаратура класса 1М должна иметь прикрепленную поясняющую маркировку (см. рисунок 2) со следующим текстом:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
НЕ СМОТРИТЕ В ПУЧОК И НЕ ПРОВОДИТЕ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ
НАБЛЮДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ
ЛАЗЕРНАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 1М

Вместо вышеприведенных маркировок по решению изготовителя такие же формулировки могут быть внесены в информацию для пользователя.

Тип оптического прибора, который может привести к повышению степени опасности, может быть дополнительно приведен в скобках после слова «приборы» в маркировке для аппаратуры класса 1М. В частности для лазерной аппаратуры с коллимированным пучком большого диаметра, которая классифицируется как аппаратура класса 1М, может быть добавлен следующий текст: «(БИНОКЛИ ИЛИ ТЕЛЕСКОПЫ)», т. к. она не соответствует условию 1 (см. раздел 9) , или «(УВЕЛИЧИТЕЛЬНОЕ СТЕКЛО)» для лазерной аппаратуры, которая классифицируется как аппаратура класса 1М, т. к. она не соответствует условию 2 (см. раздел 9) (сильно расходящийся пучок).

В качестве альтернативы вторая строка маркировки для класса 1М, может быть: «НЕ ПРОВОДИТЬ ЭКСПОЗИЦИЮ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ЧЕРЕЗ БИНОКЛИ И ТЕЛЕСКОПЫ».

Если доступная эмиссия превышает ПДЭ класса 3В, определенного с апертурой диаметром 3,5 мм, размещенной в закрытой точке доступа человека, то должно быть дополнительное предупреждение в маркировке аппаратуры и информации для пользователя:

ЭКСПОЗИЦИЯ КОЖИ ВБЛИЗИ АПЕРТУРЫ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ
К ОЖОГАМ

Примечание — Применяется в условии 2 при использовании определения ПДЭ.

5.3 Классы 2 и 2М

Любая лазерная аппаратура класса 2 должна иметь прикрепленную предупреждающую маркировку (см. рисунок 1) и поясняющую маркировку (см. рисунок 2) со следующим текстом:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
НЕ СМОТРИТЕ В ПУЧОК
ЛАЗЕРАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 2

Любая лазерная аппаратура класса 2М должна иметь прикрепленную предупреждающую маркировку (см. рисунок 1) и поясняющую маркировку (см. рисунок 2) со следующим текстом:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
НЕ СМОТРИТЕ В ПУЧОК ИЛИ НЕ НАБЛЮДАЙТЕ С ПОМОЩЬЮ
ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ
ЛАЗЕРАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 2М

Для оптических приборов, которые могут повысить опасность, требуется дополнительное пояснение после слова «приборов». Дополнительными предупреждениями могут быть «(БИНОКЛИ ИЛИ ТЕЛЕСКОПЫ)» для лазерной аппаратуры с коллимированным пучком большого диаметра, классифицированной 2М, что меньше условия 1 (см. раздел 9), или «(УВЕЛИЧИТЕЛЬНОЕ СТЕКЛО)» для лазерной аппаратуры класса 2М, если воздействие меньше условия 2 (см. раздел 9) (сильно расходящийся пучок).

В качестве альтернативы вторая строка маркировки для аппаратуры класса 2М, может содержать следующий текст: «НЕ ПРОВОДИТЬ ЭКСПОЗИЦИЮ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ЧЕРЕЗ БИНОКЛИ И ТЕЛЕСКОПЫ».

Если доступная эмиссия превышает ПДЭ класса 3В, определенного с апертурой диаметром 3,5 мм, размещенной в закрытой точке доступа человека, то должно быть дополнительное предупреждение в маркировке аппаратуры и информации для пользователя:

ЭКСПОЗИЦИЯ КОЖИ ВБЛИЗИ АПЕРТУРЫ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ
К ОЖОГАМ

Примечание — Применяется в условии 2 при использовании определения ПДЭ.

5.4 Класс 3R

На любой лазерной аппаратуре класса 3R должна быть прикреплена предупреждающая маркировка (см. рисунок 1) и поясняющая маркировка (см. рисунок 2) со следующим текстом:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
ИЗБЕГАЙТЕ ПРЯМОЙ ЭКСПОЗИЦИИ ГЛАЗ
ЛАЗЕРАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 3R

Примечание — Во второй строке маркировки также допускается использовать следующий текст: «ИЗБЕГАЙТЕ ЭКСПОЗИЦИИ ПУЧКОМ».

5.5 Класс 3В

На любой лазерной аппаратуре класса 3В должна быть прикреплена предупреждающая маркировка (см. рисунок 1) и поясняющая маркировка (см. рисунок 2) со следующим текстом:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
ИЗБЕГАЙТЕ ЭКСПОЗИЦИИ ПУЧКОМ
ЛАЗЕРАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 3В

5.6 Класс 4

На любой лазерной аппаратуре класса 4 должна быть прикреплена предупреждающая маркировка (см. рисунок 1) и поясняющая маркировка (см. рисунок 2) со следующим текстом:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
ИЗБЕГАЙТЕ ОБЛУЧЕНИЯ ГЛАЗ ИЛИ КОЖИ ПРЯМЫМ ИЛИ РАССЕЯННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ
ЛАЗЕРАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 4

5.7 Маркировка апертуры

Любая лазерная аппаратура классов 3R, 3В и 4 должна иметь прикрепленную маркировку вблизи каждой апертуры, через которую испускается лазерное излучение выше ПДЭ для класса 1 или класса 2. Маркировка(и) должна(ы) содержать следующий текст:

ЛАЗЕРНАЯ АПЕРТУРА или
АПЕРТУРА ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, или
ИЗБЕГАЙТЕ ЭКСПОЗИЦИИ — ИЗ ЭТОЙ АПЕРТУРЫ ИСПУСКАЕТСЯ
ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

5.8 Выходное излучение и стандартная информация

Наименование и дата публикации стандарта, на который классифицируется аппаратура, должны включать поясняющую надпись, или он должен находиться вблизи аппаратуры где-нибудь в другом месте. Любая лазерная аппаратура, за исключением класса 1, должна иметь поясняющую маркировку (см. рисунок 2), содержащую информацию о максимальной интенсивности лазерного излучения (см. пункт 3.55), длительности импульса (при необходимости) и испускаемых длинах волн. Для класса 1 и класса 1М, вместо маркировки на аппаратуре, соответствующие сведения допускается включать в информации для пользователя.

5.9 Маркировка панелей доступа

5.9.1 Маркировка панелей

Каждый соединитель, каждая панель защитного кожуха и каждая панель доступа защитного ограждения, при снятии или смещении которых возможен доступ человека к лазерному излучению, превышающему ПДЭ для класса 1, должны иметь прикрепленную маркировку с надписью (в случае встроенного лазера класса 1М, вместо маркировки, соответствующие сведения допускается включать в информации для пользователя):

a) ВНИМАНИЕ — ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 1М
ПРИ ОТКРЫВАНИИ НЕ ПРОВОДИТЕ ПРЯМЫХ НАБЛЮДЕНИЙ
С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

если доступное излучение не превышает ПДЭ для класса 1М, где уровень излучения измеряют согласно 9.2, перечисление g) и 9.3;

b) ВНИМАНИЕ — ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 2
ПРИ ОТКРЫВАНИИ НЕ СМОТРИТЕ В ПУЧОК

если доступное излучение не превышает ПДЭ для класса 2, где уровень излучения измеряют согласно 9.2, перечисление h) и 9.3;

c) ВНИМАНИЕ — ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 2М
ПРИ ОТКРЫВАНИИ НЕ СМОТРИТЕ В ПУЧОК ИЛИ НЕ НАБЛЮДАЙТЕ
С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

если доступное излучение не превышает ПДЭ для класса 1М, где уровень излучения измеряют согласно 9.2, перечисление h) и 9.3;

d) ВНИМАНИЕ — ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 3R
ПРИ ОТКРЫВАНИИ ИЗБЕГАЙТЕ ПРЯМОЙ ЭКСПОЗИЦИИ ГЛАЗ

если доступное излучение не превышает ПДЭ для класса 3R

Примечание — Во второй строке маркировки также допускается текст: «ИЗБЕГАЙТЕ ЭКСПОЗИЦИИ ПУЧКОМ»;

e) ВНИМАНИЕ — ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 3B
ПРИ ОТКРЫВАНИИ ИЗБЕГАЙТЕ ЭКСПОЗИЦИИ ПУЧКОМ

если доступное излучение не превышает ПДЭ для класса 3B;

f) ВНИМАНИЕ — ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 4,
ПРИ ОТКРЫВАНИИ ИЗБЕГАЙТЕ ЭКСПОЗИЦИИ ГЛАЗ ИЛИ КОЖИ
ПРЯМЫМ ИЛИ РАССЕЯННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

если доступное излучение не превышает пределов для класса 3B.

Эта информация может содержаться на более чем одной маркировке аппаратуры.

5.9.2 Маркировки панелей защитных блокировок

Любая защитная блокировка, которая может быть легко отключена и при этом открывается доступ человека к лазерному излучению, превышающему ПДЭ для класса 1, должна иметь соответствующую маркировку. Такие маркировки должны быть хорошо заметны как до, так и во время намеренного отключения блокировки и располагаться вблизи отверстия, открывающегося при снятии защитного кожуха. Эти маркировки должны содержать текст в соответствии с требованиями 5.9.1, перечисления a) — f) и быть дополнены размещенным ниже предупреждением с текстом следующего содержания:

И ПРИ ОТКЛЮЧЕННЫХ БЛОКИРОВКАХ.

5.10 Предупреждение о невидимом лазерном излучении

Во многих случаях формулировки для маркировки, приведенные в настоящем разделе, включают текст «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ». Если выходное излучение лазера находится вне диапазона длин волн от 400 до 700 нм, то эта надпись должна быть изменена на «НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ», а если в выходном излучении есть длины волн как в указанном диапазоне, так и вне его, то необходима надпись «ВИДИМОЕ И НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ».

Если аппаратура классифицируется на основе уровня видимого лазерного излучения и превышает ПДЭ класса 1 невидимых длин волн, маркировка вместо слов «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ» должна содержать текст «ВИДИМОЕ И НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ».

5.11 Предупреждение о видимом лазерном излучении

Текст «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ» в маркировках настоящего раздела можно заменить на текст «ЛАЗЕРНЫЙ СВЕТ», если интенсивность лазерного излучения аппаратуры лежит в диапазоне волн от 400 до 700 нм.

6 Другие информационные требования

6.1 Информация для пользователей

Изготовители лазерной аппаратуры должны предоставлять (или предусматривать поставку) инструкции для потребителя или руководства по эксплуатации, которые содержат все информационные аспекты безопасности. Сохранение ответственности за обеспечение информации по безопасности указано ниже, но также важно обеспечить аппаратуру дополнительной информацией по безопасности.

Примечание — Важность или несущественность информации зависит от специфики аппаратуры, которая включена в приложении и может даже быть предметом национального законодательства.

Должна быть обеспечена следующая информация:

a) адекватные инструкции по правильной сборке, техническому обслуживанию и безопасному применению, включая четкие предупреждения о мерах предосторожности для избегания возможного облучения опасным лазерным излучением, и описание предельной классификации, если необходимо (см. приложение A по описанию классов и возможности ограничения);

b) дополнительные предупреждения для лазеров классов 1М и 2М. Для расходящихся пучков это предупреждение должно содержать формулировку о том, что наблюдение выхода лазера с соответствующими оптическими приборами (например, лупами для глаз, увеличительными стеклами и микроскопами) в пределах расстояния 100 мм может представлять опасность для глаз. Для коллимированных пучков это предупреждение должно содержать формулировку, что наблюдение выхода лазера с соответствующими оптическими приборами, сконструированными для использования на расстоянии (например, для телескопов или биноклей), может представлять опасность для глаз;

c) описание любого вредного излучения от защитных кожухов во время функционирования лазера и проведения технического обслуживания для уровней лазерного излучения свыше ПДЭ класса 1. Где это применяется, они должны быть включены в соответствующих единицах:

- длина волны;
- расходимость пучка;
- длительность импульса и относительная интенсивность (или описание нерегулярности вредных импульсов);
- максимальная мощность или выходная энергия.

Где необходимо, включают значения накопленных неопределенностей измерений и ожидаемые возрастания измеренных значений в любой момент времени после изготовления. Длительность результирующих импульсов, связанных с неожиданно возникшей синхронизацией мод, определять нет необходимости, однако, необходимо указывать условия, при которых синхронизация мод может возникнуть. Для ультракоротких импульсов должны быть указаны границы излучения (диапазон эмиссии по длинам волн);

d) подобная информация должна содержаться в описании лазера [см. перечисление c)] для встроенной лазерной аппаратуры и другой присоединенной лазерной аппаратуры. Информация должна также содержать соответствующие инструкции по безопасности для потребителей, чтобы избежать неумышленного облучения опасным лазерным излучением. Это особенно важно для встроенной лазерной аппаратуры, классифицированной как класс 1, класс 1М, класс 2 или класс 2М, в которой при проведении технического обслуживания возможно наблюдение в пучке доступного уровня эмиссии, превышающего ПДЭ для этих классов. В этом случае изготовитель должен обеспечить информацию с предупреждения о том, что наблюдение в пучке должно быть предотвращено;

e) применяются МДЭ и НОГР для лазерной аппаратуры классов 3 и 4, где необходимо и оправдано. Так как НОГР сильно зависит от системы прохождения пучка и оптических элементов, расположенных в пучке, когда это необходимо, рекомендуются разные значения НОГР для различных компонент пучка. Если расходимость пучка изменяется, то НОГР может быть приведен для некоторых выбранных значений расходимости. Если значения МДЭ и НОГР установлены, то следует также установить предполагаемую длительность экспозиции для определения этих значений. Для лазеров классов 1М и 2М с коллимированным пучком должна быть установлена расширенная НОГР (РНОГР), где необходимо и оправдано.

Примечание — Специальная информация по НОГР, как правило, не требуется для коллимированных пучков, которые проходят внутри. В этом случае обычно достаточно указать изменение диапазона, где МДЭ увеличивается;

f) информацию для выбора защиты глаз, где необходимо. Должны быть включены требования по оптической плотности как для уровня энергетической освещенности, так и экспозиции излучения, которые уменьшаются защитными элементами на поверхности глаза, и таким образом могут быть определены защитные уровни.

Примечание — Некоторые страны имеют регламентированные и стандартные приспособления. Для этих требований необходим контакт изготовителя и соответствующего агентства;

g) четкие копии (необязательно цветные) всех требуемых маркировок и предупреждений об опасности, прикрепляемых к лазерной аппаратуре или поставляемых вместе с ней. Для каждой маркировки должно быть указано место ее прикрепления к аппаратуре или, если в поставляемой вместе с изделием инструкции указано, что маркировки не могут быть прикреплены к аппаратуре, но входили в комплект поставки аппаратуры, то в инструкции должны быть указаны порядок и способ поставки маркировок;

h) четкие указания в руководстве о всех положениях лазерных апертур, через которые проходит лазерное излучение, превышающее ПДЭ класса 1;

i) перечень элементов управления, настройки и процедур, проводимых при функционировании и техническом обслуживании, в том числе предупреждение: «Внимание — Использование элементов управления и настроек или процедур отличных от указанных может привести к опасной экспозиции излучения» (как альтернатива — эквивалентные соответствующие предупреждения);

j) совмещение требования к источнику лазерной энергии с гарантией безопасности, если лазерная аппаратура не соединяется с источником лазерной энергии, необходимым для лазерной эмиссии.

6.2 Информация, необходимая при поставке и обслуживании

Изготовители лазерной аппаратуры должны принимать меры, чтобы обеспечить следующее:

a) во всех каталогах, справочных листах и брошюрах с описаниями, относящимися к любой лазерной аппаратуре, давать классификацию лазерной аппаратуры и любые предупреждения, включая установленные в 6.1, перечисление b), если это необходимо;

b) предоставлять специалистам по обслуживанию, поставщикам и другим лицам по их запросу инструкции по регулировкам и процедурам проводимым при сервисном обслуживании для каждой модели лазерной аппаратуры, которые включают в себя:

- четкие предупреждения и меры предосторожности, позволяющие избежать возможную экспозицию лазерного излучения свыше 1-го класса и другие опасности;
- перечень мероприятий по техническому обслуживанию, необходимых для поддержания аппаратуры в рабочем состоянии;
- перечень элементов управления и настроек, которые могли бы быть использованы другими лицами, кроме изготовителей и поставщиков для увеличения доступных уровней эмиссии;
- четкое описание расположения смещаемых частей защитного кожуха, которые могут открыть доступ к лазерному излучению выше допустимых пределов, указанных в таблицах 4 — 9;
- процедуры защиты обслуживающего персонала и
- разборчивые копии (необязательно цветные) требуемых маркировок и предупреждений об опасности.

7 Дополнительные требования для специфической лазерной аппаратуры

7.1 Другие части стандарта серии IEC 60825

Для специальных применений могут быть использованы нижеперечисленные части серии IEC 60825 (см. также библиографию).

- IEC 60825-2, «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 2. Безопасность волоконно-оптических систем связи» (приведенные в приложении замечания и примеры);
- IEC 60825-4, «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 4. Устройства защиты от лазерного воздействия» (приведенные составы и конструкции лазерной защиты и материалов, особенно где используется большая мощность);
- IEC 60825-12, «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 12. Безопасность систем оптической связи в свободном пространстве, используемых для передачи информации».

В дальнейшем информацию можно найти в:

- IEC/TR 60825-3, «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 3. Руководящие указания по применению лазеров для зрелищных мероприятий»;
- IEC /TR 60825-5, «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 5. Контрольный перечень к IEC 60825-1 для изготовителей» (ситуации, используемые в докладе по безопасности);
- IEC/TR 60825-8, «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 3. Руководящие указания по применению лазеров для зрелищных мероприятий»;
- IEC/TR 60825-9, «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 9. Компиляция максимально допустимой экспозиции некогерентного оптического излучения» (широкополосные источники);
- IEC/TR 60825-10, «Безопасность лазерных устройств. Часть 10. Руководство по применению и пояснительные замечания к IEC 60825-1»;
- IEC/TR 60825-13, «Безопасность лазерных устройств. Часть 13. Измерения, проводимые для классификации лазерных устройств»;
- IEC/TR 60825-14, «Безопасность лазерных устройств. Часть 14. Руководство для пользователя»;
- IEC 62427 (CIE S009), «Железные дороги. Совместимость подвижного состава с системами определения поезда».

7.2 Медицинская лазерная аппаратура

Любая медицинская лазерная аппаратура должна соответствовать всем требованиям, предъявляемым к лазерной аппаратуре соответствующего класса. Дополнительно любая медицинская лазерная аппаратура класса 3В или 4 должна удовлетворять требованиям IEC 60601-2-22.

7.3 Лазерные обрабатывающие устройства

Лазерные обрабатывающие устройства следует комплектовать применительно требованиям их класса. Дополнительно лазерные обрабатывающие устройства могут соответствовать ISO/ IEC 11553-1.

7.4 Электрические игрушки

Электрические игрушки следует комплектовать применительно требованиям их класса. Дополнительно электрические игрушки должны соответствовать IEC 62115.

7.5 Потребительская электронная аппаратура

Потребительскую электронную аппаратуру, как и лазерную аппаратуру, следует комплектовать применительно требованиям своего класса. В дополнение эта продукция может соответствовать одному из следующих стандартов: IEC 60950 (Информационное технологическое оборудование — Безопасность), IEC 60065 (Аудио-, Видео- и аналогичная электронная аппаратура. Требования безопасности).

8 Классификация

8.1 Введение

В связи с широким диапазоном возможностей по длинам волн, энергоемкости и импульсным характеристикам лазерного пучка потенциальные опасности, возникающие при его использовании, в значительной степени различны. Объединить лазеры в одну группу, к которой применимы общие нормы безопасности, невозможно. Приложение С описывает опасности, связанные с классами и возможным лимитированием (таким как, например, вооруженное зрение) в деталях.

8.2 Классификация ответственности

Это ответственность изготовителя или его агента за осуществление корректной классификации лазерной аппаратуры (однако см. 4.1).

Аппаратура должна быть классифицирована на основе комбинации выходной(ых) мощности(тей) и длин волн допустимого лазерного излучения в полном диапазоне его характеристик при функционировании в любое время после изготовления, что приведет к отнесению ее к наивысшему соответствующему классу.

Лазерная аппаратура может быть отнесена к определенному классу только в том случае, когда она отвечает всем требованиями настоящего стандарта для этого класса, например в части технического контроля, маркирования и информации для пользователя.

8.3 Правила классификации

Для правил классификации следует использовать следующее ранжирование по классам (в порядке повышения уровня опасности): класс 1, класс 1М, класс 2, класс 2М, класс 3R, класс 3В, класс 4.

Примечание — Для классификации лазерной аппаратуры класса 1М или 2М используют апертуру по условию 3, которая ограничивает количество излучения в пучке большего диаметра или при широко раскрытых пучках. Например, если измерения проводят при соответствующих условиях, аппаратура классов 1М и 2М может иметь бóльшую измеренную полную энергию или мощность, чем класс 2 или 3R. Для такой лазерной аппаратуры применима классификация 1М и 2М.

ПДЭ для классов 1 и 1М, классов 2 и 2М, классов 3R и 3В указаны в таблицах 4—9. Значения используемых поправочных коэффициентов даны в таблице 10, как функции длины волны, длительности эмиссии, числа импульсов и углового размера.

а) излучение на одной длине волны:

Лазерная аппаратура, излучающая на одной длине волны, относится к определенному классу, если его излучение, измеренное при условиях, соответствующих данному классу, превышает ПДЭ для всех более низких классов, но не превышает ПДЭ для класса, к которому ее отнесли.

b) излучение на многих длинах волн:

1) лазерная аппаратура, излучающая на двух или более длинах волн в спектральных диапазонах, которые показаны как аддитивные в таблице 2, относится к определенному классу (излучение, измеренное при условиях, соответствующих данному классу) ПДЭ на этих длинах волн больше, чем для всех низших классов, но не превышает отнесенного класса;

2) лазерная аппаратура, излучающая на двух или более длинах волн, не показанных в качестве дополнительных в таблице 2, относится к классу, где допустимое лазерное излучение, измеренное при условии данного класса, превышает ПДЭ для всех более низких классов на одной длине волны, но не превышает ПДЭ для выбранного класса на любой длине волны;

Таблица 2 — Аддитивные эффекты воздействия излучения на глаза и кожу в различных спектральных диапазонах

Спектральный диапазон[a]	УФ-С и УФ-В 180 — 315 нм	УФ-А 315 — 400 нм	Видимый и ИК-А 400 — 1400 нм	ИК-В и ИК-С 1400 — 10^6 нм
УФ-С и УФ-В 180 — 315 нм	o s			
УФ-А 315 — 400 нм		o s		o s
Видимый и ИК-А 400 — 1400 нм		s	o[b] s	s
ИК-В и ИК-С 1400 — 10^6 нм		o s	s	o s
o – глаз; s – кожа				

[a] Определение спектрального диапазона см. таблицу D.1.

[b] Если ПДЭ и окулярная МДЭ, рассчитаны временно́й базы или длительности экспозиции не менее 1 с, аддитивные фотохимические эффекты (400—600 нм) и аддитивные тепловые эффекты должны быть ограничены независимо и более всего ограничиваются используемым значением.

c) излучение от протяженных источников:

Опасность для глаз от лазерного источника в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм зависит от углового размера видимого источника α.

Примечания

1 Источник считают протяженным источником, если угловой размер источника больше, чем α_{min} (α_{min} = 1,5 мрад). У большинства лазерных источников угловой размер α меньше, чем α_{min}, и они имеют вид «точечного источника» (малого источника), когда наблюдаются изнутри пучка (внутрипучковое наблюдение). Действительно круглый лазерный пучок не может быть параллельным с расхождением меньше, чем 1,5 мрад, как у протяженного источника. Таким образом, любой лазер, у которого расходимость пучка не более 1,5 мрад не может быть классифицирован как протяженный источник.

2 Для оценки ретинальной тепловой опасности (400—1400 нм) значения ПДЭ для протяженного источника пропорциональны угловому размеру источника. Для оценки ретинальной фотохимической опасности (400 – 600 нм) при экспозиции больше, чем 1 с, значения ПДЭ не пропорциональны угловому размеру источника. В зависимости от длительности эмиссии [см. 9.3.3, перечисление b), 1)] для измерения используют предельный угол приема $\gamma_{ph} \geq 11$ мрад, а отношение предельного угла приема γ_{ph} к угловому размеру α видимого источника оказывает влияние на измеренное значение.

3 Для заданного по умолчанию условия C_6 = 1, упрощенная таблица 4 показывает обеспечение ПДЭ классов 1 и 1М.

Для источников с угловым размером не более α_{min} значения ПДЭ и МДЭ не зависят от углового размера α видимого источника.

Для классификации лазерной аппаратуры при наиболее опасных положениях, когда применяют условие 1 (см. 9.3.3), увеличение в $7^{\times}$ углового размера α видимого источника можно применить для определения C_6, так как $C_6 = 7\alpha / \alpha_{min}$. Выражение 7α ограничивает α_{max} перед вычислением C_6. Увеличение α в $7^{\times}$ следует использовать для определения T_2 таблицы 10.

Примечание — Для случая, когда α < 1,5 мрад, но 7α > 1,5 мрад, ограничение для α > 1,5 мрад применяется таблицами 5 и 8.

d) неоднородная энергетическая освещенность сетчатки, некруговые и многоэлементные источники.

По сравнению с тепловыми ретинальными пределами диапазон длин волн 400—1400 нм и ПДЭ зависят от C_6, здесь энергетическая освещенность изображения на сетчатке неравномерная или изображение на сетчатке состоит из многих точек, тогда измерения и расчеты должны быть сделаны для каждого из следующих условий (сценариев):

- для каждой отдельной точки,
- для различной совокупности точек,
- для парциальных (неполных) площадей.

Это необходимо для того, чтобы была уверенность, что ПДЭ не увеличивается в каждом возможном угле стягивания в каждом сценарии. Для расчета совокупности точек или неполных площадей угол приема должен быть между α_{min} и α_{max}, т. е. $\alpha_{min} < \gamma < \alpha_{max}$, чтобы определить неполную доступную эмиссию, связанную с соответствующим сценарием. Для сравнения этого уровня неполной доступной эмиссии с соответствующим ПДЭ значение угла α устанавливается равным значению угла γ.

Классификация должна базироваться на случае, когда отношение между неполной доступной эмиссией внутри неполной площади выше углового размера этой области α к соответствующей ПДЭ максимальное.

Угловой размер прямоугольного или линейного источника определяют среднеарифметическим значением двух угловых размеров источника. Любой угол, измеренное значение которого больше α_{max} или меньше α_{min}, лимитируется как α_{max} или α_{min} соответственно и таким принимается в расчетах.

Фотохимические пределы (400—600 нм) не зависят от углового размера источника, и источник рассматривается с предельным углом приема, указанным в 9.3.3, перечисление b). Для источников, превышающим предельный угол приема, допустимую эмиссию определяют для неполного видимого источника, который производит максимальную эмиссию;

e) временны́е базы.

Для классификации в настоящем стандарте используют следующие временны́е базы:

1) 0,25 с для лазерного излучения классов 2, 2M и 3R в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм;

2) 100 с для лазерного излучения на длинах волн более 400 нм, за исключением случаев, оговоренных в перечислениях 1) и 3);

3) 30000 с для лазерного излучения на всех длинах волн, не более 400 нм и для лазерного излучения на длинах волн более 400 нм, если конструкция или назначение лазерной аппаратуры допускает длительное наблюдение.

Каждая возможная длительность эмиссии внутри временно́й базы должна быть рассчитана при определении классификации аппаратуры. Это означает, что уровень эмиссии одиночного импульса должен сравниваться с ПДЭ, применяемым к длительности импульса и т. д. Недостаточно только усреднять уровень эмиссии для длительности классификационной временно́й базы или только при выполнении расчетов временно́й базы без учета коротких длительностей эмиссии.

Примечание — Для многоволновой эмиссии лазерная аппаратура, излучающая в видимой и невидимой частях спектра, где эмиссия обозначается как аддитивная (см. таблицу 2) и где видимая часть классифицируется классом 2 или 2M, или 3R, а невидимая часть классифицируется классом 1 или классом 1M, временна́я база ограничена аддитивной эмиссией 0,25 с даже для невидимой части;

f) повторяющиеся импульсы или модулированные лазеры.

Следующие методы должны быть использованы для определения класса лазерной продукции применительно к лазерам с повторяющимися импульсами или к модулированным лазерам.

Для всех длин волн следует применять ограничения перечислений 1) и 2). Дополнительно для длин волн от 400 до 10^6 нм требования перечисления 3) должны также ограничиваться сравнением с тепловыми пределами. Требования перечисления 3) не нуждаются в ограничении при сравнении с фотохимическими пределами.

Класс (см. таблицы 4—9) обусловливается применением ограничений перечислений 1), 2) и, где необходимо, перечисления 3):

1) экспозиция от любого одиночного импульса из серии импульсов не должна превышать ПДЭ для одного импульса,

2) средняя мощность для серии импульсов с длительностью эмиссии T ПДЭ$_T$ не должна превышать мощность, соответствующего ПДЭ для одиночного импульса длительности T.

Примечание — Для сравнения с ПДЭ$_{один}$ или ПДЭ$_{один.\ из\ серии}$, значение ПДЭ$_T$ следует разделить на N, чтобы получить ПДЭ$_{один.\ T}$,

3) а) для постоянной импульсной энергии и длительности импульса:

энергия импульса импульсов не должна превышать ПДЭ одиночного импульса, умноженного на поправочный коэффициент C_5:

$$\text{ПДЭ}_{\text{один. из серии}} = \text{ПДЭ}_{\text{один}}\, C_5,$$

где ПДЭ$_{один.\ из\ серии}$ — ПДЭ одиночного импульса из серии импульсов;

ПДЭ$_{один.}$ — ПДЭ одиночного импульса (см. таблицы 4—9);

N — эффективное число импульсов в серии импульсов в пределах определенной эмиссии [когда импульсы следуют в промежутке времени T_i (см. таблицу 3)], N меньше числа действительных импульсов, (см. ниже). Максимальную длительность эмиссии необходимо ограничивать для длин волн от 400 до 1400 нм значением T_2 (см. таблицу 10) или применяемой временно́й базой, какой угодно короткой. Для длин волн более 1400 нм максимальную длительность считают 10 с.

$$C_5 = N^{-0,25}.$$

C_5 — применяется исключительно к длительности импульсов короче, чем 0,25 с.

Если имеется множество импульсов в пределах периода T_i (см. таблицу 3), то при определении N и энергии их считают одиночным импульсом, которые суммируют, чтобы сравнивать с ПДЭ по T_i. Энергия любой группы импульсов (или подгруппы импульсов в последовательности импульсов), полученная за любое определенное время, не должна превышать ПДЭ за это время;

Таблица 3 — Отрезки времени, в которых группы импульсов суммируются

Длина волны, нм	T_i, с
$400 \le \lambda < 1\,050$	$18 \cdot 10^{-6}$
$1\,050 \le \lambda < 1\,400$	$50 \cdot 10^{-6}$
$1\,400 \le \lambda < 1\,500$	10^{-3}
$1\,500 \le \lambda < 1\,800$	10
$1\,800 \le \lambda < 2\,600$	10^{-3}
$2\,600 \le \lambda \le 10^6$	10^{-7}

b) для импульсов различной длительности и разных интервалов между импульсами необходимо использовать метод полной длительности импульсов (*total-on-time-puls*). ПДЭ определяется полной длительности импульсов, которая представляет собой сумму длительностей всех импульсов в пределах длительности эмиссии или T_2, в зависимости от того, какое из значений меньше. Импульсы с длительностью менее чем T_i принимаются за импульсы с длительностью T_i. Если оказывается два или больше импульсов в длительности T_i, то длительность такой группы импульсов принимается за длительность T_i. Для сравнения с ПДЭ, соответствующей длительности, все отдельные импульсы устройств складываются.

9 Определение предела доступной эмиссии

9.1 Испытания

При испытаниях принимают во внимание все ошибки и статистическую неопределенность измерительного процесса (см. МЭК 61040), и опасность увеличения эмиссии, и деградацию излучения в соответствии с возрастом. Отдельным пользователям могут понадобиться дополнительные испытания.

Испытания во время функционирования используют, для того чтобы осуществить классификацию аппаратуры. Соответствующие испытания во время функционирования, технического или сервисного обслуживания также используют для определения требований к защитным блокировкам, маркировкам и информации для пользователя. Вышеупомянутые испытания проводят при каждом обоснованно прогнозируемом условии единичной неисправности. Однако, если эмиссия уменьшается до уровня ниже ПДЭ автоматическим изменение состояния системы за время, в течение которого доступ человека к лазерному излучению обоснованно не прогнозируется, то такие неисправности не принимают во внимание.

Примечания

1 Автоматическое уменьшение включает физическое ограничение эмиссии в связи с элементными или системными нарушениями. Сюда не включается ручное уменьшение или прекращение эмиссии.

2 Например, безопасное сканирование достаточно надежно предохранить от эмиссии выше ПДЭ при условии неисправности; однако это может быть допустимо для аппаратуры, у которой экспозиция людей маловероятна.

3 Приемлемые способы анализа вероятности и риска касательно неисправностей изложено в FMEA (модель неисправности и эффективный анализ), а также (см., например, IEC 61508). Вероятностный анализ может быть использован как помощь в определении обоснованно прогнозируемых условий единичной неисправности.

4 Классификацию устанавливают во время функционирования, а ограничения на техническое обслуживание зависят от класса аппаратуры.

При оценивании пригодности защитных кожухов для предотвращения доступа человека к уровню энергии, соответствующей классу 4, необходимо рассматривать возникновение единичной неисправности для всех обоснованно прогнозируемых изменений направления пучка. Анализ должен включать рассмотрение возможности возникновения такой единичной неисправности, приведет к выделению энергии, достаточной для снижения защитных свойств кожуха или его разрушения. Например, если во время функционирования или при условиях единичной неисправности вмешательство робототехнических устройств или других управляющих пучком механизмов или при использовании оптических элементов или заготовок приведет к попаданию энергии непосредственно на поверхность защитного кожуха, то должно быть выполнено одно из следующих условий:

- единичная неисправность должна быть исключена инженерным усреднением или
- материал кожуха должен выдерживать без деградации его защитных свойств опасную экспозицию лазерной энергии, или
- неисправность должна быть обнаружена и эмиссия лазерного излучения через защитный кожух должна быть предотвращена, прежде чем произойдет ухудшение его защитных свойств.

Оценка времени работы защитного кожуха менее 30000 с, как требуется в IEC 60825-4, не применяется при классификации аппаратуры.

Примечания

1 Предложение, что классификация должна рассматриваться без вмешательства человека, принято потом, поэтому обследование защитного кожуха пользователем не предусматривается.

2 Оценка защитного кожуха, которая проводится человеком или без его вмешательства, используется для установления уровней безопасности или для обнаружения потенциального ухудшения защитных свойств кожуха, которое может произойти в результате непредвиденной неисправности или совокупности множества неисправностей независимо от классификации аппаратуры.

Допускаются эквивалентные испытания или процедуры.

Оптические усилители классифицируют использованием максимально достижимой полной выходной мощности или энергии, которая может включать максимальный диапазон входной мощности или энергии.

Примечание — В тех случаях, когда неизвестен предел выходной мощности или энергии, используют максимальную мощность или энергию, добавляемую усилителем, а также необходимую входную мощность или энергию, позволяющую достигнуть этого состояния.

9.2 Измерение лазерного излучения

Измерение уровней лазерного излучения необходимо для классификации лазерной аппаратуры в соответствии с 9.1. В измерениях нет необходимости, если физические характеристики и ограничения источника питания лазерной аппаратуры или ее монтаж четко соответствуют определенному классу. Измерения необходимо проводить при следующих условиях и процедурах:

a) при условиях и методиках, при которых существуют максимальные уровни доступной эмиссии, в том числе при включении, стабилизировавшемся излучении и при выключении лазерной аппаратуры;

b) при всех положениях органов управления и установочных параметрах, перечисленных в инструкциях по эксплуатации, техническому и сервисному обслуживанию в таком сочетании, при котором создается максимальный уровень доступного излучения. Измеряют также используемые принадлежности, которые могут повысить опасность облучения (например, коллиматоры, которые поставляются или предлагаются изготовителем для использования с аппаратурой);

Примечание — Это подразумевает любую конфигурацию аппаратуры, которая достигается без использования инструментов или установки блокировки, включая регулировку в процессе функционирования или технического обслуживания и установку предупреждений. Например, когда оптические элементы, такие как фильтры, диффузные отражатели или линзы в оптической части лазерного пучка, могут перемещаться без применения инструментов, аппаратура должна испытываться в конфигурации наиболее опасного уровня. Рекомендация изготовителя не перемещать оптические элементы не означает понижение класса принятой классификации. Классификация базируется на инженерной конструкции аппаратуры и не может основываться на соответствующем образе действия пользователя;

c) для лазерной аппаратуры, не являющейся лазерной системой, при подключении к источнику лазерной энергии, который рекомендуется изготовителем лазерной аппаратура и который вызывает максимальную эмиссию доступного излучения аппаратуры;

d) в точках пространства, к которым возможен доступ персонала во время функционирования для проведения измерений уровней доступной эмиссии (например, если при функционировании может потребоваться удаление частей защитного кожуха и отключение защитной блокировки, измерения следует проводить в точках, доступных для данной конструкции аппаратуры);

e) детектор измерительного прибора должен располагаться и ориентироваться таким образом, чтобы детектировать излучение в максимальной степени;

f) должны быть созданы необходимые условия для избегания или устранения влияния сопутствующего излучения при измерении;

g) классы 1 и 1M

Класс 1 применяют в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм. Класс 1M применяют в диапазоне длин волн от 302,5 до 4000 нм. Для определения доступной эмиссии применяют условия 1, 2 и 3 (см. таблицу 11).

Для диапазона длин волн от 302,5 до 4000 нм, если доступная эмиссия менее ПДЭ класса 1 при условиях 1, 2 и 3, лазерную аппаратуру относят к классу 1.

Если доступная эмиссия:

- более чем ПДЭ класса 1 при условии 1 или 2 и
- менее чем ПДЭ класса 3B при условии 1 или 2, и
- менее чем ПДЭ класса 1 при условии 3,

то лазерную аппаратуру относят к классу 1M.

Примечания

1 Обычно доступная эмиссия аппаратуры класса 1М превышает ПДЭ класса 1 при условии 1 или условии 2. Однако аппаратуру можно классифицировать классом 1М, когда это превышение ПДЭ имеет место для обоих условий 1 и 2.

2 Причина присвоения ПДЭ класса 3В — предел максимальной мощности, проходящей через оптический прибор.

Если доступная эмиссия превышает значение, ПДЭ указанную в таблице 9 для класса 3В, так как определена с апертурой диаметром 3,5 мм в недоступном для человека месте, то должно быть дано дополнительное предупреждение о потенциальной опасности для кожи (см. 5.2).

Примечание — Если лазерная аппаратура класса 1М с сильно расходящимся пучком в итоге будет выше уровня энергетической освещенности или будет осуществляться контакт с источником (установкой волокна), то возможен кожный ожог;

h) классы 2 и 2М

Классы 2 и 2М применяют к диапазону длин волн от 400 до 700 нм. Для определения доступной эмиссии применяют условия 1, 2 и 3, см. таблицу 11.

Если доступная эмиссия превышает пределы, установленные требованиями для классов 1 и 1М [см. перечисление g)], и в то же время:

- менее чем ПДЭ класса 2 при условиях 1, 2 и 3, то лазерную аппаратуру относят к классу 2.

Если доступная эмиссия превышает пределы, установленные требованиями для классов 1 и 1М [см. перечисление g)], и в то же время:

- более чем ПДЭ класса 2 при условиях 1 и 2;
- менее чем ПДЭ класса 3В при условиях 1 и 2,
- менее чем ПДЭ класса 2 при условии 3,

то лазерную аппаратуру относят к классу 2М.

Примечания

1 Причина присвоения ПДЭ класса 3В — предел максимальной мощности, проходящей через оптический прибор, и исключение высокого уровня энергетической освещенности или контакта с источником большой расходимости, который вызывает ожог кожи.

2 Обычно доступная эмиссия аппаратуры класса 2М превышает ПДЭ класса 2 при условиях 1 или 2. Однако аппаратуру можно классифицировать классом 2М, когда это превышение ПДЭ класса 2 имеет место для обоих условий 1 и 2.

Если доступная эмиссия превышает значение ПДЭ класса 3В, так как определена с апертурой диаметром 3,5 мм в недоступном для человека месте, то должно быть дано дополнительное предупреждение о потенциальной опасности для кожи (см. 5.3);

Примечание — Если лазерная аппаратура класса 2М с сильно расходящимся пучком в итоге будет выше уровня энергетической освещенности или будет осуществляться контакт с источником (установкой волокна), то возможен кожный ожог;

i) классы 3R и 3В

Если уровень излучения, определенный согласно 9.3 при условиях 1, 2 и 3, не более ПДЭ класса 3R или класса 3В, то лазерную аппаратуру относят к классам 3R или 3В соответственно. См. также примечание к первому абзацу 8.3;

j) класс 4

Если уровень излучения, определенный согласно 9.3 и при одном из условий: или 1, или 2, или 3, превышает ПДЭ для класса 3В, то лазерную аппаратуру относят к классу 4.

Таблица 4 — Пределы доступной эмиссии для лазерной аппаратуры классов 1 и 1М при условии $C_6 = 1$[a, b]

<table>
<tr><th rowspan="2">Длина волны
λ, нм</th><th colspan="11">Длительность эмиссии t, с</th></tr>
<tr><th>от 10^{-13}
до 10^{-11}</th><th>от 10^{-11}
до 10^{-9}</th><th>от 10^{-9}
до 10^{-7}</th><th>от 10^{-7}
до $1{,}8\cdot10^{-5}$</th><th>от $1{,}8\cdot10^{-5}$
до $5\cdot10^{-5}$</th><th>от $5\cdot10^{-5}$
до $1\cdot10^{-3}$</th><th>от $1\cdot10^{-3}$
до 0,35</th><th>от 0,35
до 10</th><th>от 10
до 10^2</th><th>от 10^2
до 10^3</th><th>от 10^3
до 10^4</th></tr>
<tr><td>180 — 302,5</td><td colspan="2">$3\cdot10^{10}$ Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="9">30 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>302,5 — 315</td><td colspan="2" rowspan="2">$2{,}4\cdot10^4$ Вт</td><td colspan="8">Фотохимическая опасность $7{,}9\cdot10^{-7}$ C_2 Дж ($t > T_1$)</td><td colspan="3">$7{,}9\cdot10^{-7}$ C_2 Дж</td></tr>
<tr><td>315 — 400</td><td colspan="8">$7{,}9\cdot10^{-7}$ C_1 Дж</td><td colspan="2">$7{,}9\cdot10^{-3}$ Дж</td><td>$7{,}9\cdot10^{-6}$ Вт</td></tr>
<tr><td>400 — 450

450 — 500</td><td>$5{,}8\cdot10^{-9}C_6$ Дж</td><td>$1{,}0\cdot t^{\,0,75}$ C_6 Дж</td><td>$2\cdot10^{-7}$ C_6 Дж</td><td colspan="6">$7\cdot10^{-4}\cdot t^{0,75}$ C_6 Дж</td><td>$3{,}9\cdot10^{-3}$ Дж

$3{,}9\cdot10^{-3}$ C_3 Дж и[c] $3{,}9\cdot10^{-4}$ Вт</td><td colspan="2">$3{,}9\cdot10^{-5}$ C_3 Вт</td></tr>
<tr><td>500 — 700</td><td colspan="8"></td><td colspan="3">$3{,}9\cdot10^{-4}$ Вт</td></tr>
<tr><td>700 — 1050</td><td>$5{,}8\cdot10^{-9}$ C_4C_6 Дж</td><td>$1{,}0\cdot t^{0,75}$ C_4 C_6 Дж</td><td>$2\cdot10^{-7}$ C_4 C_6 Дж</td><td colspan="6">$7\cdot10^{-4}\cdot t^{0,75}$ C_4 C_6 Дж</td><td colspan="3" rowspan="2">$3{,}9\cdot10^{-4}$ C_4 C_7 Вт</td></tr>
<tr><td>1050 — 1400</td><td>$5{,}8\cdot10^{-8}$ C_7 Дж</td><td>$10{,}4\cdot t^{0,75}$ C_7 Дж</td><td colspan="3">$2\cdot10^{-6}$ C_6 C_7 Дж</td><td colspan="4">$3{,}5\cdot10^{-3}\cdot t^{0,75}$ C_6 C_7 Дж</td></tr>
<tr><td>1400 — 1500</td><td colspan="2">$8\cdot10^5$ Вт</td><td colspan="3">$8\cdot10^{-4}$ Дж</td><td colspan="2">$4{,}4\cdot10^{-3}$ $t^{0,25}$ Дж</td><td>10^{-2} t Дж</td><td colspan="3" rowspan="4">$1{,}0\cdot10^{-2}$ Вт</td></tr>
<tr><td>1500 — 1800</td><td colspan="2">$8\cdot10^6$ Вт</td><td colspan="4">$8\cdot10^{-3}$ Дж</td><td>$11{,}8\cdot10^{-2}$ $t^{0,75}$ Дж</td></tr>
<tr><td>1800 — 2600</td><td colspan="2">$8\cdot10^5$ Вт</td><td colspan="3">$8\cdot10^{-4}$ Дж</td><td colspan="2">$4{,}4\cdot10^{-3}$ $t^{0,25}$ Дж</td><td>10^{-2} t Дж</td></tr>
<tr><td>2600 — 4000</td><td colspan="2">$8\cdot10^4$ Вт</td><td>$8\cdot10^{-5}$ Дж</td><td colspan="6">$4{,}4\cdot10^{-3}$ $t^{0,25}$ Дж</td></tr>
<tr><td>4000 — 10^6</td><td colspan="2">10^{11} Вт·м$^{-2}$</td><td>100
Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="6">$5600t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3">1000 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
</table>

[a] Поправочный коэффициент и единицы величин см. таблицу 10.

[b] ПДЭ для эмиссии длительностью менее 10^{-13} с устанавливают равным эквивалентной мощности или значению энергетической освещенности ПДЭ при 10^{-13} с.

[c] В диапазоне длин волн от 450 и 500 нм применяют двойные пределы, и эмиссия аппаратуры не должна превышать предела, установленного для определенного класса лазера.

Примечание — Лазерная аппаратура, отвечающая требованиям класса 1, при соответствующих условиях измерений 1 и 2 может быть опасна, когда используется с наблюдательной оптикой, имеющей увеличение более 7×, или объектив диаметром больше, чем указано в таблице 11.

Таблица 5 — Пределы доступной эмиссии для лазерной аппаратуры классов 1 и 1М в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм (область ретинальной опасности): протяженные источники[a, b, c, d, e]

<table>
<tr><th rowspan="2">Длина волны λ, нм</th><th colspan="8">Длительность эмиссии t, с</th></tr>
<tr><th>от 10^{-13} до 10^{-11}</th><th>от 10^{-11} до 10^{-9}</th><th>от 10^{-9} до $1{,}8\cdot10^{-5}$</th><th>от $1{,}8\cdot10^{-5}$ до $5\cdot10^{-5}$</th><th>от $5\cdot10^{-5}$ до 10</th><th>от 10 до 10^2</th><th>от 10^2 до 10^4</th><th>от 10^4 до $3\cdot10^4$</th></tr>
<tr><td rowspan="5">400 — 700</td><td rowspan="5">$5{,}8\cdot10^{-9}\ C_6$ Дж</td><td rowspan="5">$1{,}0\ t^{0{,}75}\ C_6$ Дж</td><td rowspan="5">$2\cdot10^{-7}\ C_6$ Дж</td><td rowspan="5" colspan="2">$7\cdot10^{-4}\ t^{0{,}75}\ C_6$ Дж</td><td colspan="3">400 — 600 нм — ретинальная фотохимическая опасность[d]</td></tr>
<tr><td>$3{,}9\cdot10^{-3}\ C_3$ Дж при γ_{ph} = 11 мрад</td><td>$3{,}9\cdot10^{-5}\ C_3$ Вт при $\gamma_{ph} = 1{,}1\ t^{0{,}5}$ мрад</td><td>$3{,}9\cdot10^{-5}\ C_3$ Вт при γ_{ph} = 110 мрад</td></tr>
<tr><td colspan="3">AND[c]</td></tr>
<tr><td colspan="3">400 — 700 нм — ретинальная тепловая опасность</td></tr>
<tr><td colspan="3">$7\cdot10^{-4}\ C_6\ T_2^{-0{,}25}$ Вт ($t > T_2$)
$7\cdot10^{-4}\ t^{0{,}75}\ C_6$ Дж ($t \le T_2$)</td></tr>
<tr><td>700 — 1050</td><td>$5{,}8\cdot10^{-9}\ C_4\ C_6$ Дж</td><td>$1{,}0\ t^{0{,}75}\ C_4\ C_6$ Дж</td><td>$2\cdot10^{-7}\ C_4\ C_6$ Дж</td><td colspan="2">$7\cdot10^{-4}\ t^{0{,}75}\ C_4\ C_6$ Дж</td><td colspan="3" rowspan="2">$7\cdot10^{-4}\ C_4\ C_6\ C_7\ T_2^{-0{,}25}\ W\ (t \le T_2)$ ($t > T_2$)
$7\cdot10^{-4}\ t^{0{,}75}\ C_4\ C_6\ C_7$ Дж</td></tr>
<tr><td>1050 — 1400</td><td>$5{,}8\cdot10^{-8}\ C_6\ C_7$ Дж</td><td>$10{,}4\ t^{0{,}75}\ C_6\ C_7$</td><td colspan="2">$2\cdot10^{-6}\ C_6\ C_7$ Дж</td><td>$3{,}5\cdot10^{-3}\ t^{0{,}75}\ C_6\ C_7$ Дж</td></tr>
</table>

[a] Поправочный коэффициент и единицы величин см. таблицу 10.

[b] ПДЭ для эмиссии длительностью менее 10^{-13} с устанавливают равным эквивалентной мощности или значению энергетической освещенности ПДЭ при 10^{-13} с.

[c] В диапазоне длин волн от 450 до 500 нм, применяют двойные пределы, и эмиссия аппаратуры не должна превышать предела, установленного для определенного класса.

[d] Угол γ_{ph} ограничен измерительным углом приема $3{,}9\cdot10^{-3}\ C_3$ Дж.

[e] Если используют время экспозиции от 1 с до 10 с в диапазоне длин волн от 400 до 484 нм для видимого источника от 1,5 до 82 мрад , то принимают двойной предел фотохимической опасности $3{,}9\cdot10^{-3}\ C_3$ Дж, установленный для 1 с.

Примечание — Лазерная аппаратура, отвечающая требованиям класса 1, при соответствующих условиях измерений 1 и 2 может быть опасна, когда используется с наблюдательной оптикой, имеющей увеличение более $7^{\times}$, или объектив диаметром более чем указано в таблице 11.

Таблица 6 — Пределы доступной эмиссии для лазерной аппаратуры классов 2 и 2М

Длина волны λ, нм	Длительность эмиссии t, с	ПДЭ класса 2
400 — 700	$t < 0{,}25$ $t \geq 0{,}25$	Такой же, как ПДЭ класса 1 $C_6 \cdot 10^{-3}$ Вт*
Примечание — Лазерная аппаратура, которая отвечает требованиям классификации, как класс 2 на основе измерений по условиям 1 и 2, может быть опасна, когда используется с наблюдательной оптикой имеющей увеличение больше $7^{\times}$ или диаметры апертур больше указанных в таблице 11.		
* Поправочный коэффициент и единицы величин см. таблицу 10.		

Таблица 7 — Пределы доступной эмиссии для лазерной аппаратуры класса 3R и $C_6 = 1$[a, b, c]

<table>
<tr><th rowspan="2">Длина волны λ,нм</th><th colspan="10">Длительность эмиссии t, с</th></tr>
<tr><th>от 10^{-13} до 10^{-11}</th><th>от 10^{-11} до 10^{-9}</th><th>от 10^{-9} до 10^{-7}</th><th>от 10^{-7} до $1{,}8\cdot10^{-5}$</th><th>от $1{,}8\cdot10^{-5}$ до $5\cdot10^{-5}$</th><th>от $5\cdot10^{-5}$ до $1\cdot10^{-3}$</th><th>от $1\cdot10^{-3}$ до 0,35</th><th>от 0,35 до 10</th><th>от 10 до 10^3</th><th>от 10^3 до $3\cdot10^{-4}$</th></tr>
<tr><td>180 — 302,5</td><td colspan="2">$1{,}5\cdot10^{11}$ Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="8">150 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>302,5 — 315</td><td colspan="2" rowspan="2">$1{,}2\cdot10^5$ Вт</td><td colspan="7">Фотохимическая опасность $4{,}0\cdot10^{-6}$ C_2 Дж ($t > T_1$)[c]
Тепловая опасность($t \le T_1$)[c] $4{,}0\cdot10^{-6}$ C_1 Дж
$4{,}0\cdot10^{-6}$ C_1 Дж</td><td colspan="2">$4{,}0\cdot10^{-6}$ C_2 Дж</td></tr>
<tr><td>315 — 400</td><td colspan="7"></td><td>$4{,}0\cdot10^{-2}$ Дж</td><td>$4{,}0\cdot10^{-5}$ Вт</td></tr>
<tr><td>400 — 700</td><td>$2{,}9\cdot10^{-8}$ Дж</td><td>$5{,}0\cdot t^{0,75}$ Дж</td><td>$1\cdot10^{-6}$ Дж</td><td colspan="3">$5{,}0\cdot10^{-3}$ Вт ($t \ge 0{,}25$ с)
($t < 0{,}25$ с) $3{,}5\cdot10^{-3}$ $t^{0,75}$ Дж</td><td colspan="3">$5{,}0\cdot10^{-3}$ Вт</td></tr>
<tr><td>700 — 1050</td><td>$2{,}9\cdot10^{-8}$ C_4 Дж</td><td>$5{,}0\cdot t^{0,75}$ C_4 Дж</td><td>$1\cdot10^{-6}$ C_4 Дж</td><td colspan="4">$3{,}5\cdot10^{-3}\cdot t^{0,75}$ C_4 Дж</td><td colspan="2" rowspan="2">$2{,}0\cdot10^{-3}$ C_4 C_7 Вт</td></tr>
<tr><td>1050 — 1400</td><td>$2{,}9\cdot10^{-7}$ C_7 Дж</td><td>$52\cdot t^{0,75}$ C_7 Дж</td><td colspan="3">$1\cdot10^{-5}$ C_7 Дж</td><td colspan="3">$1{,}8\cdot10^{-2}\cdot t^{0,75}$ C_7 Дж</td></tr>
<tr><td>1400 — 1500</td><td colspan="2">$4\cdot10^6$ Вт</td><td colspan="3">$4\cdot10^{-3}$ Дж</td><td colspan="2">$2{,}2\cdot10^{-2}\cdot t^{0,25}$ Дж</td><td>$5\cdot10^{-2}$ t Дж</td><td colspan="2" rowspan="4">$5{,}0\cdot10^{-2}$ Вт</td></tr>
<tr><td>1500 — 1800</td><td colspan="2">$4\cdot10^7$ Вт</td><td colspan="5">$4\cdot10^{-2}$ Дж</td><td>$9\cdot10^{-2}\cdot t^{0,75}$ Дж</td></tr>
<tr><td>1800 — 2600</td><td colspan="2">$4\cdot10^6$ Вт</td><td colspan="3">$4\cdot10^{-3}$ Дж</td><td colspan="2">$2{,}2\cdot10^{-2}$ $t^{0,25}$ Дж</td><td rowspan="2">$5\cdot10^{-2}$ t Дж</td></tr>
<tr><td>2600 — 4000</td><td colspan="2">$4\cdot10^5$ Вт</td><td>$4\cdot10^{-4}$</td><td colspan="4">$2{,}2\cdot10^{-2}$ $t^{0,25}$ Дж</td></tr>
<tr><td>4000 — 10^6</td><td colspan="2">$5\cdot10^{11}$ Вт·м$^{-2}$</td><td>500 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="5">$2{,}8\cdot10^4\cdot t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">5 000 Вт · м$^{-2}$</td></tr>
</table>

[a] Поправочный коэффициент и единицы измерения, см. таблицу 10.

[b] ПДЭ для эмиссии длительностью менее 10^{-13} с устанавливают равным эквивалентной мощности или значению энергетической освещенности ПДЭ при 10^{-13} с.

[c] Для повторяющихся импульсов в УФ лазерах ни один из импульсов не должен превышать предельное значение.

Таблица 8 — Пределы доступной эмиссии для лазерной продукции класса 3R в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм (область ретинальной опасности): протяженные источники[a, b]

Длина волны λ,нм	Длительность эмиссии t, с									
	от 10^{-13} до 10^{-11}	от 10^{-11} до 10^{-9}	от 10^{-9} до 10^{-7}	от 10^{-7} до $1{,}8\cdot10^{-5}$	от $1{,}8\cdot10^{-5}$ до $5\cdot10^{-5}$	от $5\cdot10^{-5}$ до $1\cdot10^{-3}$	от $1\cdot10^{-3}$ до 0,35	от 0,35 до 10	от 10 до 10^{3}	от 10^{3} до $3\cdot10^{4}$
400 — 700	$2{,}9\cdot10^{-8}\ C_6$ Дж	$5{,}0\ t^{0{,}75}\ C_6$ Дж	$1\cdot10^{-6}\ C_6$ Дж		$5{,}0\cdot10^{-3}\ C_6$ Вт ($t \geq 0{,}25$ с) ($t < 0{,}25$ с) $3{,}5\cdot10^{-3}\ t^{0{,}75}\ C_6$ Дж			$5{,}0\cdot10^{-3}\ C_6$ Вт		
700 — 1050	$2{,}9\cdot10^{-8}\ C_4\ C_6$ Дж	$5{,}0\ t^{0{,}75}\ C_4\ C_6$ Дж	$1\cdot10^{-6}\ C_4\ C_6$ Дж		$3{,}5\cdot10^{-3}\ t^{0{,}75}\ C_4\ C_6$ Дж				$3{,}5\cdot10^{-3}\ C_4\ C_6\ C_7\ T_2^{-0{,}25}$ Вт ($t > T_2$) ($t \leq T_2$) $3{,}5\cdot10^{-3}\ t^{0{,}75} C_4\ C_6\ C_7$ Дж	
1050 — 1400	$2{,}9\cdot10^{-7}\ C_6\ C_7$ Дж	$52\ t^{0{,}75}\ C_6\ C_7$ Дж	$1\cdot10^{-5}\ C_6\ C_7$ Дж			$1{,}8\cdot10^{-2}\ t^{0{,}75}\ C_6\ C_7$ Дж			$5{,}0\cdot10^{-2}$ Вт	

[a] Поправочные множители и единицы величин см. таблицу 10.

[b] ПДЭ для эмиссии длительностью менее 10^{-3} с должны быть установлены равными эквивалентной мощности или энергетической освещенности пределов ПДЭ при 10^{-3} с.

Таблица 9 — Пределы доступной эмиссии для лазерной аппаратуры класса 3В

Длина волны λ, нм	Длительность эмиссии t, с		
	$< 10^{-9}$	10^{-9} до 0,25	0,25 до $3 \cdot 10^4$
180 — 302,5	$3{,}8 \cdot 10^5$ Вт	$3{,}8 \cdot 10^4$ Дж	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$ Вт
302,5 — 315	$1{,}25 \cdot 10^4\ C_2$ Вт	$1{,}25 \cdot 10^{-5}\ C_2$ Дж	$5 \cdot 10^{-5}\ C_2$ Вт
315 — 400	$1{,}25 \cdot 10^8$ Вт	0,125 Дж	0,5 Вт
400 — 700	$3 \cdot 10^7$ Вт	0,03 Дж для $t < 0{,}06$ с 0,5 Вт для $t \geq 0{,}06$ с	
700 — 1050	$3 \cdot 10^7\ C_4$ Вт	0,03 C_4 Дж для $t < 0{,}06\ C_4$ с 0,5 Вт для $t \geq 0{,}06\ C_4$ с	
1050 — 1400	$1{,}5 \cdot 10^8$ Вт	0,15 Дж	
1400 — 10^6	$1{,}25 \cdot 10^8$ Вт	0,125 Дж	
Поправочный коэффициент и единицы величин см. таблицу 10.			

Поправочные коэффициенты C_1 — C_7 и точки прерывания T_1 и T_2, используемые в таблицах 4—9, определяют из приведенных выражений (см. таблицу 10).

Таблица 10 — Поправочные коэффициенты и точки прерывания для использования в расчетах ПДЭ и МДЭ

Параметр	Спектральный диапазон, нм
$C_1 = 5{,}6 \cdot 10^3 \cdot t^{0{,}25}$	От 180 до 400
$T_1 = 10^{0{,}8(\lambda - 295)} \cdot 10^{-15}$ с	От 302,5 до 315
$C_2 = 30$	От 180 до 302,5
$C_2 = 10^{0{,}2(\lambda - 295)}$	От 302,5 до 315
$T_2 = 10 \cdot 10^{[(\alpha - \alpha\ \min)/98{,}5]}$ с[a]	От 400 до 1400
$T_2 = 10$ с для $\alpha < 1{,}5$ мрад	
$T_2 = 100$ с для $\alpha < 100$ мрад	
$C_3 = 1{,}0$	От 400 до 450
$C_3 = 10^{0{,}02(\lambda - 450)}$	От 450 до 600
$C_4 = 10^{0{,}002(\lambda - 700)}$	От 700 до 1050
$C_4 = 5{,}0$	От 1050 до 1400
$C_5 = N^{-1/4}$ [a]	От 400 до 10^6
$C_6 = 1$	От 180 до 400 и от 400 до 10^6
$C_6 = 1$ для $\alpha \leq \alpha_{max}$[b]	От 400 до 1400
$C_6 = \alpha / \alpha_{min}$ для $\alpha_{min} < \alpha \leq \alpha_{max}$[b]	
$C_6 = \alpha_{max} / \alpha_{min} = 66{,}7$ для $\alpha > \alpha_{max}$[b, c]	

Окончание таблицы 10

Параметр	Спектральный диапазон, нм
$C_7 = 1,0$	От 700 до 1150
$C_7 = 10^{0,018(\lambda - 1150)}$	От 1150 до 1200
$C_7 = 8,0$	От 1200 до 1400

α_{min} = 1,5 мрад
α_{max} = 100 мрад
N — Число импульсов, содержащихся между принимаемыми длительностями [см. 8.3, перечисление f) и пункт А.3, приложения А)

[a] C_5 применяют только при длительности импульсов короче 0,25 с.

[b] C_6 применяют только к импульсным лазерам и непрерывным лазерам для тепловых ретинальных пределов.

[c] Максимальное ограничение угла приема γ_{th} должно быть равно α_{max} [но см. 8.4, перечисление d)].

Примечания:

1 — Все это свидетельствует об эффектах для экспозиций менее 10^{-9} с для длин волн меньше 400 нм и больше 1400 нм. ПДЭ для этих длительностей эмиссии и длин волн осуществляются расчетом эквивалентной мощности излучения или энергетической освещенности от мощности излучения или энергетической экспозиции применительно к 10^{-9} с для длин волн меньше 400 нм и больше 1400 нм.

2 — См. таблицу 11 для апертурных диафрагм и таблицу А.4 (приложение А) для ограничивающих апертур.

3 — В формулах таблиц 4 — 9 и в примечаниях длины волн следует выражать в нанометрах, длительность эмиссии *t* в секундах и α — в миллирадианах.

4 — Для длительностей эмиссии, которые лежат на границах временных областей (например, 10 с), в таблицах 4 — 9 применяют наименьший предел. Там, где используется символ «<», это означает меньше или равно.

9.3 Геометрия измерений

9.3.1 Общие положения

Три условия измерений рекомендуется для определения доступной эмиссии. Условия 1 и 2 применяют на длинах волн, где оптические приспособления для наблюдения увеличивают опасность. Условие 1 следует применять к коллимированным пучкам, где телескопы и бинокли увеличивают опасность, а условие 2 следует применять к источникам с большой выходной расходимостью, когда используют микроскопы, увеличительные стекла и глазные лупы, которые увеличивают опасность. Условие 3 применяют для невооруженного глаза. Условие 3 следует применять при измерении мощности и энергии наблюдаемого лазерного излучения.

При измерениях следует применять наибольшие ограничения, отмеченные в принятых условиях. Если наибольшие ограничения неочевидны, то принимаемые условия следует рассчитывать.

Применяют следующие схемы вычислений:

a) Упрощенный метод (по умолчанию), где заранее установленные испытания для классификации проводят на фиксированном расстоянии относительно выбранной точки. Для этих упрощенных вычислений нет необходимости определять угловой размер видимого источника, так как C_6 (см. таблицу 10) принимают равным 1.

b) Для излучения с длинами волн в диапазоне ретинальной опасности от 400 до 1400 нм, когда ПДЭ умножают на параметр C_6 с другим диаметром, чем 1 для протяженного источника. Это необходимо, чтобы оценить класс аппаратуры (т. е. сравнить значение доступной эмиссии с соответствующим ПДЭ) при наиболее опасном положении в пучке. Второй метод для протяженного источника более усложненный, чем метод оценки по умолчанию в перечислении a), что позволяет точнее определить значение доступной эмиссии.

Примечание — Во многих случаях наиболее опасное положение находится не на расстоянии 100 мм от точки отсчета, которое используется для основного измерения, а на гораздо большем расстоянии. Определение углового размера видимого источника на расстоянии 100 мм от точки отсчета будет в этом случае исходным для ПДЭ, который превосходит ПДЭ, определенный при наиболее опасном положении.

Если упрощенные результаты оценки (по умолчанию) приводят к ожидаемому классу, то нет необходимости выполнять оценочные процедуры в полном объеме для протяженного источника (см. 9.3.2) даже не смотря на то, что действительный источник может быть протяженным и действующий коэффициент C_6 будет больше 1, и наиболее опасное положение отличается от положения, указанного в таблице 11.

Примечание – Если источник представляет собой барьерный лазерный диод или если испускается хорошо коллимированный пучок, то обычно применяют один из упрощенных методов оценки (по умолчанию), т. е. аппаратура равноценна по результатам протяженного источника, полученным, как описано в 9.3.3.

9.3.2 Оценка по умолчанию (упрощенный метод)

Расстояния, приведенные в таблице 11, применяют по умолчанию при упрощенном методе:

- для источников с длинами волн менее 400 нм и более 1400 нм или
- если множитель C_6 равен 1 или
- для фотохимического ретинального предела при значениях временнóй базы более 100 с, когда измеряемый угол приема не ограничивается (т. е., по крайней мере, не меньше углового размера видимого источника),
- для других пределов, которые не являются ни фотохимическими, ни тепловыми (т. е. не зависят от C_6) ретинальными пределами (такие как ПДЭ класса 3В).

Расстояния, указанные в таблице 11, определяются, как расстояние от выбранного положения таблицы 12.

Таблица 11 — Диаметры измерительных апертур и расстояний для оценки по умолчанию (упрощенный метод)

Длина волны, нм	Условие 1 Применяют к коллимированному пучку, когда телескоп или бинокль увеличивают опасность		Условие 2 Применяют к расходящему пучку, когда увеличительные стекла, микроскопы увеличивают опасность		Условие 1 Применяют к определению энергетической освещенности при наблюдении пучка невооруженным глазом	
	Апертурная диафрагма, мм	Расстояние, мм	Апертурная диафрагма, мм	Расстояние, мм	Апертурная диафрагма/ ограничивающая апертура	Расстояние, мм
< 302,5	—	—	—	—	1	0
≥ 302,5 — 400	25	2000	7	70	1	100
≥ 400 — 1400	50	2000	7	70	7	100
≥ 1400 — 4000	7[x] условие 3	2000	7	70	1 для $t \le 0{,}35$ с $1{,}5t^{3/8}$ $0{,}35 < t < 10$с 3,5 для $t \ge 10$ с	100
≥ 4000 — 10^5	—	—	—	—	1 для $t \le 0{,}35$ с $1{,}5t^{3/8}$ $0{,}35 < t < 10$с 3,5 для $t \ge 10$ с	0
≥ 10^5 — 10^6	—	—	—	—	11	0

Примечание — Описанные ниже «Условия», содержащие типичные случаи, даны для справки и не являются исключительными.

Таблица 12 — Выбранные точки

Тип аппаратуры	Выбранная точка
Полупроводниковые излучатели (СИД, лазерные диоды, сверхлюминесцентные диоды)	Физическое расположение элемента
Сканируемая эмиссия (включая сканируемые линейные лазеры)	Вершина сканирования (точка вращения сканирующего пучка)
Линейный лазер	Фокальная точка (вершина веера углов)
Выход волокна	Конец волокна
Полностью диффузные источники	Поверхность рассеивателя
Другие	Узкое место пучка

Примечание — Если выбранная точка расположена внутри защитного кожуха (т.е. недоступна) и расстояние от закрытой точки доступа человека больше, чем измеренное расстояние, указанное в таблице 11, то измерения выполняют от закрытой точки доступа человека.

9.3.3 Условия расчета протяженных источников

Для длин волн диапазона ретинальной опасности (400—1400 нм) доступную эмиссию и ПДЭ при классификации следует определять при наиболее опасном положении:

- когда выбирают значение C_6 больше единицы для определения ПДЭ или
- когда предельный угол приема выбирается для определения доступной эмиссии при сравнении с фотохимическими ретинальными пределами.

Доступную эмиссию и ПДЭ определяют совместно (т. е. они являются парными значениями) в разных положениях внутри пучка, и значения, полученные при наиболее опасном положении, используются для установления класса аппаратуры. Это предполагает, что доступную эмиссию (которую сравнивают с ПДЭ) и ПДЭ определяют в некотором положении внутри пучка, т. е. угловой размер видимого источника α (и следовательно C_6) определяют в положении апертурной диафрагмы, что используется, чтобы установить доступную эмиссию.

Примечания

1 В случае, где расходимость лазерного пучка менее чем 1,5 мрад, угловой размер видимого источника α соответствует α_{min} и определение доступной эмиссии может быть выполнено согласно условиям, указанным в 9.3.1.

2 Если источник диффузный, например лазерный пучок падает на диффузно пропускающую плоскость, поверхность считают диффузором и рассматривают как положение видимого источника, который испускает излучение диффузно, и можно определять угловой размер видимого источника [см. 8.3, перечисление d)] для расчета неравномерности образцов.

3 В некоторых более сложных сочетаниях с множеством источников или множеством фокальных точек возможно применять более сложную технику, такую как трассировка лучей.

а) Диаметры апертуры

Условия 1 и 3 одинаково подходят как для определения доступной эмиссии, так и для углового размера видимого источника (оба из которых должны определяться при наиболее опасном положении в пучке). При этом апертурные диафрагмы и минимальное измеряемое расстояние, как указывается в таблице 11, должны быть использованы (см. рисунки 3 и 4).

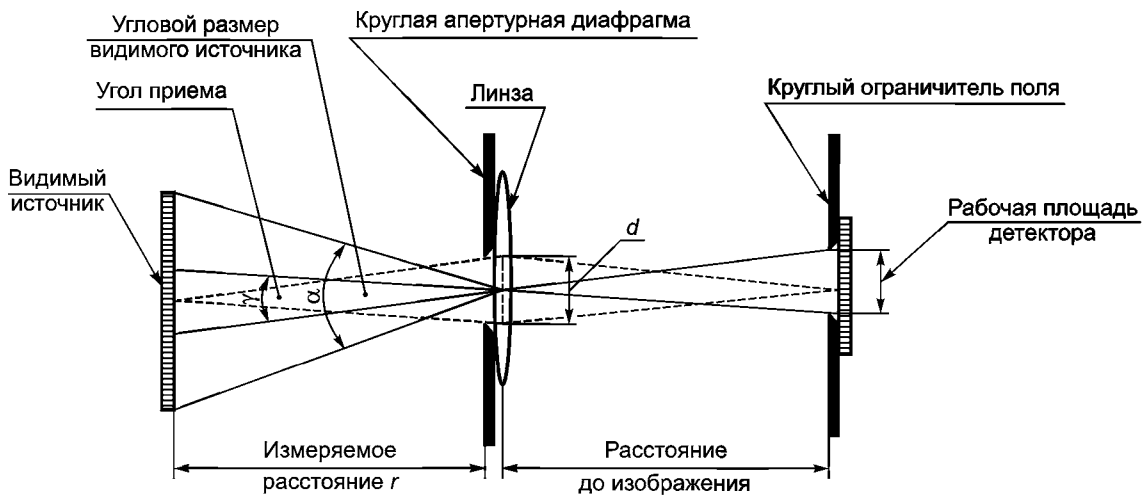
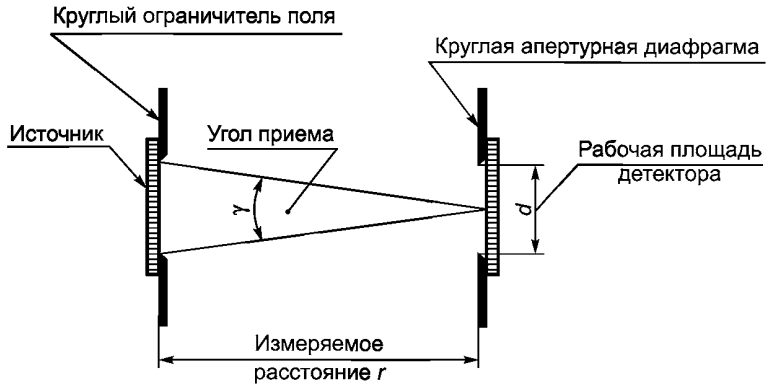


Рисунок 3 — Измерение с ограничением угла приема путем создания изображения видимого источника в плоскости полевой диафрагмы



Примечание — Установка не применяется, когда видимый источник не доступен.

Рисунок 4 — Измерение с ограничением угла приема путем размещения круглой апертуры или маски (служит в качестве полевой диафрагмы) в непосредственной близости с видимым источником

Для условия 2 определение доступной эмиссии, а также углового размера видимого источника применяют положительную линзу *L*1 с фокусным расстоянием 35 мм и апертуру диаметром 7 мм, размещенную (см. рисунок 5) на расстоянии 35 мм от выбранной точки, данной в таблице 12. Апертурная диафрагма для определения доступной эмиссии, равно как и для определения углового размера видимого источника, должна быть размещена на расстоянии 100 мм от линзы *L*1, и диаметр этой апертурной диафрагмы должен составлять 3,5 мм.

Примечание — Линза *L*1 представляет собой увеличительное стекло с увеличением 7×. Когда расходящийся источник помещен в фокальную точку линзы, излучение становится параллельным, и такое превращение воздействует как на доступную эмиссию, определяемую с апертурной диафрагмой, так и угловой размер видимого источника. Так как все расстояния фиксированы, то для условия 2 нет необходимости идентифицировать наиболее опасное положение.

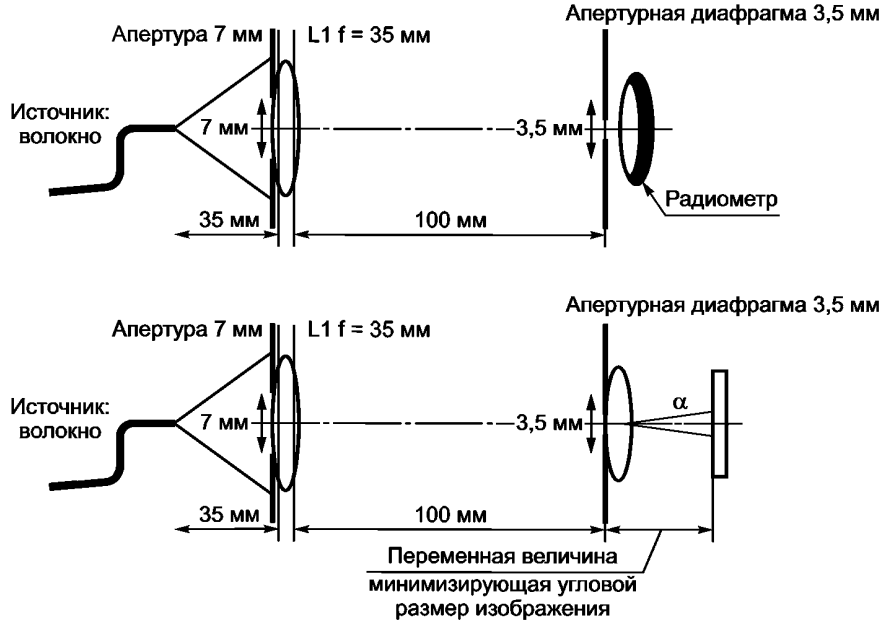


Рисунок 5 – Экспериментальная установка для определения доступной эмиссии (вверху) и углового размера видимого источника (внизу) при условии 2, когда источник считается протяженным (т.е. не используют упрощенную оценку, метод по умолчанию)

b) Угол приема

Угол приема определяют отношением диаметра ограничивающей диафрагмы и расстоянием между этой диафрагмой и линзой (расстояние изображения) (см. рисунок 3) или отношением диаметра ограничивающей диафрагмы и расстоянием между источником и приемником (измеряемое расстояние) (см. рисунок 4). В расчет принимаются потери, обусловленные линзами.

Для условий 2 и 3 угол приема, определяющий уровень доступной эмиссии, должен быть установлен в соответствии с требованиями нижеприведенных перечислений 1) и 2). Для условия 1 угол приема определяют делением значений, данных в перечислениях 1) и 2), на коэффициент 7.

1) Фотохимические ретинальные пределы

Для измерения источников и дальнейших вычислений фотохимических пределов (400 — 600 нм) ограничиваются углом приема γ_{ph}, данным в таблице 13

Таблица 13 — Предельный угол приема γ_{ph}.

Длительность эмиссии, с	γ_{ph} для условия 1, мрад	γ_{ph} для условий 2 и 3, мрад
$10 < t \le 100$	1,57	11
$100 < t \le 10^4$	$0{,}16 \cdot t^{0,5}$	$1{,}1 \cdot t^{0,5}$
$10^4 < t \le 3 \cdot 10^4$	16	110

Если угловой размер источника α больше, чем указанный предельный угол приема γ_{ph}, то угол приема будет не больше, чем значение, указанное для γ_{ph}. Если угловой размер источника α меньше, чем указанный предельный угол приема γ_{ph}, то угол приема будет полностью охватывать источник, и нет необходимости принимать его во внимание (т. е. угол приема не будет ограничиваться значением γ_{ph}).

Примечание — Для измерения угла источников, когда $\alpha < \gamma_{ph}$, нет необходимости в специальных измерениях хорошо известного угла приема. Чтобы получить определенный угол приема, можно определить или изображение источника на последней диафрагме или маскирование источника — см. рисунки 3 и 4 соответственно.

2) Все другие ретинальные пределы

Для измерения излучения учитывают не только фотохимические, но и другие ограничения, угол приема должен полностью охватывать источник (то есть угол приема должен быть, по крайней мере, такого же размера, как угловой размер источника α). Однако, если $\alpha > \alpha_{max}$, предельный угол приема равен α_{max} (100 мрад). В пределах диапазона длин волн от 400 до 1400 нм при оценке видимого источника, который состоит из множества точек, угол приема меняется в диапазоне $\alpha_{min} \le \gamma \le \alpha_{max}$ [см. 8.3, перечисление d)].

Приложение А
(справочное)

Значения максимально допустимой экспозиции

А.1 Общие замечания

ПДЭ обычно являются производными от МДЭ. МДЭ включены в данное приложение, чтобы обеспечить изготовителей дополнительной информацией, которая может помочь в развитии направлений безопасности, связанных с предполагаемым использованием их продукции (например, определение НОГР).

Примечание — Упрощенные вычисления могут значительно занизить НОГР. Например, когда лазерная апертура расположена позади большой зоны, когда имеется внешнее сужение пучка или когда профиль пучка такой, что мощность, проходящая через апертуру, занижается, или когда предполагается Гауссов профиль пучка. В таких случаях обычно полезно определить НОГР измерениями.

Значения уровней МДЭ, которые содержатся в настоящем стандарте, адаптированы к значениям предела излучения, опубликованных Международным комитетом по защите от неионизированного излучения. Значения МДЭ, установленные ниже на известные уровни опасности, основаны на достоверной информации от экспериментальных центров. Значения МДЭ допускается использовать как руководство при контроле излучений и не должны рассматриваться в качестве определенных разделительных линий между безопасными и опасными уровнями. В некоторых случаях экспозиция лазерного излучения должна быть настолько мала, насколько это возможно.

Принимается, что излучения на нескольких длинах волн имеют аддитивный эффект на условии, что спектральные области показаны как добавленные символами (o) для глазного и (s) для облучения кожи в матрице (см. таблицу 2). Там, где излучаемые длины волны не показаны как аддитивный эффект, опасности должны быть оценены отдельно.

Таблица А.1 — Максимально допустимая экспозиция (МДЭ) при C_6 =1 сетчатки прямым воздействием лазерного излучения[a, b]

<table>
<tr><th rowspan="2">Длина волны λ, нм</th><th colspan="10">Длительность излучения t, с</th></tr>
<tr><th>от 10^{-13} до 10^{-11}</th><th>от 10^{-11} до 10^{-9}</th><th>от 10^{-9} до 10^{-7}</th><th>от 10^{-7} до $1{,}8\cdot10^{-5}$</th><th>от $1{,}8\cdot10^{-5}$ до $5\cdot10^{-5}$</th><th>от $5\cdot10^{-5}$ до $1\cdot10^{-3}$</th><th>от $1\cdot10^{-3}$ до 10</th><th>от 10 до 10^2</th><th>от 10^2 до 10^3</th><th>от 10^3 до $3\cdot10^4$</th></tr>
<tr><td>180 — 302,5</td><td colspan="2" rowspan="3">$3\cdot10^{10}$ Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="8">30 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>302,5 — 315</td><td colspan="7" rowspan="2">Термическая опасность[d] ($t \le T_1$) C_1 Дж·м$^{-2}$ / Фотохимическая опасность[d] ($t > T_1$) C_2 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3" rowspan="2">C_2 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>315 — 400</td><td colspan="7">C_1 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>400 — 450</td><td colspan="2" rowspan="3">1,5·10^{-4} Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2" rowspan="3">2,7·10^4 $t^{0,75}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2" rowspan="3">5·10^{-3} Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2" rowspan="3">18·$t^{0,75}$ Дж·м$^{-2}$</td><td>100 Дж·м$^{-2}$</td><td rowspan="2">C_3 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>450 — 500</td><td>100 C_3 Дж·м$^{-2}$ и[c] 10 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>500 — 700</td><td colspan="2">10 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>700 — 1050</td><td>1,5·10^{-4} C_4 Дж·м$^{-2}$</td><td>2,7·10^4 ·$t^{0,75}$ C_4 Дж·м$^{-2}$</td><td>5·10^{-3} C_4 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3">18·$t^{0,75}$ C_4 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3">10 C_4 C_7 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>1050 — 1400</td><td>1,5·10^{-3} C_7 Дж·м$^{-2}$</td><td>2,7·10^5 ·$t^{0,75}$ C_7 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">5·10^{-2} C_7 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3">90·$t^{0,75}$ C_7 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3" rowspan="5">1,000 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>1400 — 1500</td><td colspan="2">10^{12} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="3">10^3 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">5600$t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>1500 — 1800</td><td colspan="2">10^{13} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="5">10^4 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>1800 — 2600</td><td colspan="2">10^{12} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="3">10^3 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">5600·$t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>2600 — 10^6</td><td colspan="2">10^{11} Вт·м$^{-2}$</td><td>100 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="6">5600$t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
</table>

[a] Поправочный коэффициент и единицы величин, см. таблицу 10.

[b] МДЭ для длительностей экспозиции менее 10^{-9} с и для длин волн менее 400 нм и более 1400 нм устанавливают равным эквивалентному значению энергетической освещенности от предела энергетической экспозиции при 10^{-9} с. МДЭ для длительностей экспозиции менее 10^{-13} с устанавливают равным эквивалентному значению энергетической освещенности от МДЭ при 10^{-13} с.

[c] В диапазоне длин волн от 400 до 600 нм применяют двойные пределы, и излучение лазера не должно превышать применяемые пределы.

[d] Для импульсных ультрафиолетовых лазеров ни один предел не может быть превышен.

Таблица А.2 — Максимально допустимая экспозиция (МДЭ) сетчатки при прямом воздействии лазерного излучения

<table>
<tr><td rowspan="2">Длина волны λ, нм</td><td colspan="8">Длительность излучения t, с</td></tr>
<tr><td>от 10^{-13} до 10^{-11}</td><td>от 10^{-11} до 10^{-9}</td><td>от 10^{-9} до $1{,}8\cdot10^{-5}$</td><td>от $1{,}8\cdot10^{-5}$ до $5\cdot10^{-5}$</td><td>от $5\cdot10^{-5}$ до 10</td><td>от 10 до 10^2</td><td>от 10^2 до 10^4</td><td>от 10^4 до $3\cdot10^4$</td></tr>
<tr><td>400 — 700</td><td>$1{,}5\cdot10^{-4}$ C_6 Дж·м$^{-2}$</td><td>$2{,}7\cdot10^4 t^{0,75}$ C_6 Дж·м$^{-2}$</td><td>$5\cdot10^{-3}$ C_6 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">$18\cdot t^{0,75}$ C_6 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3">от 400 до 600 нм — фотохимическая опасность для сетчатки[a]
100 C_3 Дж·м$^{-2}$ используют γ_{ph} = 11 мрад | 1 C_3 Вт·м$^{-2}$ используют $\gamma_{ph} = 1{,}1\cdot t^{0,5}$ мрад и[b] | 1 C_3 Вт·м$^{-2}$ используют γ_{ph} = 110 мрад
от 400 до 700 нм — Термическая опасность для сетчатки
18 C_6 $T_2^{-0,25}$ Вт·м$^{-2}$ ($t > T_2$) / ($t \le T_2$) 18 $t^{0,75}$ C_6 Дж·м$^{-2}$
18 C_4 C_6C_7 $T_2^{-0,25}$ Вт·м$^{-2}$ ($t > T_2$) / ($t \le T_2$) $18\cdot t^{0,75}$ C_4 C_6C_7 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>700 — 1050</td><td>$1{,}5\cdot10^{-4}$ C_4 C_6 Дж·м$^{-2}$</td><td>$2{,}7\cdot10^4\cdot t^{0,75}$ C_4 C_6 Дж·м$^{-2}$</td><td>$5\cdot10^{-3}$ C_4 C_6 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">$18\cdot t^{0,75}$ C_4 C_6 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>1050 — 1400</td><td>$1{,}5\cdot10^{-3}$ C_6 C_7 Дж·м$^{-2}$</td><td>$2{,}7\cdot10^5\cdot t^{0,75}$ C_6 C_7 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">$5\cdot10^{-2}$ C_6 C_7 Дж·м$^{-2}$</td><td>90 $t^{0,75}$ C_6 C_7 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

[a] Угол γ_{ph} — ограниченный при измерениях угол приема.

[b] В диапазоне длин волн от 400 до 600 нм применяют двойные пределы, и излучение лазера не должно превышать применяемые пределы. Обычно пределы фотохимической опасности применяют только для длительностей экспозиции более 10 с, однако для длин волн в диапазоне 400 — 484 нм для видимых источников угловыми размерами от 1,5 до 82 мрад применяют двойной предел фотохимической опасности 100 C_3 Дж·м$^{-2}$ для экспозиций не менее 1 с.

Таблица А.3 — Максимально допустимая экспозиция (МДЭ) кожи лазерным излучением[a),b)]

<table>
<tr><td rowspan="2">Длина волны λ, нм</td><td colspan="6">Длительность излучения t, с</td></tr>
<tr><td>$< 10^{-9}$</td><td>от 10^{-9} до 10^{-7}</td><td>от 10^{-7} до 10^{-3}</td><td>от 10^{-3} до 10</td><td>от 10 до 10^3</td><td>от 10^3 до $3 \cdot 10^4$</td></tr>
<tr><td>180 — 302,5</td><td rowspan="3">$3 \cdot 10^{10}$ Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="4">30 Дж·м$^{-2}$</td><td></td></tr>
<tr><td>302,5 — 315</td><td colspan="3">C_1 Дж·м$^{-2}$ ($t < T_1$)</td><td>C_2 Дж·м$^{-2}$ ($t > T_1$)</td><td colspan="2">C_2 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>315 — 400</td><td colspan="3">C_1 Дж·м$^{-2}$</td><td>10^4 Дж·м$^{-2}$</td><td>10 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>400 — 700</td><td>$2 \cdot 10^{11}$ Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="2">200 Дж·м$^{-2}$</td><td>$1{,}1 \cdot 10^4\ t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">2,000 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>700 — 1400</td><td>$2 \cdot 10^{11}\ C_4$ Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="2">200 C_4 Дж·м$^{-2}$</td><td>$1{,}1 \cdot 10^4\ C_4 \cdot t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">2,000 C_4 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>1400 — 1500</td><td>10^{12} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="2">10^3 Дж·м$^{-2}$</td><td>$5600 \cdot t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2" rowspan="4">1,000 Вт·м$^{-2}$ c)</td></tr>
<tr><td>1500 — 1800</td><td>10^{13} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="3">10^4 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>1800 — 2600</td><td>10^{12} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="2">10^3 Дж·м$^{-2}$</td><td>$5600 \cdot t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>2600 — 10^6</td><td>10^{11} Вт·м$^{-2}$</td><td>100 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">$5600\ t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td colspan="7">a) Для коррекции поправочных коэффициентов и единиц величин см. таблицу 10.
b) Сведения об эффектах воздействия облучения для длительностей менее 10^{-9} с ограничены. МДЭ для таких длительностей экспозиции получена как производная для облученности, применяющейся к 10^{-9} с.
c) При облучении поверхности кожи более 0,1 м^2 МДЭ уменьшают до 100 Вт·м$^{-2}$. Для площадей 0,01 м^2 — 0,1 м^2 МДЭ изменяют обратно пропорционально в соответствии с облученной площадью кожи.</td></tr>
</table>

А.2 Ограничивающие апертуры

При всех измерениях и вычислениях значений экспозиции необходимо использовать соответствующую апертуру. Это ограничивающая апертура, определяемая диаметром области в форме круга, в которой осуществляют усреднение энергетической освещенности или энергетической экспозиции. Значения диаметров ограничивающих апертур приведены в таблице А.4.

Для импульсно-периодических лазеров экспозиция в пределах спектрального диапазона от 1400 до 10^5 нм апертуру диаметром 1 мм используют для оценки опасности от одиночного импульса; апертуру диаметром 3,5 мм применяют для оценки МДЭ при экспозиции более 10 с.

Примечание — Значения облучения глаз измеряют в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм и апертуре диаметром более 7 мм (зрачок). Значения МДЭ устанавливают без учета меньших диаметров зрачка.

Таблица А.4 — Диаметры апертур для измерения энергетической освещенности и энергетической экспозиции лазерного излучения

<table>
<tr><td rowspan="2">Спектральный диапазон, нм</td><td colspan="2">Диаметр апертуры для</td></tr>
<tr><td>глаз, мм</td><td>кожи, мм</td></tr>
<tr><td>От 180 до 400</td><td>1</td><td rowspan="3">3,5</td></tr>
<tr><td>≥ 400 до 1 400</td><td>7</td></tr>
<tr><td>≥ 1, 400 до 10^5</td><td>1 для $t \le 0{,}35$с
$1{,}5t^{3/8}$ для 0,35с $< t <$ 10 с
3,5 для $t \ge 10$ с</td></tr>
<tr><td>≥ 10^5 до 10^6</td><td>11</td><td>11</td></tr>
<tr><td colspan="3">Примечание — При многоимпульсном облучении — в соответствии с А.3.</td></tr>
</table>

А.3 Лазеры с повторяющимися импульсами и модулируемые лазеры

При оценке МДЭ для повторяющегося облучения следует применять ниже приведенные методы.

Облучение от любой последовательности импульсов (или группы импульсов в последовательности импульсов), проходящей в любое установленное время, не должно превышать МДЭ для этого времени.

МДЭ при облучении глаз в диапазоне длин волн $400 < \lambda < 10^6$ нм определяют при использовании самого жесткого из требований перечислений a), b), c). Требование перечисления c) применяют только для тепловых ограничений воздействия на сетчатку и не применяют для фотохимических.

МДЭ при облучении глаз при длинах волн менее 400 нм или при облучении кожи определяют при использовании самого жесткого из требований перечислений a) и b).

a) экспозиция от любого одиночного импульса из серии импульсов не должно превышать МДЭ для одиночного импульса;

b) средняя экспозиция для серии импульсов с длительностью экспозиции T не должна превышать МДЭ, приведенные в таблицах А.1 — А.3 (приложение А) для одиночного импульса с длительностью экспозиции T;

c) 1) для постоянных значений энергии импульса и длительности импульса:

- облучение от импульса не должно превышать МДЭ для одиночного импульса, умноженного на поправочный коэффициент C_5. Коэффициент C_5 применяют только к отдельному импульсу длительностью менее 0,25 с.

$$МДЭ_{один.\ из\ серии} = МДЭ_{один.} \cdot C_5,$$

где:

$МДЭ_{один.}$ — МДЭ для одиночного импульса,

$МДЭ_{послед.\ имп}$ — МДЭ для любого одиночного импульса из серии импульсов,

$C_5 = N^{-1/4}$,

N — эффективное число импульсов в серии импульсов в течение определенной длительности экспозиции [когда импульсы следуют в промежутке времени T_i (см. таблицу 3)], N меньше фактического числа импульсов (см. ниже). Максимальная длительность экспозиции, которую необходимо учитывать для оценки в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм, равна T_2 (см. таблицу 10) или применяемому базовому промежутку времени, в зависимости от того, какое из этих значений меньше . Для длин волн более 1400 нм МДЭ, применяемая по требованиям для оценки, определяется временем 10 с.

Если в течение периода T_i появляется несколько импульсов (см. таблицу 3), то для определения N их считают как одиночный импульс и энергетические экспозиции каждого отдельного импульса суммируют для сравнения МДЭ T_i.

2) Для различных длительностей импульса или интервалов между импульсами применяют метод полной длительности импульсов. МДЭ определяют полной длительности импульсов, которая является суммой длительностей всех импульсов за время экспозиции, или для T_2, в зависимости от того, какое из значений меньше. Импульсы длительностью менее T_i устанавливаются длительностью T_i. Если в пределах T_i проходят два или больше импульсов, эта группа импульса устанавливаются длительностью T_i. Для сравнения с МДЭ для определенной длительности суммируют все энергетические экспозиции отдельных импульсов.

А.4 Условия измерения

А.4.1 Общее

Для оценки фактической облученности применяют следующие условия измерений.

А.4.2 Ограничивающая апертура

Значения энергетической экспозиции или энергетической облученности, которые необходимо сравнить с соответствующими МДЭ, усредняют с помощью круглой апертурной диафрагмы, соответствующей размерам ограничивающих апертур, приведенных в таблице А.4. Для облученности глаза в диапазоне волн от 400 до 1400 нм используют минимальное расстояние 100 мм.

А.4.3 Угол приема

a) Фотохимические ограничения, относящиеся к сетчатке глаза

Для измерений источников и оценки предела фотохимической опасности сетчатки (400 до 600 нм), предельный угол приема γ_{ph} равен:

γ_{ph} =11 мрад для 10 с < $t \le$ 100 с;

$\gamma_{ph} = 1{,}1\ t^{0{,}5}$ мрад для 100 с < $t \le 10^4$ с;

γ_{ph} = 110 мрад для 10^4 с < $t \le 3 \times 10^4$ с.

Если угловой размер источника α больше, чем определенный предельный угол приема γ_{ph}, то значение угла приема не должно превышать значения, определенного для γ_{ph}. Если угловой размер источника α меньше, чем определенный предельный угол приема γ_{ph}, то угол приема должен полностью охватывать рассматриваемый источник, и его точного определения не требуется (т. е. его не нужно ограничивать до γ_{ph}).

Примечание — Для измерений одиночных малых источников, когда $\alpha < \gamma_{ph}$, нет необходимости точно определять угол приема. Чтобы получить точно определенный угол приема можно использовать изображение источника вне полевой диафрагмы или наложением источника на полевую диафрагму (см. рисунки 3 и 4 соответственно).

b) Все другие ограничения

При измерении излучения для сравнения с иными ограничениями, кроме фотохимической опасности, относящейся к сетчатке глаза, угол приема должен полностью охватывать источник (т. е. угол приема должен быть таким же, как угловой размер источника α). Однако при $\alpha > \alpha_{max}$ в диапазоне длин волн от 302,5 до 4000 нм ограничение угла приема не должно быть больше, чем α_{max} (0,1 рад) для пределов тепловой опасности. В пределах диапазона длин волн от 400 до 1400 нм для пределов тепловой опасности при оценке видимого источника, состоящего из множества точек, угол приема должен быть в диапазоне $\alpha_{min} \le \gamma \le \alpha_{max}$ [см. 8.4, перечисление d)].

Для определения МВЭ для некруглых источников излучения значение приемного угла ортогонального или линейного источника определяют как среднеарифметическое двух угловых размеров источника. Любой угловой размер, больший α_{max} или меньший α_{min}, должен быть ограничен перед вычислениями до α_{max} или α_{min} соответственно. Пределы фотохимической опасности сетчатки не зависят от углового размера источника, а источник измеряют с углом приема, как определено выше.

А.5 Лазеры с протяженным источником

Обычно стремятся нейтрализовать вредное воздействие МДЭ малых источников при наблюдении диффузных отражений и в некоторых случаях также лазерных матриц, линии излучения лазера, лазеров с пучком диаметром более 0,2 мм и расходящимся углом более 2 мрад или протяженных диффузных источников лазерной аппаратуры.

Для протяженных источников лазерного излучения (например, при наблюдении диффузного отражения) в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм МДЭ тепловой опасности для глаз увеличивают на поправочный коэффициент C_6 при условии, что угловой размер источника (измеряют в глазу наблюдателя), больше α_{min} (α_{min} = 1,5 мрад).

Поправочный коэффициент C_6 определяют следующим образом:

$$C_6 = 1 \quad \text{для } \alpha \le \alpha_{min};$$

$$C_6 = \alpha/\alpha_{min} \quad \text{для } \alpha_{min} < \alpha \le \alpha_{max};$$

$$C_6 = \alpha_{max}/\alpha_{min} \quad \text{для } \alpha > \alpha_{max}.$$

Приложение В
(справочное)

Примеры расчетов

В.1 Условные обозначения, используемые в формулах настоящего приложения:

Символ	Единица величины	Определение
a	м	Диаметр выходящего лазерного пучка
ПДЭ	Вт, Дж, $Вт·м^{-2}$ или $Дж·м^{-2}$	Предел доступной эмиссии
α	рад	Угловой размер видимого источника (или диффузное отражение), наблюдаемого из точки в пространстве
α_{min}	рад	Минимальный угол, стягиваемый источником, для которого применим критерий протяженного источника
C_1, $C_2,\ldots,C_7$	1	Поправочные коэффициенты (см. примечания в таблице 10)
PRF	ЧПИ	Частота повторения импульсов, Гц
H	$Дж·м^{-2}$	Энергетическая экспозиция
E	$Вт·м^{-2}$	Интенсивность излучения на определенном расстоянии r от видимого источника
H_0	$Дж·м^{-2}$	Энергетическая экспозиция на выходе пучка
E_0	$Вт·м^{-2}$	Интенсивность излучения для выходного пучка на нулевом расстоянии от видимого источника
λ	нм	Длина волны излучения лазера
N	1	Число импульсов за время экспозиции
P_0	Вт	Полная мощность излучения (поток излучения) непрерывного лазера или средняя мощность излучения импульсно-периодического лазера
P_p	Вт	Мощность излучения импульса импульсного лазера
φ	рад	Угол расхождения выходящего лазерного пучка
π	1	Численная константа 3,142
Q	Дж	Полная энергия излучения импульсного лазера
t	с	Длительность одиночного лазерного импульса
T	с	Общая длительность экспозиции серии импульсов
T_1, T_2	с	Контрольные точки времени (см. таблицу 10)

В.2 Классификация лазерной аппаратуры

Введение

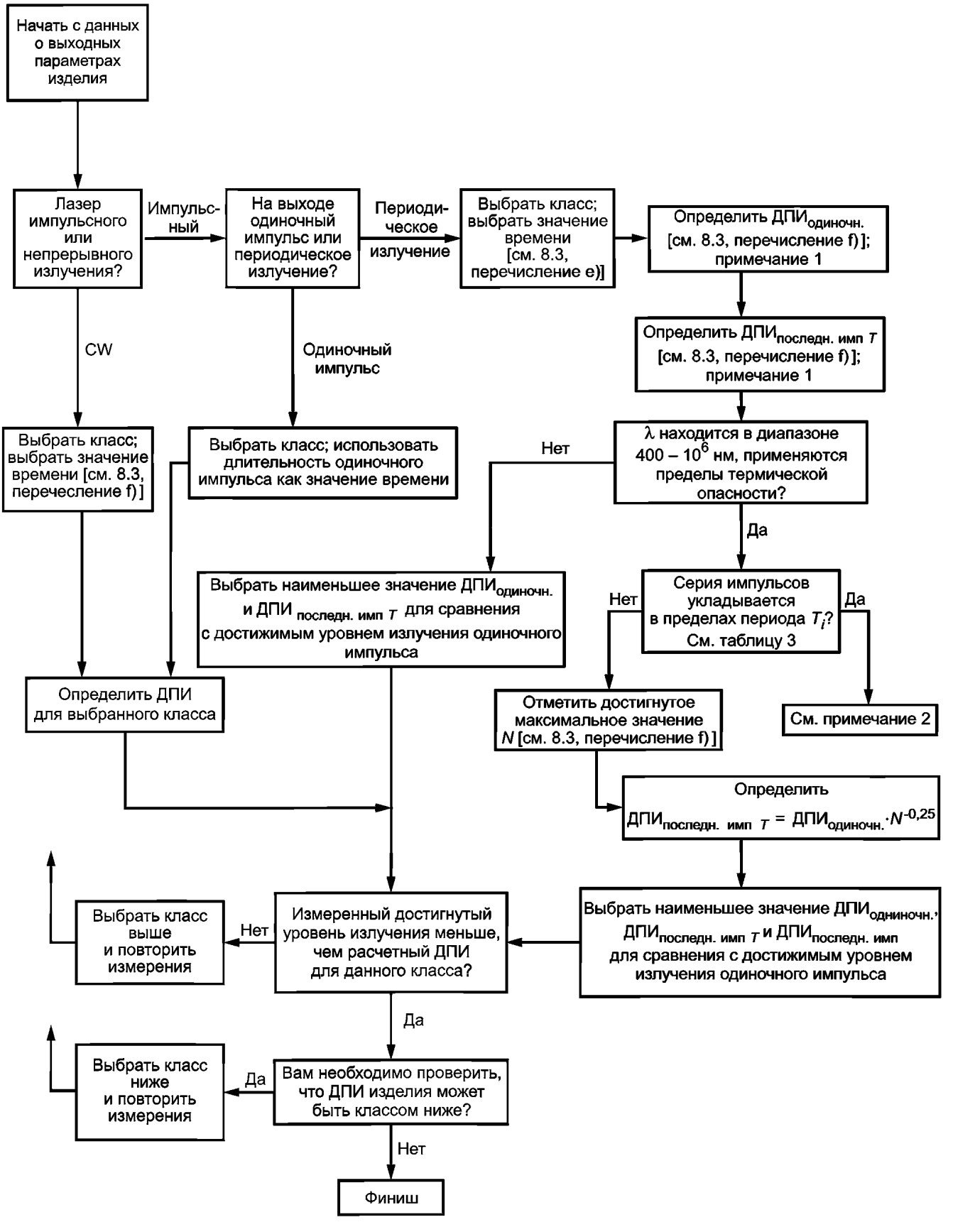
Примеры, представленные в данном приложении, иллюстрируют вычислительные процедуры для классификации лазерной аппаратуры, основываясь на измеряемых параметрах, получаемых при выполнении условий измерений, определенных в настоящем стандарте. Блок-схемы приведены в данном приложении для иллюстрации основных шагов, которые могут быть необходимы для вычислений и полной классификации лазерной аппаратуры, однако невозможно объединить лазеры в одну блок-схему.

Как определено в 8.2 и 8.3, обязанностью изготовителя или уполномоченного им лица является определение класса лазерной аппаратуры. Аппаратуру после изготовления следует классифицировать на основании такого сочетания выходной мощности (мощностей) и длины (длин) волны доступного лазерного излучения во всем диапазоне его возможностей при функционировании в любое время после изготовления, которое позволяет отнести аппаратура к самому высокому соответствующему классу. ПДЭ для классов 1 и 1М, 2 и 2М, 3R и 3В (перечисленные в порядке возрастания опасности) приведены в таблицах 4 — 9 соответственно.

Значения четырех используемых поправочных коэффициентов даны в примечаниях к таблице 10 в качестве функций длины волны, длительности эмиссии, числа импульсов и углового размера.

Если пользователь модифицирует лазерную аппаратуру так, что изменяется достижимое излучение, то он несет ответственность за обеспечение правильной классификации.

Правильная классификация лазерной аппаратуры может включать в себя вычисление ПДЭ для более чем одного класса из перечисленных в 8.3, чтобы обеспечить правильную классификацию, как показано на рисунках В.1 и В.2. Пример ПДЭ для класса 1 представлен на рисунках В.3 — В.5.



Примечание 1 — $ПДЭ_{одиночн.}$ определяют по длительности одиночного импульса. $ПДЭ_{одиночн.T}$ вычисляют из $ПДЭ_T$, определенного по выбранной временно́й базе. Если $ПДЭ_T$ выражен в Дж или Дж·м$^{-2}$, то $ПДЭ_{одиночн.T} = ПДЭ_T/N_T$ (в Дж или Дж·м$^{-2}$).

Если ПДЭ$_T$ выражен в Вт или Вт·м$^{-2}$, то ПДЭ$_{\text{одиночн.}T}$ = ПДЭ$_T$ / частоту повторения импульсов, в Гц (Дж или Дж·м$^{-2}$).

где T — выбранная временна́я база;

N_T — число импульсов за время T.

Примечание 2 — Если серия импульсов укладывается в пределах периода T_i, заменяют длительность одиночного импульса на T_i и вычисляют новое значение ПДЭ$_{\text{одиночн.}}$ Заменяют частоту повторения импульсов (ЧПИ, Гц) соответственно определенному максимальному значению N [см.8.3, перечисление f)]. Делят новое значение ПДЭ$_{\text{одиночн.}}$ на число исходных импульсов, содержащихся в периоде T_i перед заменой окончательного значения ПДЭ$_{\text{одиночн.}}$ в уравнении для ПДЭ$_{\text{одиночн. из серии}}$.

Рисунок В.1 — Справочная блок-схема для классификации лазерной аппаратуры по выдаваемым выходным характеристикам

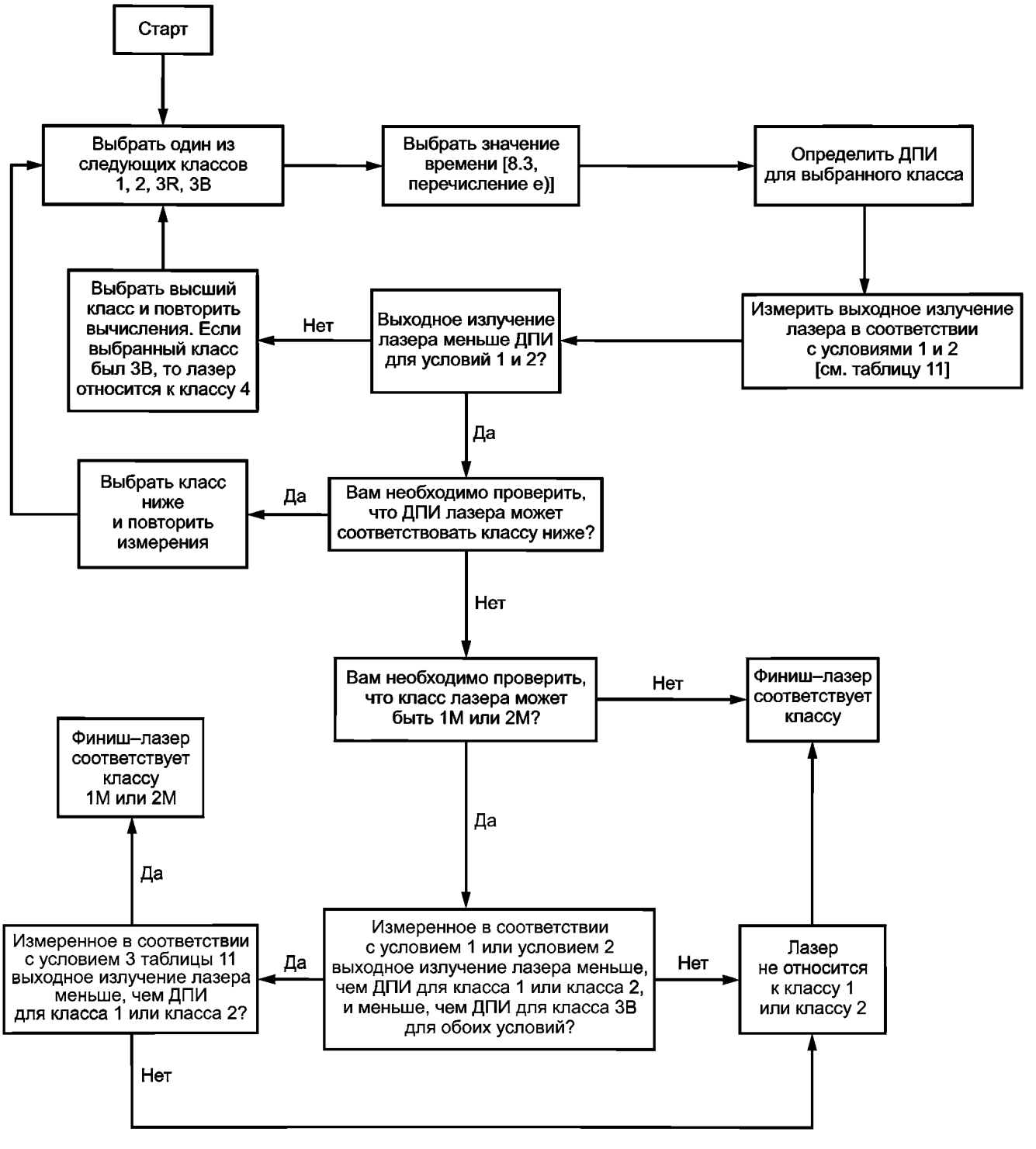


Рисунок B.2 — Справочная блок-схема для классификации лазерной аппаратуры классов 1M и 2M

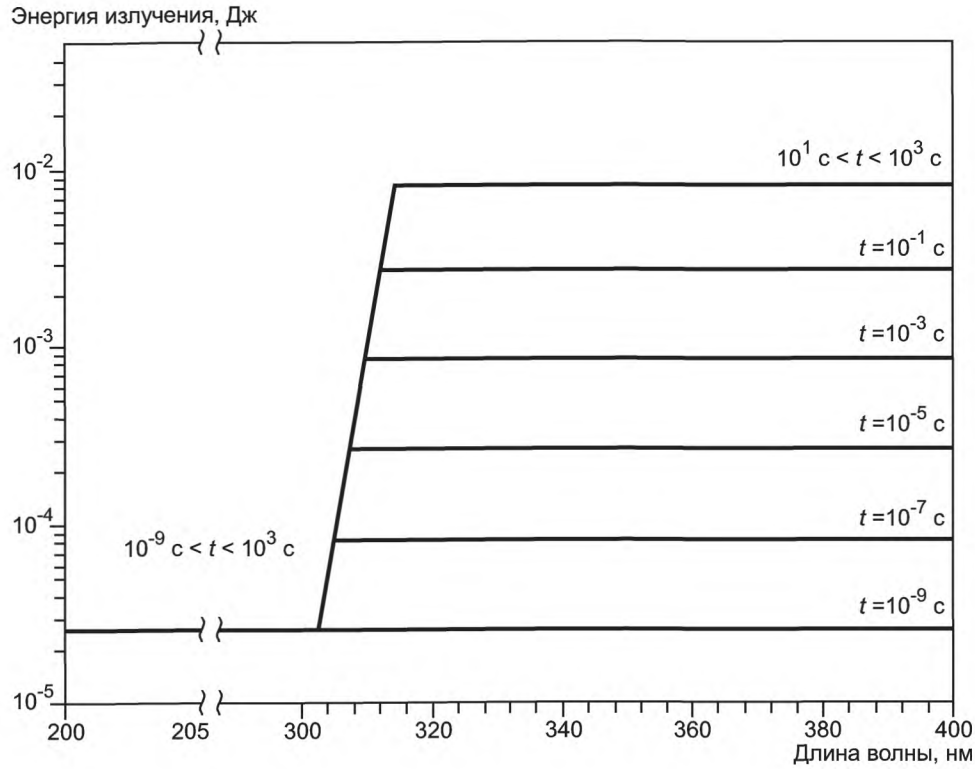


Рисунок В.3 — ПДЭ для ультрафиолетового лазера класса 1 для длительностей эмиссии от 10^{-9} до 10^{3} с.

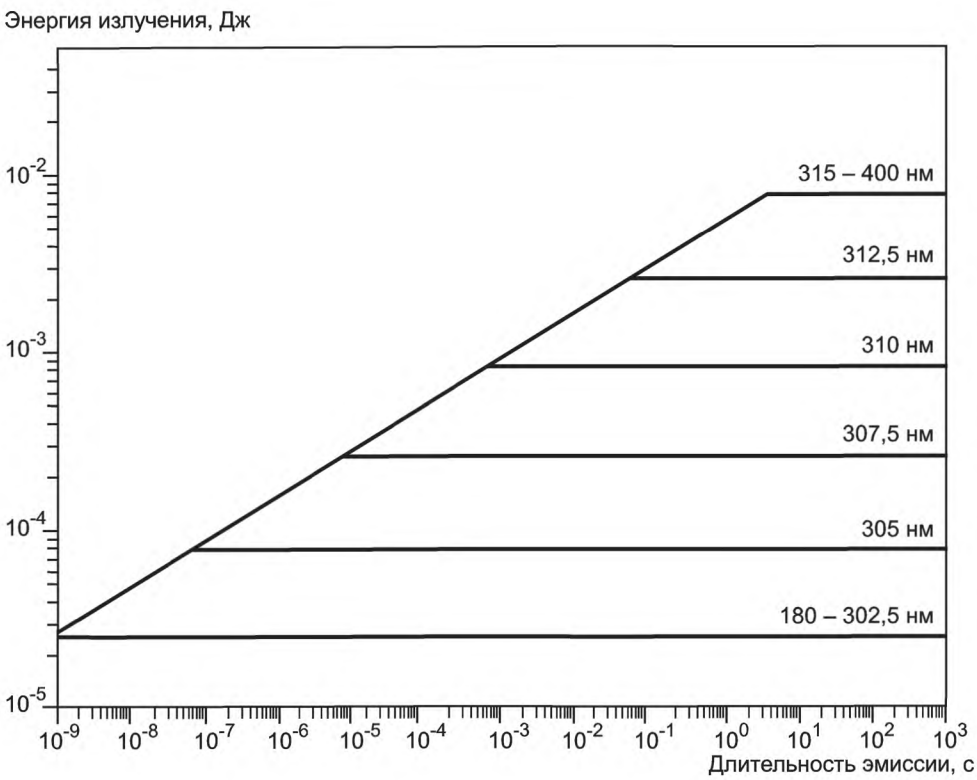


Рисунок В.4 — ПДЭ для излучающего ультрафиолетового лазера класса 1 с длительностью эмиссии от 10^{-9} до 10^{3} с для определенных длин волн

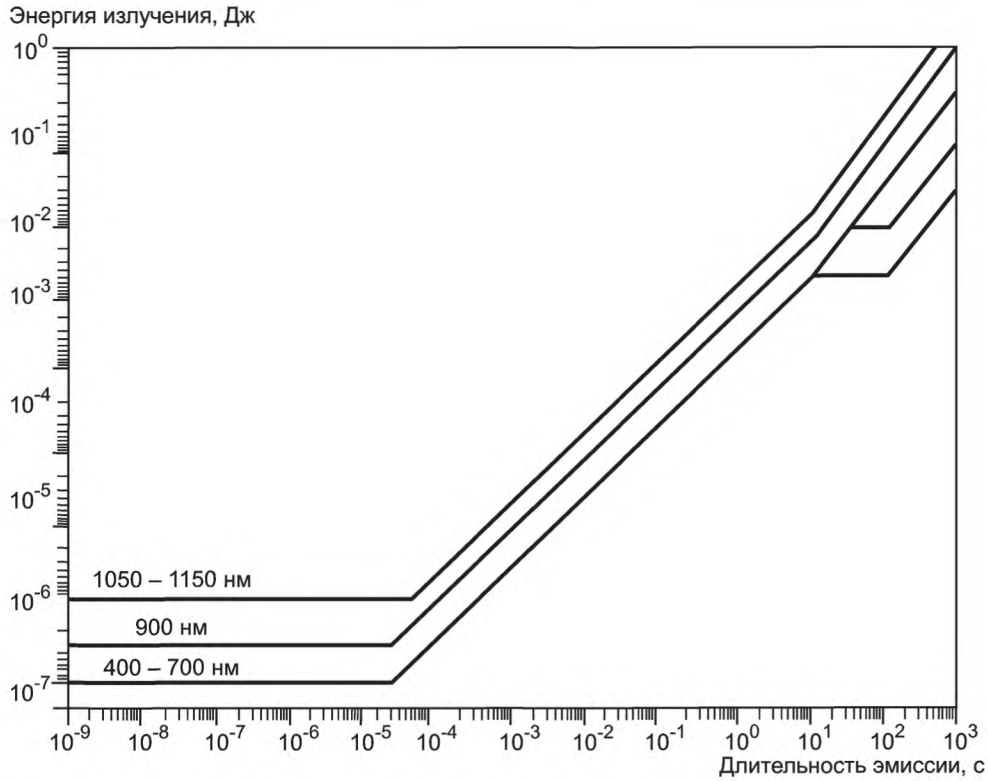


Рисунок В.5 — ПДЭ для лазера класса 1, излучающего в видимом спектре и в установленном инфракрасном диапазоне (для случая C_6 = 1).

В.3 Примеры

Пример В.3.1

Классифицировать непрерывный гелиево-неоновый лазер (λ = 633 нм) с выходной мощностью 50 мВт, диаметром пучка 3 мм и расходимостью пучка 1 мрад.

Решение

Из характеристик пучка ясно, что это хорошо коллимированный точечный источник, где $\alpha \leq \alpha_{min}$ = 1,5 мрад. Поскольку диаметр пучка и его расходимость малы, вся мощность пучка пройдет через апертуру диаметром 7 мм и отсюда при соблюдении условий измерений 1—3 получим уровень доступной эмиссии. Выбираем класс и соответствующую временну́ю базу [см. 8.3, перечисление е)].

Выбираем класс 3В и временну́ю базу 100 с, не смотря на то, что выходное излучение лазера находится в видимом диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, а временна́я база 0,25 с не относится к классу 3В и преднамеренное наблюдение маловероятно. Для класса 3В в таблице 9 находим, что

ПДЭ = 0,5 Вт.

При излучении 50 мВт ПДЭ для класса 3В не превышен, и лазер соответствует классу 3В. Однако конкретный лазер может не соответствовать требованиям более низкого класса, тогда в случае сомнений проверяют его соответствие более низкому классу.

Для класса 3R и временно́й базы 0,25 с можно использовать излучение в диапазоне волн от 400 до 700 нм, тогда ПДЭ = $5 \cdot 10^{-3}$ C_6 Вт (см. таблицу 7).

Из таблицы 10 C_6 = 1 для прямого наблюдения хорошо коллимированного пучка, т. е. $\alpha \leq$ 1,5 мрад, поэтому ПДЭ = 5 мВт.

Пока выходная мощность лазера равна 50 мВт, он превышает ПДЭ для класса 3R, но меньше, чем ПДЭ для класса 3В; поэтому лазер следует классифицировать как соответствующий классу 3В.

Пример В.3.2

Непрерывный лазер на светодиоде мощностью 12 мВт (λ = 900 нм) без коллимирующих линз имеет расходимость пучка 0,5 рад и имеет следующие параметры для измерений по условиям, указанным в таблице 11. Принимаем, что угловой размер α источника на расстоянии 100 мм менее чем α_{min}.

Условие 1: < 20 мкВт через апертурную диафрагму 50 мм и на расстоянии 2 м от диодного чипа.

Условие 2: 1,4 мВт через апертурную диафрагму 7 мм и на расстоянии 70 мм от диодного чипа.

Условие 3: 0,7 мВт через апертурную диафрагму 7 мм и на расстоянии 100 мм от диодного чипа.

Решение

Для такого расходящегося источника очевидно, что условие 2 будет более ограничивающим, чем условие 1.

Выбираем класс 1 и временну́ю базу 100 с [см. 8.3 перечисление e)]; поэтому, для лазера с $\alpha \leq 1{,}5$ мрад и $t > T_2$ [T_2 = 10 с для $\alpha \leq 1$,5 мрад (см. таблицу 10)] ПДЭ определяют по таблице 4 следующим образом:

$$\text{ПДЭ} = 3{,}9 \cdot 10^{-4}\ C_4\ C_7\ \text{Вт},$$

где из таблицы 10 $C_4 = 10^{0{,}002(\lambda - 700)} = 2{,}51$ и $C_7 = 1$, поэтому ПДЭ = 0,98 мВт.

Это меньше, чем эмиссия лазерного диода через апертуру диаметром 7 мм на расстоянии 70 мм от лазера, поэтому можно считать, что лазер превышает класс 1 при классификации по условию 2. Однако, когда мы сравниваем данные условия 3 с ПДЭ для класса 1, лазер соответствует требованиям для класса 1.

Пока лазер удовлетворяет требованиям для класса 1, классификация для условий 1 и 3, но не соответствует условию 2 для класса 1, без превышения ПДЭ для класса 3B он соответствует классу 1M.

Если пользователь подберет коллимирующие линзы для лазерного диода, лазер можно не классифицировать.

Пример B.3.3

Классифицировать неодимовый лазер, генерирующий одиночные импульсы с удвоением частоты излучения, со следующими выходными характеристиками и допущением, что лазер излучает на обеих длинах волн одновременно.

Энергия выходного импульса составляет 100 мДж для λ = 1, 060 нм.

Энергия выходного импульса составляет 25 мДж для λ = 530 нм.

Длительность импульса — 25 нс.

Диаметр апертуры на выходе — 5 мм.

Расходимость пучка на каждой длине волны < 1 мрад.

Решение

Предполагается, что лазер генерирует только один импульс за временну́ю базу 100 с, тогда длительность импульса можно использовать как длительность экспозиции. Выбираем лазер класса 3B. В таблице 9 установлен ПДЭ:

для λ = 1, 060 нм ПДЭ_{1060} = 0,15 Дж = 150 мДж;

для λ = 530 нм ПДЭ_{530} = 0,03 Дж = 30 мДж.

Эффект этих двух длин волн аддитивный, см. 8.3, перечисление b) и таблицу 2 для классификации лазерной аппаратуры с излучением на кратных длинах волн.

Подставляя в уравнение $\dfrac{Q_{1060}}{\text{ПДЭ}_{1060}} + \dfrac{Q_{530}}{\text{ПДЭ}_{530}} \leq 1$ значения,

получаем:

$$\frac{100}{150} + \frac{25}{30} = 1{,}5 \text{ мДж}.$$

При значении больше 1 классификация лазера должна быть выше. Таким образом лазер относится к классу 4.

Пример B.3.4

Классифицировать лазер на диоксиде углерода (λ = 10,6 мкм), используемый с открытым пучком в системе безопасности. Принимаем среднюю выходную мощность 0,4 Вт, диаметр пучка 2 мм и расходимость пучка 1 мрад.

Решение

Выбираем класс 3R и временну́ю базу 100 с; преднамеренное наблюдение не предполагается.

В таблице 7 ПДЭ для класса 3R равен 5000 Вт·м$^{-2}$. Заметим, что в таблице 11 дана ограничивающая апертура для 100 с излучения в 3,5 мм, но диаметр пучка лазера составляет только 2 мм. Для расчета облученности в пучке ($E_0 = P_0$ /площадь), используют действительный диаметр пучка или ограничивающую апертуру, выбирая наибольшее из двух значение, тогда

$$E_0 = \frac{P_0}{\text{площадь}} = \frac{4 \cdot 0{,}4}{\pi(3{,}5 \cdot 10^{-3})^2} = 4{,}16 \cdot 10^4 \text{ Вт·м}^{-2}.$$

Это выше ПДЭ для класса 3R. В таблице 9 ПДЭ для класса 3B равен 0,5 Вт, поэтому этот лазер классифицируется как класс 3B.

Пример B.3.5

Классифицировать лазер, излучающий импульсы длительностью 1мкс с частотой повторения 500 Гц, пиковой выходной мощностью 10 кВт и λ = 694 нм, диаметром пучка, равным 5 мм, расходимостью пучка 0,5 мрад.

В перечислении f) 8.3 подробно изложены условия измерений для импульсно-периодических лазеров, которые приведены ниже.

ПДЭ для длин волн от 400 до 10^6 нм определены с использованием ограничивающих требований перечислений a), b) и c) более чем предназначено. Для остальных длин волн ПДЭ определен с использованием более ограничивающих требований перечислений a) и b). Требование перечисления c) применяют только для тепловых ограничений и не применяют для фотохимических ограничений.

Выбираем класс 3B и временну́ю базу 100 с. Проверяем, что серия импульсов может пройти за период T_i, как дано в таблице 3. Для этого лазера длина волны $T_i = 18 \cdot 10^{-6}$ с и время между импульсами составляет 1/ЧПИ = $2 \cdot 10^{-3}$ с, пока последовательность импульсов не проходит за период T_i. Следующая процедура по перечислению f) 8.3:

a) Излучение одиночного импульса. В таблице 9 для $t = 10^{-6}$ с

$$\text{ПДЭ}_{\text{одиночн.}} = 0{,}03 \text{ Дж};$$

b) В таблице 9 для $T = 100$ с $\text{ПДЭ}_T = 0{,}5$ Вт.

Деление на частоту следования импульсов дает эквивалентную энергию ПДЭ импульса, поэтому

$$\text{ПДЭ}_{\text{послед. имп } T} = \frac{\text{ПДЭ}_T}{\text{ЧПИ}} = \frac{0{,}5}{500} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Дж};$$

c) $\text{ПДЭ}_{\text{одиночн. из серии}} = \text{ПДЭ}_{\text{одиночн.}} \cdot C_5 = \text{ПДЭ}_{\text{одиночн.}} \cdot N^{-0{,}25}$, но N ограничено числом импульсов, проходящих за период $T_2 = 10$ с для $\alpha \le \alpha_{\min}$ (см. таблицу 10).Поэтому:

$$\text{ПДЭ}_{\text{одиночн. из серии}} = 0{,}03 \cdot (10 \cdot 500)^{-0{,}25} \text{ Дж},$$

$$\text{ПДЭ}_{\text{одиночн. из серии}} = 3{,}57 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

Наибольшее ограничение для трех значений составляет

$$\text{ПДЭ}_{\text{одиночн. } T} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

Энергию лазера за импульс, Q, вычисляют по формуле:

Q = (пиковая мощность) × (длительность импульса),

$$Q = 10^4 \cdot 10^{-6} = 0{,}01 \text{ Дж}.$$

Доступная эмиссия за импульс превышает $\text{ПДЭ}_{\text{одиночн. } T}$, лазер превышает ПДЭ для класса 3B, поэтому он должен быть отнесен к классу 4.

Приложение С
(справочное)

Описание классов и соответствующих потенциальных опасностей

С.0 Общие положения

Данное приложение содержит описание классов, которым соответствуют потенциальные опасности.

Приложение предлагается как руководство для изготовителей в их задачах описания опасностей, связанных с их продукцией. Данное приложение также устанавливает ограничения на схемы классификации, так как объединить лазеры в одну группу, к которой применимы общие нормы безопасности, невозможно.

С.1 Введение

Классификация развивалась так, чтобы исключить опасности для пользователей лазерной аппаратуры и определить необходимые меры контроля. Классификация лазеров относит к потенциальным опасностям возможное излучение лазера и соответствующее повреждение кожи и глаз и не относится к другим потенциальным опасностям, таким как электрические, механические или химические или опасности от вторичного оптического излучения. Основой классификации является повышение риска поражения с повышением мощности, превышающей базис-класс 1, и более точное описание риска от потенциального облучения на малых расстояниях от лазера. Опасная зона может сильно отличаться для разных лазеров одного класса. Потенциальная опасность может быть значительно снижена за счет применения пользователем дополнительных защитных мер, включая средства дополнительного технического контроля, такого как ограждения.

С.2 Описание классов

Класс 1

Лазерная аппаратура, которая безопасна при любых обоснованно предсказуемых условиях работы, включая длительное прямое наблюдение в пучке, даже в тех случаях, когда экспозиция происходит через оптические устройства наблюдения, такие, как лупа или бинокль. К классу 1 также относятся лазеры большой мощности, полностью закрытые так, что исключаются потенциальные опасности излучения при длительном использовании (встроенная лазерная аппаратура). Наблюдение в пучке лазера класса 1, который излучает энергию в видимом диапазоне, может вызвать эффект потери или притупления зрения при низкой освещенности внешней среды.

Класс 1М

Лазерная аппаратура, которая безопасна, включая длительное прямое наблюдение в пучке, даже в тех случаях, когда экспозиция происходит через оптические устройства наблюдения, такие, как лупа или бинокль. МДЭ может быть превышен, облучение может вызвать повреждение глаз с одним или несколькими оптическими приборами (глазные лупы или бинокли) при следующих условиях:

a) для расходящегося пучка, если пользователь располагает оптические компоненты в пределах 100 мм от источника сфокусированного (коллимированного) пучка или

b) для коллимированного пучка с диаметром больше, чем диаметр, указанный для условия 3 (см. таблицу 11).

Диапазон волн для лазеров класса 1М ограничен спектральным диапазоном, где чаще всего стеклянные оптические материалы, используемые в оптических приборах, могут значительно усилить передачу, т. е. между 302,5 и 4, 000 нм. Наблюдение в пучке лазера класса 1М, который излучает энергию в видимом диапазоне, может вызвать эффект потери или притупления зрения при низкой освещенности внешней среды.

Класс 2

Лазеры, испускающие видимое излучение в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, безопасны при мгновенном облучении, но могут быть опасны при непосредственном облучении пучком широко открытых глаз. Временна́я база 0,25 с, принята при определении класса и минимального риска повреждения при мгновенном облучении.

Следующие факторы способствуют предотвращению повреждений при обоснованно прогнозируемых условиях:

- непреднамеренное облучение возможно изредка при неблагоприятных условиях, например при нахождении на одной линии пучка и зрачка при закрепленной голове, и является наихудшим случаем;
- обязательное поле безопасности при МДЭ, превышающей ПДЭ;
- желательно предотвращать при облучении яркий свет.

Для класса 2, в противоположность классу 2М, использование оптических приборов не повышает риск повреждения глаз.

Однако лазерная аппаратура класса 2 может вызвать длительное или кратковременное ослепление, появление остаточного изображения источника, особенно в условиях низкой окружающей освещенности. Это может иметь косвенные опасные последствия, возникающие в результате временного нарушения зрения или испуга. С такими нарушениями зрения могут, в частности, быть связаны опасные ситуации при выполнении некоторых критических операций, таких как работа с механизмами или работа на высоте, работа с высоким напряжением или вождение.

При помощи маркировки пользователям дается указание не смотреть в пучок, т. е. применять активные предупреждающие реакции, отворачиваясь или закрывая глаза и избегая продолжительного преднамеренного наблюдение в пучке.

Класс 2M

Лазеры, испускающие видимое излучение и безопасные для короткого времени экспозиции только для открытого (невооруженного глаза). Повреждение глаза может быть связано с облучением одним или несколькими оптическими приборами (глазные лупы или бинокли) при следующих условиях:

a) для расходящегося пучка, если пользователь располагает оптические компоненты в пределах 100 мм от источника сфокусированного (коллимированного) пучка, или

b) для коллимированного пучка диаметром более чем диаметр, указанный для условия 3 (см. таблицу 11).

Однако лазерная аппаратура класса 2M может вызвать длительное или кратковременное ослепление, появление остаточного изображения источника, особенно в условиях низкой окружающей освещенности. Это может иметь косвенные опасные последствия, возникающие в результате временного нарушения зрения или испуга. С такими нарушениями зрения могут, в частности, быть связаны опасные ситуации при выполнении некоторых критических операций, таких как работа с механизмами или работа на высоте, работа с высоким напряжением или вождение.

При помощи маркировки пользователям дается указание не смотреть в пучок, т. е. применять активные предупреждающие реакции, отворачиваясь или закрывая глаза и избегая продолжительного преднамеренного наблюдение в пучке.

Класс 3R

Лазеры, излучение которых может превысить МДЭ при прямом наблюдении в пучке, однако риск повреждения в большинстве случаев ниже, поскольку ПДЭ для лазеров класса 3R только в пять раз выше, чем ПДЭ для лазеров класса 2 (в видимом диапазоне) или ПДЭ для лазеров класса 1 для других длин волн. Риск повреждения повышается пропорционально длительности экспозиции, и облучение опаснее при преднамеренном облучении глаз. Поскольку риск незначителен, некоторые изготовители применяют требования и меры контроля, применяемые пользователем по сравнению с теми, которые применяют к классу 3B.

Следующие факторы способствуют предотвращению повреждений при корректно предсказуемых условиях:

- непреднамеренное облучение может изредка при неблагоприятных условиях, например при нахождении на одной линии пучка и зрачка;
- обязательное поле безопасности при МДЭ;
- обычно не представляющий риска облучения яркий свет в случае видимого излучения из-за реакции на нагрев роговой оболочки от инфракрасного излучения.

Однако лазерная аппаратура класса 3R может вызвать длительное или кратковременное ослепление, появление остаточного изображения источника, особенно в условиях низкой окружающей освещенности. Это может иметь косвенные опасные последствия, возникающие в результате временного нарушения зрения или испуга. С такими нарушениями зрения могут, в частности, быть связаны опасные ситуации при выполнении некоторых критических операций, таких как работа с механизмами или работа на высоте, работа с высоким напряжением или вождение.

Лазеры класса 3R должны использоваться только в тех случаях, когда прямое наблюдение в пучке маловероятно.

Класс 3B

Лазеры, непосредственное наблюдение пучка которых вызывает облучение (например, в пределах НОГЗ), включая кратковременное облучение. Наблюдение диффузного отражения не опасно. Лазеры класса 3B, излучение которых приближается к ПДЭ для класса 3B, могут вызвать незначительное поражение кожи и даже вызвать воспламенение пожароопасных материалов. Однако это вероятно в том случае, если пучок малого диаметра или сфокусирован.

Примечание — Существуют теоретические (но маловероятные) условия наблюдения, когда наблюдаемое диффузное отражение может превысить МДЭ. Например, для лазеров класса 3B мощность приблизится к ПДЭ при длительности наблюдения диффузных отражений видимого излучения не менее 10 с и наблюдении с расстояния менее 13 см между диффузной поверхностью и роговицей глаза.

Класс 4

Лазерная аппаратура, которая может представлять собой опасность при наблюдении в пучке и экспозиции кожи или наблюдении диффузного отражения. Кроме того, эти лазеры часто представляют опасность возникновения пожара.

Замечание по номенклатуре

«М» в классах 1М и 2М дополняется от оптических приборов наблюдения. «R» в классе 3R дополняется от снижения или ослабления требований: снижение требований для изготовителя и пользователя (т. е. отсутствие требований по клавишным переключателям, блокираторам пучка или аттенюаторам и соединителям блокировки).

Необходимо отметить, что для вышеуказанных описаний, всякий раз слово «опасность» используется или имеется ссылка на увеличение риска поражения, эта опасность и риск существуют только в пределах площади вокруг лазера, где соответствующий уровень МДЭ превышен. При облучении незащищенного глаза эта площадь ограничивается НОГР или для хорошо коллимированных пучков лазеров классов 1М и 2М видимым в бинокли или телескопы на протяжении НОГР. Может быть, что некоторые лазеры (класса 3В или класса 4) имеют очень маленькое НОГР, так что для специальной установки или приложения для наружной части НОГР защита глаз не является необходимой. Примерами таких установок являются сканирующие лазеры или линейные лазеры, поднятые до потолка производственного помещения, которые делают по образцу или по линии обработки заготовок в производственном помещении. Пока уровень мощности такой, что излучение на производственной площадке ниже МДЭ, и поэтому является безопасным, техническое и сервисное обслуживание измерительной аппаратуры требует специального обсуждения. Например, облучение на отгороженном расстоянии может быть опасным для случая, когда пользователь находится на лестнице и моет окно. Другой пример: растровое изображение безопасно, опасность может возникнуть, если пучок возвращается назад к несканирующему состоянию. Например, для лазеров Класса 4 существует НОГР, связанное с диффузными отражениями (хотя это НОГР может быть полностью ограничено в пространстве). Характеристики, связанные с лазерной опасностью, и приложения являются частью снижения риска.

Классификационные испытания определяют или «наихудший случай», или «нижний класс» (т. е. класс 1) и ограничивают применение лазеров так, что нет опасности для глаз или кожи даже при обоснованно прогнозируемых событиях. Поэтому лазеры класса 3В или класса 4 могут оформляться таким образом, что их обычное использование и функционирование безопасны, а опасность может стать возможной в наихудшем случае. Для случая, когда лазер имеет защитный кожух (который соответствует IEC 60825-4), но не достигает уровня класса 1:

- корпус не соответствует требованиям настоящего стандарта на длительный период (меняется для машин в соответствии с МЭК 60825-4 и на небольшое время может быть использован);
- не полностью обеспечивается безопасность для окружающей среды, где может быть человек;
- не обеспечивается автоматическая проверка при прохождении людей в огражденную зону. (Однако в контролируемой окружающей среде это возможно заменить на организационные меры безопасности, индивидуальные ключи, которые предотвращают открывание дверей, когда кто-либо находится позади кожуха, который не влияет на классификацию, но является процедурой, которая увеличивает уровень безопасности пользователя).

В случаях, когда опасность связана с лазерами классов 3В и 4, организационные меры безопасности вблизи кожуха могут быть достаточными. Обычно для лазерных систем, не оборудованных крышей или в ситуациях, когда возможно прогорание защиты насквозь после продолжительной неисправности, могут оказаться достаточными организационные меры.

Существуют другие примеры для лазеров классов 3В и 4, возникающие только в специфических ситуациях. Например, сравним ситуацию, в которой классификация основана на принадлежностях, таких как коллимирующие линзы, применяемые к сильно расходящимся источникам низкого уровня для лазерной терапии. Такой лазер можно классифицировать как класс 3В, основываясь на том, что принадлежащие линзы нормально закреплены и через них проходит потенциально опасный коллимированный пучок. Однако использование лазера без нормального крепления линз, результатом чего может быть расхождение пучка, также может быть безопасным (некоторое облучение глаз может быть ниже МДЭ). Поэтому опасная площадь может быть только вокруг лазера, когда коллимирующие линзы нормально закреплены.

С.3 Ограничения схемы классификации

Хотя испытания для классификации имеют много путей для ограничения худших случаев, существуют ограничения, которые могут исключить опасность, связанную с рассматриваемыми классами. Классификация основана на трех подходах:

a) ПДЭ различных классов;

b) требования к измерениям на больших расстояниях измерения, диаметр апертуры и угол приема, отражающие излучения. Эти требования к измерениям для имеющейся лазерной аппаратуры определяются доступной эмиссией, которую сравнивают с ПДЭ при определении класса;

c) условия испытаний, в соответствии с которыми определяют ПДЭ и доступную эмиссию. При этом принимают во внимание обоснованно прогнозируемые условия единичных неисправностей. Также необходимо разделить условия функционирования, технического и сервисного обслуживания. Следует рассмотреть использование дополнительных принадлежностей и различных конфигураций аппаратуры, которые могут быть выполнены без использования инструментов.

Каждый из этих компонентов содержит допущения, связанные с обоснованно допустимыми случаями, а при несоответствии опасность при использовании более низкого класса возрастает. Например, ПДЭ для классов 1 и 1М для большого времени излучения основывается на движении глаз. Однако, если увеличить облучение глаз в соответствии с длительностью медицинских процедур, тогда для класса 1 лазерная эмиссия может вести к потенциально опасным последствиям. Также требования измерения базируются на предположениях и оценках вероятности последствий с некоторыми типами оптических приборов. Например, коллимированный пучок большого диаметра, перехваченный большим телескопом мог бы быть опасен даже для лазера класса 1. Однако вероятность таких случайных последствий обычно очень мала из-за маленького поля обзора телескопа. Другая ситуация, которую учитывают, состоит в том, что аппаратура помещена в условия, которые необязательно рассматривают для классификации, но от которого опасное излучение возможно. Например, даже при том, что это не обеспечено изготовителем, расходящийся пучок от лазера класса 1М или класса 2М может быть преобразован в коллимированный пучок, потенциально опасный на большом расстоянии из-за коллимирующей линзы, прилагаемой к аппаратуре. Это можно рассматривать как изменение аппаратуры, и лицо, выполняющее это изменение, должно изменить класс аппаратуры.

Изготовитель должен знать об ограничениях, чтобы было возможно включить предупреждения в руководство пользователя для аппаратуры. Определенные примеры таких потенциальных ограничений даны ниже (эти ограничения возможны, т. к. их введение зависит от типа аппаратуры):

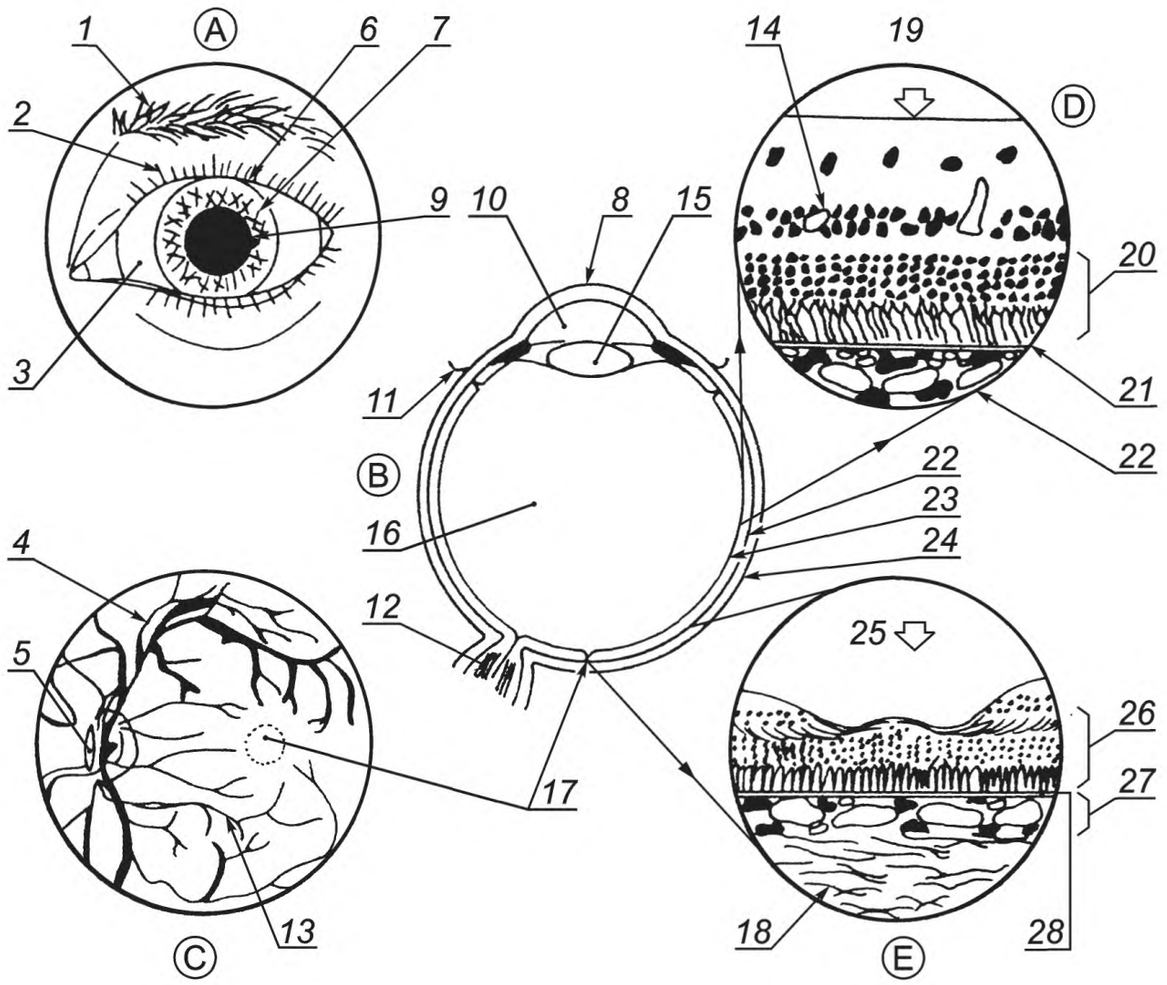
- большой диаметр коллимированного пучка лазеров классов 1, 2 или класса 3R, который наблюдают в большие телескопы;
- сильно расходящийся пучок лазеров классов 1, 2 или класса 3R, который наблюдают с лупами с большим усилением;
- бинокль или телескопы с усилением меньше, чем $7^{\times}$. В этом случае для условия 1 усиление источника с углом α, который может быть применен [см. 8.3 c)], или, альтернативно, уменьшение угла приема [см. 9.3.2 b)] должно соответствовать реальному фактору усиления, меньше, чем $7^{\times}$;
- наблюдение пучков с телескопами;
- условий двойной неисправности, которые могут быть вероятны, т. е. каждое условие неисправности в отдельности не должно дать доступную эмиссию выше ПДЭ, но оба условия неисправности, произошедшие одновременно — могут. Когда эти условия неисправности, как ожидается, произойдут с относительно высокой вероятностью, тогда вероятность для двойной неисправности могла бы быть достаточно высока, и это необходимо рассмотреть в процессе проектирования.

Приложение D
(справочное)

Медицинские аспекты

D.1 Анатомия глаза

На рисунке D.1 показаны анатомические части строения человеческого глаза



1 — бровь; *2* — ресница; *3*, *18*, *24* — склера; *4* — вена сетчатки; *5* — оптический диск; *6* — веко; *7* — радужная оболочка; *8* — роговая оболочка (стекловидная передняя поверхность глаза); *9* — зрачок; *10* — водянистое тело; *11* — конъюктива; *12* — выход оптического нерва; *13* — артерия сетчатки; *14* — кровеносные сосуды; *15* — хрусталик; *16* — стекловидное тело; *17* — фовеа; *18* — склера; *19*, *25* — свет; *20* — рецепторные клетки (палочки и колбочки); *21*, *28* — эпителий пигмента; *22*, *27*— сосудистая оболочка; *26* — рецепторные клетки (колбочки)

Рисунок D.1 — Анатомия глаза

На рисунке D.1 (область А) показана диаграмма внешнего вида левого глаза. Края век ограничивают область видения глаза (FOV) до формы миндаля. Основные части передней поверхности глаза на схеме снабжены надписями и указаны пунктирными линиями и стрелками.

В области В показана схема горизонтального сечения левого глаза. Глаз разделен на две части: переднюю камеру, которая ограничена роговой оболочкой, радужной оболочкой и хрусталиком, и заднюю камеру, которая ограничена сетчаткой и содержит желеобразное стекловидное вещество.

В области С показана внутренняя полость неповрежденного глаза, видимая через офтальмоскоп. Этот прибор направляет пучок света через зрачок и освещает внутреннюю полость глаза, позволяя видеть глазное дно. Оно имеет красноватый оттенок, однако хорошо видны главные сосуды сетчатки. Другими важными частями являются беловатый оптический диск и центральная ямка. Центральная ямка представляет собой небольшое углубление в сетчатке, которое может быть более интенсивно окрашено, чем окружающая сетчатка; она является областью наиболее острого зрения.

В области D показана структура сетчатки в разрезе (см. рисунок D.1, область В), увеличенная по сравнению с натуральной величиной в несколько сотен раз. Сетчатка состоит из ряда слоев нервных клеток, а также фоточувствительных клеток: палочек и колбочек, т. е. свет, падающий на поверхность сетчатки, проходит через слои нервных клеток, а затем достигает фоточувствительных клеток. Под слоем палочек и колбочек находится слой, который называется пигментным эпителием и содержит коричневато-черный пигмент — меланин; ниже находится слой с тонкими кровеносными сосудами хориокапиллярами.

Конечным поглощающим слоем является хороид, который содержит как пигментные клетки, так и кровеносные сосуды.

В области Е показана структура области центральной ямки, увеличенная в несколько сот раз. В ней представлены только колбочки. Нервные клетки расположены радиально в этой области наиболее острого зрения. Пигмент пятна, наиболее сильно поглощающий излучение в диапазоне от 400 до 500 нм, расположен в волоконном слое Хенла.

D.2 Влияние лазерного излучения на биологическую ткань

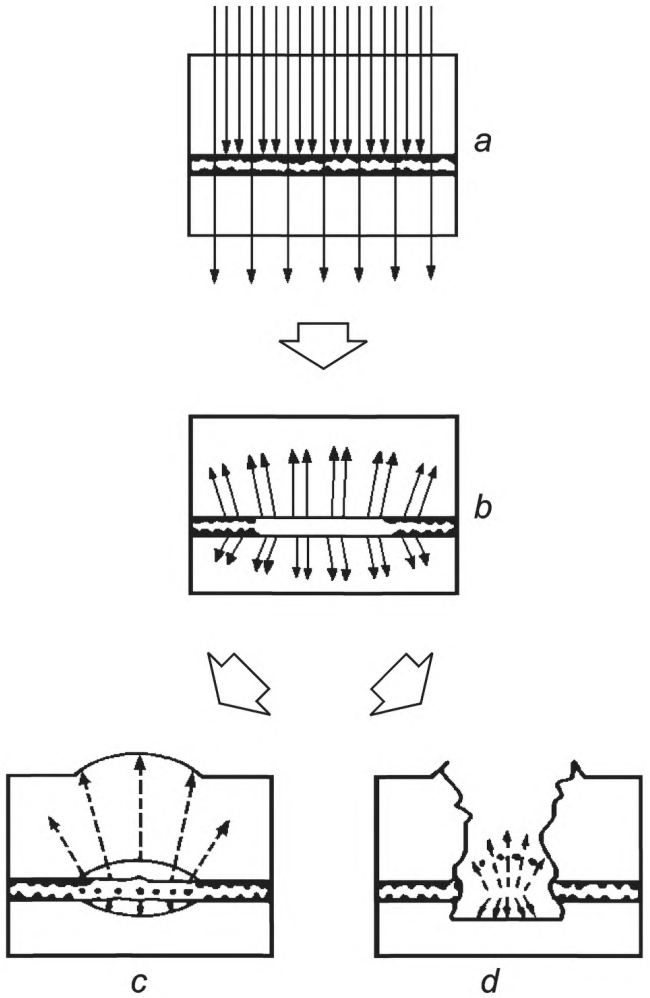
D.2.1 Общие положения

Механизм повреждения лазерным излучением аналогичен для всех биологических систем и может включать тепловые воздействия, термоакустические переходные процессы, фотохимические процессы и нелинейные эффекты. Степень участия каждого из этих воздействий в повреждении ткани может быть связана с определенными физическими параметрами источника облучения, наиболее важными из которых являются длина волны, длительность импульса, размер изображения, энергетическая освещенность и энергетическая экспозиция.

При экспозициях, выше пороговых, доминирующее воздействие связано с длительностью импульса облучения. Так при увеличении длительности импульса основными эффектами при следующих длительностях воздействия являются:

- акустические переходные процессы и нелинейные эффекты при наносекундных и субнаносекундных облучениях;
- тепловые эффекты от 1 мс до нескольких секунд и
- фотохимические эффекты при длительностях свыше 10 с.

Лазерное излучение отличается от большинства других известных видов излучения коллимированностью пучка. Этот фактор совместно с высокой начальной энергией приводит к передаче тканям большого количества энергии. Основным моментом при повреждении лазерным излучением любого типа является поглощение излучения биологической структурой. Поглощение происходит на атомарном или молекулярном уровне и зависит от длины волны. Таким образом, длина волны определяет, какая ткань может быть повреждена от излучения конкретного лазера.



a — лазерная энергия поглощается биологической структурой; *b* — поглощенная энергия создает тепло, которое распространяется в окружающие ткани; *c* — при воздействии непрерывных лазеров или лазеров с длинными импульсами сохранение теплового фронта постепенно увеличивает область поражения; *d* — при воздействии лазеров с короткими импульсами высокая плотность мощности создает взрывное разрушение клеток и повреждение в результате физического смещения

Рисунок D.2 — Схема повреждения биологических структур лазером

Тепловые эффекты

Если структура поглотила достаточное количество энергии излучения, то колебания составляющих ее молекул увеличиваются, а это означает увеличение количества тепла. Повреждения от лазерного излучения в большинстве случаев связаны с нагревом поглощающей ткани(ей). Обычно такое термическое повреждение имеет ограниченную площадь, расположенную по сторонам участка поглощения лазерной энергии с центром в месте падения пучка. Клетки в пределах этой области имеют признаки ожога, и повреждение ткани связано, главным образом, с разрушением протеина. Как показано выше, действие вторичных механизмов повреждения при воздействии лазерного излучения может быть связано со временем реакции нагрева ткани, т. е. непосредственно связано с длительностью импульса лазера (см. рисунок D.2) и временем поглощения тепла. Термохимические реакции происходят и во время нагревания, и во время охлаждения и определяют зависимость размера пятна от теплового поражения. Если на ткань направлен непрерывный лазер или лазер с длинными импульсами, то вследствие проводимости площадь структуры, испытывающей воздействие повышенной температуры, постепенно увеличивается. Такой распространяющийся тепловой фронт создает возрастающую зону повреждения, так как все большее число клеток нагревается выше теплового предела. Размер изображения пучка также имеет большое значение, поскольку степень периферийного распространения вследствие проводимости является функцией размера, а также температуры начальной области нагрева ткани. Такой тип теплового повреждения обычно связан с воздействием непрерывных лазеров, лазеров с длинными импульсами, но также возможен и от лазеров с короткими импульсами. Для облучаемых поверхностей с размером пятна порядка 1 — 2 мм или менее радиальнорасходящийся поток тепла ведет к зависимости повреждения от размеров пятна.

Фотохимические эффекты

С другой стороны, степень повреждений может быть обусловлена поглощением света молекулами. Этот процесс вызывается поглощением света с определенной энергией. Однако помимо освобождения энергии вещество также подвергается воздействию химической реакции, присущей этому состоянию. Эта фотохимическая реакции способна нанести повреждение и при низких уровнях воздействия. В этом процессе некоторые биологические ткани, такие как кожа, хрусталик глаза и в особенности сетчатка, могут показать необратимые изменения, вызванные длительным воздействием облучения ультрафиолетом и светом коротких длин волн. Такие фотохимические изменения могут привести к повреждению структуры, если длительность облучения чрезмерна или если кратковременные облучения повторяются в течение длительного времени. Отдельные фотохимические реакции, вызываемые лазерным облучением, могут носить патологический или преувеличенный характер. Фотохимические реакции в общем следуют закону Бунзена и Роско и при продолжительности не более чем от 1 до 3 ч (играют роль соответствующие механизмы) началом является энергетическая экспозиция в постоянном или широком диапазоне по длительности экспозиции. Зависимости размера пятна, как происходит в случаях с тепловыми эффектами при тепловой диффузии, не существует.

Нелинейные эффекты

Лазеры с короткими импульсами, характеризующиеся высокой пиковой мощностью (например, с модулированной добротностью или с синхронизацией мод), могут вызывать повреждение ткани при различных комбинациях механизмов передачи энергии. Энергия воздействует на биологическую мишень в течение очень короткого времени, и поэтому создается высокая облученность. Ткани мишени нагреваются так быстро, что жидкие компоненты клеток преобразуются в газ. В большинстве случаев эти фазовые изменения происходят так быстро и имеют такой взрывной характер, что клетки разрываются. Возникшие перепады давления создают вокруг ожогового центра круглую зону разрыва. Подобные перепады давления могут создаваться тепловым расширением и приводить к травмам тканей, удаленных от поглощающих слоев, в результате объемного физического смещения. При облучении с субнаносекундной длительностью приблизительно от 10 пс до 1 нс вследствие самофокусировки глаз в них концентрируется энергия коллимированного пучка лазера, что приводит к понижению порога безопасной экспозиции. Также проявляются другие нелинейные оптические механизмы, которые играют роль в повреждении сетчатки глаза в субнаносекундном диапазоне.

Все вышеописанные механизмы повреждения воздействуют на сетчатку, влияют на точки прерывания программы или изменяют значение уровней безопасной экспозиции, приводимых в настоящем стандарте.

D.2.2 Опасность повреждения глаза

Краткое описание анатомии глаза дано в B.1 (см. приложение B). Глаз специально приспособлен для приема и преобразования оптического излучения. Поглощающее свойство глаза по отношению к излучению с различными длинами волн показано на рисунке B.2 (см. приложение B). Патологические изменения, вызываемые чрезмерным облучением, приведены в таблице D.1. Механизмы термического влияния показаны на рисунке D.2. Лазеры, излучающие в ультрафиолетовом и дальнем инфракрасном диапазоне, представляют опасность для роговой оболочки глаза, а системы, излучающие в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, могут воздействовать на сетчатку.

Лазеры видимого и ближнего инфракрасного диапазонов особенно опасны для глаза, поскольку глаз в силу своих свойств является эффективным преобразователем света, в результате чего ткани с сильной пигментацией подвергаются энергетической экспозиции высокого уровня. Возрастание облученности от роговой оболочки сетчатки к внутренним частям глаза примерно пропорционально отношению площади зрачка к площади изображения на сетчатке. Это возрастание обусловлено тем, что свет, прошедший через зрачок, фокусируется в «точке» на сетчатке. Зрачок имеет переменную апертуру, но его диаметр может достигать 7 мм при максимальном расширении, что характерно для молодого возраста. Изображение на сетчатке, соответствующее такому зрачку, может иметь диаметр от 10 до 20 мкм. Возрастание облученности от роговой оболочки к сетчатке составляет от $2 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^5$.

Таблица D.1 — Патологические изменения, связанные с чрезмерным облучением светом

Спектральный диапазон МКО[a]	Глаз	Кожа	
Ультрафиолетовый C (180 — 280 нм)	Фотокератит	Эритема (солнечный ожог). Процессы ускоренного старения кожи. Увеличение пигментации	
Ультрафиолетовый B (280 — 315 нм)			
Ультрафиолетовый A (315 — 400 нм)	Фотохимическая катаракта	Потемнение пигмента. Фоточувствительные реакции	Ожог кожи
Видимый (400 — 780 нм)	Фотохимическое и тепловое повреждение сетчатки		

Окончание таблицы D.1

Спектральный диапазон МКО[a]	Глаз	Кожа	
Инфракрасный А (730 — 1400 нм)	Катаракта, ожог сетчатки		Ожог кожи
Инфракрасный В (1,4 — 3,0 мкм)	Отек, катаракта, ожог роговой оболочки		
Инфракрасный С (3,0 мкм — 1 мм)	Только ожог роговой оболочки		

[a] Спектральные диапазоны, определенные МКО, следует использовать для описания биологических изменений, при этом надо учитывать, что они могут не полностью соответствовать спектральным диапазонам в таблицах значений МДЭ.

Если предположить, что возрастание составляет $5 \cdot 10^5$, то пучок, дающий на роговой оболочке освещенность 50 Вт·м$^{-2}$, создает на сетчатке освещенность $1 \cdot 10^7$ Вт·м$^{-2}$. В настоящем стандарте зрачок диаметром 7 мм рассматривается как ограничивающая апертура, что при облучении глаз является самым плохим случаем, при этом зрачок измерялся у людей молодого возраста. Как исключение, допускается, что при определении предела экспозиции для защитных ограничений против фоторетинита при наблюдении яркого видимого света (400 — 700 нм) лазера за период, превышающий 10 с, применяют 7-мм зрачок. В этом случае 3-мм зрачок принят как условие наихудшего случая; однако для измерений облученности рассматривают усреднение по апертуре 7 мм из-за физиологических движений зрачка в пространстве. Поэтому ПДЭ при продолжительности более 10 с определяют для апертуры 7 мм.

Если интенсивный лазерный пучок фокусируется на сетчатке, то лишь небольшая часть света (до 5 %) будет поглощаться пигментами в палочках и колбочках. Бóльшая часть света будет поглощаться пигментом, называемым меланином, содержащимся в эпителии. (В области пятна некоторое количество энергии от 400 до 500 нм будет поглощаться пигментом пятна.) Поглощенная энергия будет вызывать местный нагрев и ожог как эпителия пигмента, так и соседних чувствительных к свету палочек и колбочек. Этот ожог или повреждение может привести к потере зрения. Фотохимические повреждения, даже нетепловые, также ограничены в эпителии пигмента.

В зависимости от величины экспозиции такая потеря зрения может иметь временный или постоянный характер. Ухудшение зрения обычно замечается самим пострадавшим только в том случае, когда повреждена центральная или наиболее чувствительная часть пятна. Центральная ямка, углубление в центре пятна, является наиболее важной частью сетчатки, поскольку в ней достигается наибольшая острота зрения. Именно эта часть сетчатки используется тогда, когда необходимо что-то хорошо разглядеть. Угол видения центральной ямки равен углу видения Луны. Если эта область повреждена, то ухудшение зрения может сначала проявляться в виде появления размытого белого пятна, затеняющего центральную область зрения. Через две или более недели оно может превратиться в черное пятно. Пострадавший даже может перестать ощущать это пятно и видеть нормально. Однако его можно сразу обнаружить, если смотреть на экран из листа белой бумаги. Повреждения на периферийных участках можно субъективно обнаружить только при обширных повреждениях сетчатки. Небольшие периферийные повреждения могут оставаться незамеченными и не обнаруживаться даже при систематических обследованиях окулистами.

В диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм самая большая опасность — повреждение сетчатки глаза. Роговая оболочка, водянистое тело, хрусталик глаза и стекловидное тело проницаемы для излучения на этих длинах волн. В случае хорошо коллимированного пучка опасность фактически не зависит от расстояния между источником излучения и глазом, потому что относящееся к сетчатке глаза изображение предполагается в виде пятна диаметром приблизительно от 10 до 20 мкм. В этом случае, с учетом теплового равновесия, относящаяся к сетчатке глаза зона опасности ограничивается угловым размером α_{min}, который в общем соответствует сетчатке глаза 25 мкм в диаметре.

В случае протяженного источника опасность меняется в зависимости от расстояния наблюдения от источника до глаза, потому что мгновенная облученность сетчатки глаза зависит от энергетической яркости и особенностей хрусталика глаза; термическая диффузия тепловой энергии от больших изображений на сетчатке глаза менее действенна и приводит к зависимости размера пятна на сетчатке глаза для тепловых повреждений, которые не содержат фотохимической опасности (преобладающей только от 400 до 600 нм). Кроме того, движения глаз далее распространяют поглощенную энергию от экспозиции непрерывного лазера и приводят к разным зависимостям риска для отличающихся размеров изображения на сетчатке глаза.

Основой для ограничений при облучении глаз является область сетчатки глаза. Также применяют поправочный коэффициент, учитывающий движение глаз при длительности наблюдения более 10 с. При быстрых движениях глаз поглощенная энергия распространяется при минимальных изображениях на сетчатке глаза (не более 25 мкм) и при длительности от 0,1 до 10 с, поэтому условия наблюдения ограничивают с запасом по безопасности. За 0,25 с на сетчатке глаза появляется небольшое освещенное пятно приблизительно 50 мкм. За 10 с относящаяся к сетчатке глаза освещенная зона увеличивается приблизительно до 75 мкм, и с запасом по безопасности минимальный коэффициент равен 1,7 по отношению к стабильному состоянию глаза с учетом размера пятна. За 100 с освещенная зона (измерения проводят в 50 %-ных точках) обычно не менее 135 мкм, поэтому с запасом по безопасности минимальный коэффициент равен не менее 2,3.

Данные исследований движения глаз, относящихся к сетчатке, и исследований тепловых повреждений были объединены для получения контрольной точки времени T_2, за которое движения глаз компенсируют увеличенный теоретический риск теплового повреждения при увеличенной длительности экспозиции сетчатки глаза в сравнении с неподвижным глазом. Так как тепловой порог повреждения, выраженный как мощность излучения, проникающего в глаза, понижается при увеличении длительности экспозиции t при повышении мощности до уровня 0,25 (т. е. понижение только на 44 % при десятикратном увеличении длительности), то только умеренное увеличение воздействия на сетчатку глаза может компенсировать увеличение риска для бóльшего времени наблюдения. Постоянно увеличивающаяся область воздействия излучения на сетчатке глаза, как результат значительных движений глаз при увеличении времени наблюдения, увеличивает компенсационное время, необходимое для уменьшения воздействия тепловой диффузии в больших протяженных источниках. Таким образом, для увеличения углового размера α контрольная точка T_2, увеличивается с 10 с для малых источников до 100 с для больших источников. При времени более 100 с не происходит дальнейшего увеличения риска теплового поражения при малых и средних размерах изображения. При определении пределов и условий измерения учитывают эти переменные с некоторым упрощением, приводящим к консервативному определению риска. Предполагается, что относящиеся к сетчатке глаза тепловые пороги повреждения изменяются обратно пропорционально размеру изображения (стабилизированному) приблизительно от 25 мкм до 1 мм (1 мкм соответствует угловому размеру 59 мрад); при размере изображения свыше 1,7 мм (соответствует угловому размеру свыше 100 мрад) зависимости нет.

Для фотохимического повреждения сетчатки нет зависимости размера пятна для устойчивого изображения. В отличие от механизма теплового поражения пороги для фотохимического поражения сильно зависят от длины волны и дозы облучения, т. е. пороги воздействия уменьшаются обратно пропорционально увеличению длительности экспозиции. Исследования фотохимического повреждения сетчатки глаза от дуговой сварки со стягиваемыми углами от 1 до 1,5 мрад показывают, что типичные размеры повреждения приблизительно от 185 до 200 мкм (соответствуют визуальным углам от 11 до 12 мрад), и ясно указывают на влияние движений глаз во время фиксации. Эти и другие исследования движений глаз во время фиксации привели к установлению МДЭ, защищающего от фотохимического поражения сетчатки глаз. Эти исследования также привели к определению МДЭ при усреднении размеров источников более 11 мрад для длительности экспозиции от 10 до 100 с. Следовательно, источники с угловым размером менее 11 мрад рассматривают одинаково с точечными источниками, а понятие α_{min} расширено до наблюдения непрерывного лазера. Этот подход не был строго корректным, поскольку измерение энергетической освещенности 11 мрад источника не эквивалентно усредненной энергетической освещенности при углах больше поля зрения γ 11 мрад, если источник не имел прямоугольного распределения энергетической яркости. Следовательно, в настоящем стандарте различие сделано между стягиваемым угловым размером источника и усредненной энергетической освещенностью для значения МДЭ при фотохимическом воздействии. Для времени наблюдения приблизительно от 30 до 60 с прерывистое движение глазами обычно является психосоматическим, определяется визуальной задачей, и обычно неверно предполагают, что источник света был бы отображен исключительно в ямке с длительностью более 100 с. По этой причине угол приема γ_{ph} увеличен линейно на квадратный корень из t. Минимальный угловой размер α_{min} корректно оставить углом приведения 1,5 мрад для всех длительностей экспозиции, используемых в оценке тепловой опасности, относящейся к сетчатке глаза. Однако для оценки фотохимической опасности, относящейся к сетчатке глаза, решения различны, поскольку угол γ_{ph} является линейным углом приема для измерения энергетической освещенности, а для применения к протяженным источникам, важно, чтобы угол был больше 11 мрад.

Расстояние наблюдения

Если источник с расходящимся пучком точечного типа, опасность увеличивается с уменьшением расстояния между сужением пучка и глазом, так как с уменьшением расстояния собранная мощность увеличивается, в то время как размер изображения на сетчатке глаза, можно считать, остается дифракционно ограниченным истинными лазерными источниками до расстояния, близкого к 100 мм (вследствие аккомодационных способностей глаза). Самая большая опасность происходит на самом коротком расстоянии аккомодации. При дальнейшем уменьшении расстояния опасность для невооруженного глаза также понижается, поскольку быстро растет изображение на сетчатке глаза и соответственно уменьшается облученность, даже если собирается больше мощности. Чтобы смоделировать риск наблюдения коллимированного пучка через бинокль или телескоп, за основу принимают самое близкое расстояние, примерно равное 2 м с 50-мм апертурой, которое принимают базовым для ясного наблюдения.

Для целей настоящего стандарта самое короткое расстояние аккомодации человеческого глаза установлено равным 100 мм для всех длин волн от 400 до 1400 нм. Это компромисс, потому что на расстоянии менее 100 мм не могут аккомодировать глаза молодые люди и некоторое число близоруких. Это расстояние можно использовать для измерения облученности в случае наблюдения в пучке (см. таблицу 11).

Для длин волн менее 400 нм или более 1400 нм самой большой опасностью является повреждение линзы или роговой оболочки. В зависимости от длины волны оптическое излучение поглощается большей частью или исключительно роговой оболочкой или линзой (см. таблицу D.1). Для источников с расходящимся пучком (протяженный или точечный) на этих длинах волн следует избегать коротких расстояний между источником и глазом.

В диапазоне длин волн от 1500 до 2600 нм излучение проникает в водянистое тело. Поэтому нагревающий эффект рассеивается по бóльшему объему глаза, и МВЭ для экспозиции менее 10 с увеличивают. Самое большое увеличение МВЭ происходит для самых коротких по длительности импульсов в пределах диапазона длин волн от 1500 до 1800 нм, когда объем абсорбции максимален. Для времени более 10 с с учетом теплопроводности тепловая энергия перераспределяется так, чтобы воздействие от глубины проникания не было существенным.

D.2.3 Опасность повреждения кожи

Кожа может выдерживать гораздо более сильное воздействие лазерной энергии, чем глаз. Биологическое воздействие облучения кожи лазерами, работающими в видимом (от 400 до 700 нм) или инфракрасном (от 700 нм) спектральном диапазоне, может приводить как к легкой эритеме, так и к ожогу 2-й степени. В тканях с высоким поверхностным поглощением после облучения излучением лазеров с очень короткими и мощными импульсами бóльшей частью происходит обугливание без промежуточной эритемы.

Пигментация, изъязвление кожи, появление на ней шрамов и повреждение расположенных под кожей органов могут происходить при чрезвычайно высокой облученности. Установлено, что скрытые или кумулятивные воздействия лазерного излучения не являются преобладающими. Однако отдельные исследования показали, что при определенных условиях небольшие участки тканей человека могут приобрести повышенную чувствительность к повторяющимся местным облучениям, в результате чего уровень облучения для минимальных реакций изменяется, а реакции тканей при таком низком уровне облучения становятся более сильными.

В диапазоне длин волн от 1500 до 2600 нм исследования биологических порогов показывают, что риск повреждения кожи аналогичен риску для глаз. Для длительностей воздействия до 10 с МВЭ увеличивают в пределах этого спектрального диапазона.

D.3 Максимально допустимые экспозиции и усредненная облученность

В настоящем стандарте значения МДЭ были адаптированы в соответствии с имеющимися рекомендациями. Аналогично были адаптированы апертуры усредненной облученности (измерительные апертуры) либо применялся дополнительный практический фактор по безопасности из МЭК/ТК 76. Определение и происхождение ПДЭ, в общем основанного на МВЭ, требовали анализа риска и определения обоснованно прогнозируемых условий экспозиции. Выбор измерительной апертуры играет роль в определении ПДЭ и отражает биофизические и физиологические факторы. В некоторых случаях оценка риска и упрощение выражений производились на основе таблицы D.2, что обеспечило полноту факторов, принятых в выборе измерительных апертур. В целом рекомендации сопровождались усилением или добавлением запаса прочности.

Таблица D.2 — Пояснение к измерительным апертурам, применяемым в МДЭ

Спектральный диапазон, λ	Длительность экспозиции	Диаметр апертуры	Комментарии и обоснование для диаметра апертуры
180 — 400 нм	$t < 3 \cdot 10^4$ с	1 мм	Разброс в эпителии роговицы и в слое роговой оболочки до 1 мм; предположение о неподвижности облучаемой ткани для условия непрерывного облучения приемлемо для МЭК. Однако из-за движения глаз при продолжительной экспозиции рекомендуется 3,5 нм
400 — 600 нм фотохимический	$t > 10$ с	3 мм для определения МВЭ, но для измерений используют 7 нм	Боковое движение зрачка диаметром 3 мм в пространстве воспроизводит апертуру диаметром 7 мм, усредненную для экспозиций непрерывного лазера, применимо для механизма фотохимического повреждения
400 — 1400 нм термический	Любое время t	7 мм	Диаметр расширенного зрачка и боковое движение зрачка для экспозиций непрерывного лазера
$\lambda > 1400$ нм	$t < 0{,}35$ с	1 мм	Тепловая диффузия в слое роговицы глаза и тканях эпителия

Окончание таблицы D.2

Спектральный диапазон, λ	Длительность экспозиции	Диаметр апертуры	Комментарии и обоснование для диаметра апертуры
$\lambda > 1400$ нм	0,35 с < t < 10 с $t > 10$ с	$1,5 \cdot t^{3/8}$ мм 3,5 мм	Большая тепловая диффузия и движение «ткани-мишени» (при облучении) относительно пучка после 0,35 с
$10^5 \leq \lambda \leq 10^6$ нм	Любое время t	11 мм	Апертура больше, чем предел дифракции (т. е., ~10^{x}) для точных измерений

D.4 Ссылочные документы

1 HENDERSON, R. and SCHULMEISTER, K.: Laser Safety, Institute of Physics Publishing, Bristol, 2003

2 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): Guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 180 nm and 1,000 μm. Health Phys. 71(5): 804—819, 1996

3 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): Revision of guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 400 nm and 1,4 μm. Health Phys. 79(4):431—440, 2000

4 NESS, J., ZWICK, H.A., STUCK, B.A., LUND, D.J., MOLCHANY, J.A. and SLINEY, D.H.: Retinal image motion during deliberate fixation: implications to laser safety for long duration viewing. Health Phys. 78(2):131—142

5 ROACH, W.P., JOHNSON, P.E. and ROCKWELL, B.A. Proposed maximum permissible exposure limits for ultra short laser pulses, Health Phys. 76(4):349—354

6 SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L.: Safety with Lasers and Other Optical Sources, New York, Plenum Publishing Corp., 1980

7 SLINEY, D., ARON-ROSA, D., DELORI, F., et al: Adjustment of guidance for exposure of the eye to optical radiation from ocular instruments: statement of a task group of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Applied Optics, 44(11), 2162—2176, 2005

8 United Nations Environment Programme (UNEP); World Health Organization (WHO); International Radiation Protection Association (IRPA): Environmental Health Criteria No. 23: Lasers and Optical Radiation, Geneva, WHO, 1982

Приложение Е
(справочное)

Максимально возможная экспозиция и ПДЭ, выраженные как энергетическая яркость

Е.1 Основные положения

Для больших протяженных источников анализ потенциальных опасностей воздействия излучения на сетчатку глаза легче при использовании энергетической яркости источника. Это приложение обеспечивает пользователей отдельными таблицами и графиками максимально допустимой энергетической яркости, основанной на ПДЭ для классов 1 и 1М и соответствующих значениях МДЭ, относящихся к сетчатке глаза в диапазоне длин волн 400 — 1400 нм для того, чтобы рассмотреть условия, когда угловой размер видимого источника достигнет значения большего, чем α_{max}. Согласно закону сохранения энергетической яркости все протяженные диффузные источники с уровнем энергетической яркости ниже уровня, указанного в таблице Е.1 или на рисунке Е.1, не могут превысить ПДЭ класса 1 независимо от оптики, размещенной перед диффузным источником.

Е.2 Значения энергетической яркости

Значения энергетической яркости в таблице Е.1 базируются на IEC /ICNIRP МДЭ уровнях. Поскольку значения МДЭ обычно выражают в единицах энергетической экспозиции ($Дж \cdot м^{-2}$) или энергетической освещенности ($Вт \cdot м^{-2}$), было необходимо преобразовать значения МДЭ в значения энергетической яркости ($Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$). Тогда значения энергетической яркости рассматривают как функцию длины волны (см. Е.3).

В таблице Е.1 представлены допустимые значения энергетической яркости как функция длины волны для длительности воздействия 100 с, где стягиваемый угол α не менее 100 мрад. Показаны наиболее ограничивающие пределы (фотохимические или тепловые). Пределы фотохимической опасности сетчатки выделены курсивом.

Значения ДПИ излучения с экспозицией 100 с источника со стягивающим углом 100 мрад

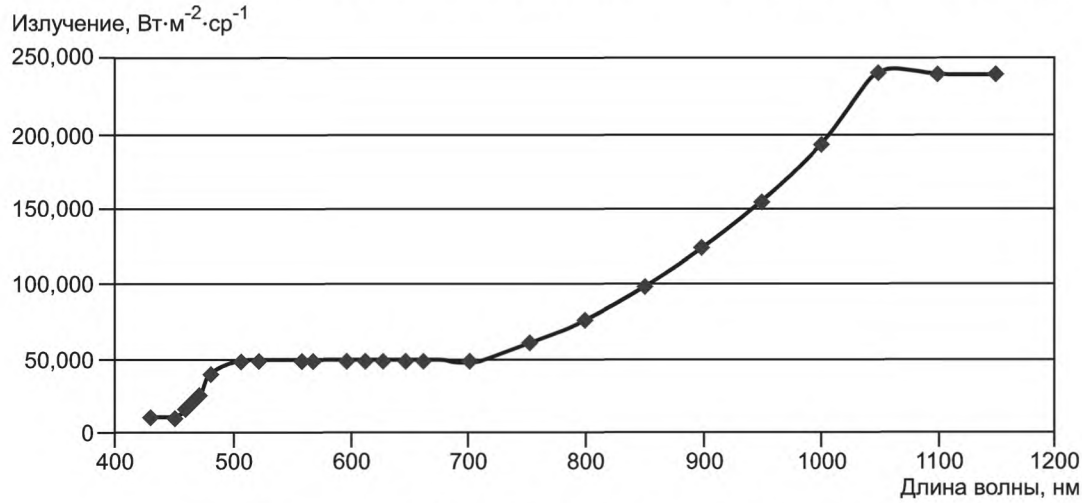


Рисунок Е.1 — Энергетическая яркость как функция длины волны

Таблица Е.1 — Максимальная энергетическая яркость диффузного источника для лазера класса 1

Длина волны, нм	Энергетическая яркость, $Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$	Энергетическая яркость, $Вт \cdot см^{-2} \cdot ср^{-1}$	Длина волны, нм	Энергетическая яркость, $Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$	Энергетическая яркость, $Вт \cdot см^{-2} \cdot ср^{-1}$
430	*10000*	7,00	505	48316	4,83
450	*10000*	7,00	520	48316	4,83
460	*15848*	7,58	555	48316	4,83
465	*19952*	2,00	565	48316	4,80
470	*25119*	2,57	595	48316	4,83
480	*39811*	3,98	610	48316	4,83

Окончание таблицы Е.1

Длина волны, нм	Энергетическая яркость, $Вт·м^{-2}·ср^{-1}$	Энергетическая яркость, $Вт·см^{-2}·ср^{-1}$	Длина волны, нм	Энергетическая яркость, $Вт·м^{-2}·ср^{-1}$	Энергетическая яркость, $Вт·см^{-2}·ср^{-1}$
625	48316	4,83	850	96403	9,64
645	48316	4,83	900	121365	12,13
660	48316	4,83	950	152789	15,28
660	48316	4,83	1000	192350	19,24
700	48316	4,83	1050	241580	24,16
750	60826	6,08	1100	241580	24,16
800	76576	7,66	1150	241580	24,16
Примечание — Числа, выделенные курсивом, относятся к пределу фотохимической опасности сетчатки.					

Е.3 Обоснование

Значения энергетической яркости рассчитаны с использованием МДЭ уровней, установленных в IEC /ICNIRP. Поскольку значения МДЭ обычно выражают в единицах энергетической экспозиции ($Дж·м^{-2}$) или энергетической освещенности ($Вт·м^{-2}$), было бы необходимо преобразовать значения МДЭ к энергетической яркости ($Вт·м^{-2}·ср^{-1}$). Тогда значения энергетической яркости рассматривают как функцию длины волны. Для значений МДЭ, выраженных как энергетическая яркость, использовался следующий метод расчета.

Энергетическую яркость вычисляют по формуле

$$L = \frac{d\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\theta}, \quad (E.1)$$

где Ф — мощность излучения, Ω — телесный угол, A — размер источника. МДЭ часто выражают в единицах интенсивности излучения, которое вычисляют по формуле

$$E = \frac{d\Phi}{dA}. \quad (E.2)$$

Заменяя в формуле Е.1 выражение $\frac{d\Phi}{dA}$ на E, получаем энергетическую яркость как функцию облученности:

$$L = \frac{dE}{d\Omega \cdot \cos\theta}. \quad (E.3)$$

Вычисляем телесный угол Ω по формуле

$$\Omega = \frac{\pi\alpha^2}{4} \quad (E.4)$$

Заменяя в формуле (Е.3) Ω на выражение $\frac{\pi\alpha^2}{4}$ при условии, что угол $\theta = 0°$ (худший случай — наблюдатель смотрит прямо внутрь пучка), формула Е.3 принимает вид:

$$L = \frac{4E}{\pi\alpha^2}. \quad (E.5)$$

Для МДЭ, выраженной как энергетическая экспозиция, не существенно различие в использованном методе. Энергетическую экспозицию вычисляют по формуле

$$H = \frac{dQ}{dA}, \quad (E.6)$$

где Q — энергия излучения, Дж. Делим обе части формулы (Е.6) на приведенное время:

$$\frac{H}{dt} = \frac{dQ}{dA \cdot dt}. \quad (E.7)$$

Выражаем мощность излучения как

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}. \qquad (E.8)$$

Заменяя в формуле (Е.7) выражение $\frac{dQ}{dt}$ на Ф, получаем:

$$\frac{H}{dt} = \frac{d\Phi}{dA}. \qquad (E.9)$$

Заменяя в формуле (Е.1) выражение $\frac{d\Phi}{dt}$ на $\frac{dH}{dt}$, получаем:

$$L = \frac{dH}{d\Omega \cdot dt \cdot \cos\theta}. \qquad (E.10)$$

Заменяя в формуле (Е.1) Ω на выражение $\frac{\pi\alpha^2}{4}$ [см. формулу (Е.4)] при условии, что угол θ = 0° (наихудший случай), получаем

$$L = \frac{4H}{\pi\alpha^2 t}. \qquad (E.11)$$

Для вычислений мы учли наихудший случай — угловой размер 100 мрад для длительности экспозиции 100 с. Эти результаты приведены в таблице Е.1 и нанесены на графике (см. рисунок Е.1).

Приложение F
(справочное)

Сводные таблицы

Таблица F.1 — Физические величины, используемые в настоящем стандарте

Величина	Наименование единицы величины	Единица величины	Определение
Длина	Метр	м	Метр — длина пути, проходимого светом в вакууме, за интервал времени 1/229 792 458 с
	Миллиметр	мм	10^{-3} м
	Микрометр	мкм	10^{-6} м
	Нанометр	нм	10^{-9} м
Площадь	Квадратный метр	$м^2$	1 $м^2$
Масса	Килограмм	кг	Масса, равная массе международного прототипа килограмма
Время	Секунда	с	Время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия — 133
Частота	Герц	Гц	Частота периодического процесса, равная одному циклу в секунду
Плоский угол	Радиан	рад	Угол между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу 10^{-3} рад
	Миллирадиан	мрад	
Телесный угол	Стерадиан	ср	Телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы
Сила	Ньютон	Н	1 $м \cdot кг \cdot с^{-2}$
Энергия	Джоуль	Дж	1 Н·м
Энергетическая экспозиция	Джоуль на квадратный метр	$Дж \cdot м^{-2}$	1 $Дж \cdot м^{-2}$
Интегральная энергетическая яркость	Джоуль на квадратный метр на стерадиан	$Дж \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$	1 $Дж \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$
Мощность	Ватт	Вт	1 $Дж \cdot с^{-1}$
	Милливатт	мВт	10^{-3} Вт
Облученность	Ватт на квадратный метр	$Вт \cdot м^{-2}$	1 $Вт \cdot м^{-2}$
Энергетическая яркость	Ватт на квадратный метр на стерадиан	$Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$	1 $Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$
Примечание — Там, где это было целесообразно, были включены кратные величины.			

В таблице приводятся физические величины, использованные в настоящем стандарте, и единицы измерения (условные обозначения единиц измерения) для каждой из них. Определения основных единиц системы СИ приводятся в стандарте ISO 1000. Единицы и обозначения взяты из IEC 60027 — 1. В таблице F.2 приводятся требования к изготовителям.

Таблица F.2 — Сводная таблица требований к изготовителям

Требование	Классификация						
	Класс 1	Класс 1М	Класс 2	Класс 2М	Класс 3R	Класс 3В	Класс 4
Описание класса опасности (см. приложение С)	Аппаратура безопасна при обоснованно прогнозируемых условиях	Аналогично классу 1. Непосредственное наблюдение пучка с помощью оптических средств может быть опасным	Низкая мощность; защита глаз обычно достигается за счет рефлекса мигания	Аналогично классу 2. Непосредственное наблюдение пучка с помощью оптических средств может быть опасным	Прямое наблюдение в пучке может быть опасным	Прямое наблюдение в пучке может быть опасным	Высокая мощность; диффузное отражение может быть опасным
Защитный кожух (см. 4.2)		Требуется для любой лазерной аппаратуры; ограничивает доступ, необходимый для выполнения аппаратурой своих функций					
Защитная блокировка в защитном кожухе (см. 4.3)	Предназначена для предотвращения удаления панели до тех пор, пока значение доступной эмиссии не станет меньше, чем для класса 3R				Предназначена для предотвращения удаления панели до тех пор, пока значение доступной эмиссии не станет меньше, чем для лазеров класса 3В или 3R		
Дистанционное управление (см. 4.4)	Не требуется					При установке лазера позволяет простую установку внешней блокировки	
Перезапуск вручную (см. 4.5)	Не требуется						Требуется перезапуск вручную, если мощность прерывается или работает дистанционное управление
Управление ключом (см. 4.6)	Не требуется					Лазер не работает, если ключ вынут	
Индикатор наличия излучения (см. 4.7)	Не требуется				Выдает звуковой или визуальный сигнал, если лазер включен или если конденсаторные батареи импульсного лазера заряжены. Относится только к классу 3R в случае невидимого излучения		
Аттенюатор (см. 4.8)	Не требуется					Позволяет временно блокировать пучок	
Расположение органов управления (см. 4.9)	Не требуется				Органы управления расположены так, чтобы не было опасности экспозиции при выполнении настроек лазерным излучением выше ПДЭ для класса 1 или 2		

Окончание таблицы F.2

Требование	Классификация						
	Класс 1	Класс 1М	Класс 2	Класс 2М	Класс 3R	Класс 3В	Класс 4
Оптические приборы для наблюдения (см. 4.10)	Не требуется		Излучение от всех систем наблюдения должно быть ниже значений ПДЭ для класса 1М				
Сканирование (см. 4.11)	При нарушении в сканировании класс аппаратуры не должен быть выше указанного в классификации						
Маркировка класса (см. 5.1 — 5.6)	Требуется надпись		Рисунки 1 и 2 и специальная надпись				
Маркировка апертуры (см. 5.7)	Не требуется				Требуется специальная надпись		
Маркировка доступа при сервисном обслуживании (см. 5.9.1)	Не требуется	Требуется при доступе к излучению аппаратуры соответствующего класса					
Маркировка отключения блокировки (см. 5.9.2)	Требуется в зависимости от класса доступного излучения						
Маркировка диапазона длин волн (см 5.10 и 5.11)	Требуется для установленных диапазонов длин волн						
Информация для потребителей (см. 6.1)	Инструкция по эксплуатации должна содержать правила безопасного применения. Дополнительные требования для классов 1М и 2М						
Требование	Классификация						
	Класс 1	Класс 1М	Класс 2	Класс 2М	Класс 3R	Класс 3В	Класс 4
Информация, необходимая при поставке и обслуживании (см. 6.2)	В предлагаемых брошюрах должна быть указана классификация аппаратуры; инструкции по сервисному обслуживанию должны содержать правила безопасного применения						
Медицинская аппаратура (см. 7.2)	Не требуется					По безопасности медицинской лазерной аппаратуры применяют МЭК 60601-2-22	
Примечание — В данной таблице приведены основные требования в удобном виде. Более полные требования приведены в тексте стандарта.							

Приложение G
(справочное)

Обзор связанных частей стандарта IEC 60825

Связанные части IEC 60825 предназначены для использования и связи с IEC 60825–1. В каждой части рассматривается определенная область и обеспечивается дополнительная нормативная информация, позволяющая изготовителю и пользователю правильно классифицировать и использовать лазеры в безопасном режиме с учетом специфических условий и компетентности/обучения оператора/пользователя. Информация может содержать объяснения, примеры, методы, маркировку и другие дополнительные ограничения и требования.

Таблица G.1 — Обзор дополнительных сведений о связанных частях стандарта IEC 60825

Номер и часть	Тип	Описание	Разработчик аппаратуры	Поставщик аппаратуры	Пользователь аппаратуры	Поставщик критических компонетов	Метод испытаний	Оценка опасности	Связанный стандарт
1	Стандарт	Классификация оборудования, требования и руководство для потребителей	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
2	Стандарт	Безопасность оптоволокна систем связи (содержит соответствующие примечания и примеры)	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
3	Технический отчет	Руководство для выставок с лазерными дисплеями	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да	
4	Стандарт	Устройства защиты от лазерного излучения (также касается способности мощных лазеров удалять защитный материал)	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
5	Технический отчет	Контрольный перечень изготовителя для МЭК 60825-1 (пригоден для использования в качесте отчета о безопасности)	Да	Да	Нет	Да	Нет	Нет	
6	Техническое описание								
7	Техническое описание								
8	Технический отчет	Рекомендации по безопасному использованию медицинского лазерного оборудования	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	IEC 60601-2-22
9	Технический отчет	Составление МДЭ некогерентного оптического излучения (широкополосные источники)	Нет	Нет	Да	Нет	Да	Да	
10	Технический отчет	Рекомендации по лазерной безопасности и пояснительные замечания	Да	Да	Нет	Нет	Да	Нет	ISO 13694
12	Стандарт	Безопасность оптических систем связи, используемых для передачи информации	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
14	Технический отчет	Руководство пользователя	Нет	Да	Да	Нет	Нет	Да	

Примечание — Данная таблица указывает на содержащиеся в тексте стандарты со всеми требованиями. Некоторые вышеупомянутые части обсуждались в рабочем порядке и не были опубликованы.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии межгосударственных стандартов ссылочным международным стандартам (международным документам)

Таблица ДА.1

Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
IEC 61010-1-22 Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования — Часть 1: Общие требования	—	*
IEC 60601-2-22 Частные требования к базовой безопасности и основным характеристикам хирургического, косметического, терапевтического и диагностического лазерного оборудования	—	*
IEC 60050(845): 1987 Международный электротехнический словарь (МЭС). Глава 845. Освещение	—	*

* Соответствующий межгосударственный 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.

Библиография

[1] IEC 60027-1 — Letter symbols to be used in electrical technology — Part 1: General (Обозначения буквенные, применяемые в электротехнике. Часть 1. Основные положения)

[2] IEC 60065 — Audio, video and similar apparatus — Safety requirements (Аудио-, видеоаппаратура и аналогичная электронная аппаратура. Требования техники безопасности)

[3] IEC 60079 (all parts) — Electrical apparatus for explosive gas atmospheres (Оборудование электрическое для взрывоопасных газовых сред)

[4] IEC 60079-0:2004 — Electrical apparatus for explosive gas atmospheres — Part 0: General requirements (Оборудование электрическое для взрывоопасных газовых сред. Часть 0. Общие требования)

[5] IEC 60204-1 — Safety of machinery — Electrical equipment of machines — Part 1: General requirements (Безопасность машин и механизмов. Электрооборудование промышленных машин. Часть 1. Общие требования)

[6] IEC 60825-2 — Safety of laser products — Part 2: Safety of optical fiber communication systems (OFCS) (Безопасность лазерных устройств. Часть 2. Безопасность волоконно-оптических систем связи)

[7] IEC /TR 60825-3 — Safety of laser products — Part 3: Guidance for laser displays and shows (Безопасность лазерных устройств. Часть 3. Руководящие указания по применению лазеров для зрелищных мероприятий)

[8] IEC 60825-4 — Safety of laser products — Part 4: Laser guards (Безопасность лазерных устройств. Часть 4. Устройства защиты от лазерного воздействия)

[9] IEC /TR 60825-5 — Safety of laser products — Part 5: Manufacturers checklist for IEC 60825-1 (Безопасность лазерных устройств. Часть 5. Контрольный перечень к IEC 60825-1 для изготовителей)

[10] IEC /TR 60825-8 — Safety of laser products — Part 8: Guidelines for the safe use of laser beams on humans (Безопасность лазерных устройств. Часть 8. Руководящие указания по безопасному использованию лазерных пучков для людей)

[11] IEC /TR 60825-9 — Safety of laser products — Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation (Безопасность лазерных устройств. Часть 9. Максимально допустимое воздействие некогерентного оптического излучения)

[12] IEC /TR 60825-10 — Safety of laser products — Part 10: Application guidelines and explanatory notes to IEC 60825-1(Безопасность лазерных устройств. Часть 10. Руководство по применению и пояснительные замечания к IEC 60825-1)

[13] IEC 60825-12 — Safety of laser products — Part 12: Safety of free space optical communication systems used for transmission of information (Безопасность лазерных устройств. Часть 12. Безопасность нестационарных оптических систем связи, применяемых для передачи информации)

[14] IEC /TR 60825-13 — Safety of laser products — Part 13: Measurements for classification of laser products (Безопасность лазерных устройств. Часть 13. Измерения, проводимые для классификации лазерных устройств)

[15] IEC /TR 60825-14 — Safety of laser products — Part 14: A user's guide (Безопасность лазерных устройств. Часть 14. Руководство для пользователя)

[16] IEC 60950(all parts) — Information technology equipment — Safety (Оборудование информационных технологий. Безопасность)

[17] IEC 61040 — Power and energy measuring detectors, instruments and equipment for laser radiation (Детекторы, контрольно-измерительные приборы и оборудование для измерения мощности и энергии лазерного излучения)

[18] IEC 61508(all parts) — Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems (Системы электрические/электронные/программируемые электронные, связанные с функциональной безопасностью)

[19] IEC 62115 — Electric toys-Safety (Игрушки электрические. Безопасность)

[20] IEC 62471:2006 (CIE S009:2002) — Photobiological safety of lamps and lamp systems (Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем)

[21] ISO 1000 — SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units (Единицы СИ и рекомендации по применению кратных и дольных от них и некоторых других единиц)

[22] ISO 11146-1 Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios — Part 1: Stigmatic and simple astigmatic beams (Лазеры и связанное с ними оборудование. Методы испытаний для определения ширины лазерного пучка, углов расхождения и коэффициентов распространения пучка. Часть 1. Стигматические и простые астигматические пучки)

[23] IEC/ISO 11553-1 Safety of machinery — Laser processing machines — Part 1: General safety requirements (Безопасность машин. Станки лазерной обработки. Часть 1. Общие требования безопасности)

[24] ISO 12100-1 Safety of machinery — Basic concepts, general principles for design — Part 1: Basic terminology, methodology (Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы расчета. Часть 1. Основная терминология, методология)

[25] ISO 12100-2 Safety of machinery — Basic concepts, general principles for design — Part 2: Technical principles (Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы расчета. Часть 2. Технические принципы)

[26] ISO 13694 Optics and optical instruments — Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam power (energy) density distribution (Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерное оборудование. Методы испытания распределения плотности энергии лазерного пучка)

УДК 681.3:331.4:006354 МКС 13.110 31.260 IDT

Ключевые слова: лазерная аппаратура, допустимая эмиссия, угол приемника, стягивающий угол, апертура, диафрагма, пучок, расходимость, классы аппаратуры

Редактор *Т. С. Никифорова*
Технический редактор *В. Н. Прусакова*
Корректор *Л. Я. Митрофанова*
Компьютерная верстка *В. Н. Романовой*

Сдано в набор 05.06.2014. Подписано в печать 28.08.2014. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,30. Уч.-изд. л. 8,80. Тираж 51 экз. Зак. 805.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано и отпечатано в Калужской типографии стандартов, 248021 Калуга, ул. Московская, 256.

gost.e-ecolog.ru