МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC 60825-1— 2023

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛАЗЕРНОЙ АППАРАТУРЫ

Часть 1

Классификация оборудования и требования

(IEC 60825-1:2014, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

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

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью Научно-методический центр «Электромагнитная совместимость» (ООО «НМЦ ЭМС») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 31 августа 2023 г. № 164-П)

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	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 сентября 2023 г. № 894-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 60825-1—2023 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 сентября 2024 г. с правом досрочного применения

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту` IEC 60825-1:2014 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования и требования» («Safety of laser products — Part 1: Equipment classification and requirements», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом ТС 76 «Оптическая радиационная безопасность и лазерное оборудование» Международной электротехнической комиссии (IEC).

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

6 ВЗАМЕН ГОСТ IEC 60825-1—2013

7 Некоторые элементы настоящего стандарта могут быть объектами патентных прав. Международная электротехническая комиссия (IEC) не несет ответственности за установление подлинности каких-либо или всех таких патентных прав

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© IEC, 2014
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023



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 . . . 3
3 Термины и определения . . . 3
4 Принципы классификации . . . 13
4.1 Общая информация . . . 13
4.2 Ответственность за классификацию . . . 13
4.3 Правила классификации . . . 13
4.4 Лазерные изделия, предназначенные для работы в качестве обычных ламп . . . 18
5 Определение допустимого предела излучения и классификация изделий . . . 18
5.1 Испытания . . . 18
5.2 Измерение лазерного излучения . . . 19
5.3 Определение класса лазерного изделия . . . 20
5.4 Геометрия измерения . . . 28
6 Технические требования . . . 32
6.1 Общие положения и модификации . . . 32
6.2 Защитный кожух . . . 32
6.3 Панели доступа . . . 33
6.4 Дистанционный блокировочный коннектор . . . 34
6.5 Ручной сброс . . . 34
6.6 Управление с помощью ключа . . . 34
6.7 Предупреждение об источнике лазерного излучения . . . 34
6.8 Блокиратор пучка или аттенюатор . . . 34
6.9 Элементы управления . . . 35
6.10 Оптические средства наблюдения . . . 35
6.11 Защита при сканировании . . . 35
6.12 Защита для изделий класса 1C . . . 35
6.13 Доступ внутрь . . . 35
6.14 Условия окружающей среды . . . 35
6.15 Защита от других видов опасности . . . 36
6.16 Схема ограничения мощности . . . 36
7 Маркировка . . . 36
7.1 Общие положения . . . 36
7.2 Классы 1 и 1M . . . 38
7.3 Класс 1C . . . 39
7.4 Классы 2 и 2M . . . 39
7.5 Класс 3R . . . 40
7.6 Класс 3B . . . 41
7.7 Класс 4 . . . 41
7.8 Маркировка апертуры . . . 41
7.9 Выходное излучение и информация о стандартах . . . 42
7.10 Маркировки для панелей доступа . . . 42
7.11 Предупреждение о невидимом лазерном излучении . . . 43
7.12 Предупреждение о видимом лазерном излучении . . . 43
7.13 Предупреждение о потенциальной опасности для кожи или переднего отдела глаза . . . 43
8 Другие требования к информации . . . 43
8.1 Информация для пользователя . . . 43
8.2 Информация о приобретении и обслуживании . . . 45
9 Дополнительные требования для определенных лазерных изделий . . . 45
9.1 Другие части серии стандартов IEC 60825 . . . 45
9.2 Медицинские лазерные изделия . . . 46
9.3 Лазерные обрабатывающие станки . . . 46
9.4 Электрические игрушки . . . 46
9.5 Потребительские электронные изделия . . . 46
Приложение А (справочное) Значения максимально допустимого воздействия . . . 47

Приложение B (справочное) Примеры расчетов. 55
Приложение C (справочное) Описание классов и связанных с ними потенциальных опасностей. 63
Приложение D (справочное) Биофизические особенности 68
Приложение E (справочное) Значения МДВ и ПДИ, выраженные в качестве плотности потока излучения. 75
Приложение F (справочное) Сводные таблицы 78
Приложение G (справочное) Обзор связанных частей IEC 60825 82
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным межгосударственным стандартам 84
Библиография 85

Поправка к ГОСТ IEC 60825-1—2023 Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования и требования

В каком месте	Напечатано	Должно быть		
Предисловие. Таблица согласования	—	Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан

(ИУС № 6 2025 г.)

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛАЗЕРНОЙ АППАРАТУРЫ

Часть 1

Классификация оборудования и требования

Safety of laser products. Part 1. Equipment classification and requirements

Дата введения — 2024—09—01
с правом досрочного применения

1 Область применения и назначение

Настоящий стандарт применяют в области безопасности лазерных изделий с диапазоном длины волн лазерного излучения от 180 нм до 1 мм.

Несмотря на то, что существуют лазеры с длиной волны менее 180 нм (ультрафиолетовое излучение в вакууме), в область применения настоящего стандарта они не включены: пучок лазерного излучения, как правило, должен быть заключен в вакуумированный корпус, а значит, потенциальная опасность излучения в оптическом диапазоне сведена к минимуму.

Лазерные изделия могут представлять собой отдельный лазер с источником питания или без, а также один или несколько лазеров в комплексной оптической, электрической или механической системах. Типичные виды применения лазерных изделий: демонстрация физических и оптических явлений, обработка материалов, считывание и запоминание данных, передача и воспроизведение информации и др. Такие системы используют в промышленности, бизнесе, развлекательной индустрии, научных исследованиях, сфере образования, медицине и продуктах широкого потребления.

Лазерное изделие, поставляемое другими производителями, как компонент какой-либо системы для последующей продажи, не является объектом стандартизации настоящего стандарта, так как конечная продукция в целом будет подлежать стандартизации. Однако, если лазерная система, входящая в состав лазерного изделия работоспособна при извлечении из него, требования настоящего стандарта применяются к съемной лазерной системе.

Примечание — Функционирование оборудования подразумевает отсутствие необходимости в каком-либо инструменте для начала работы.

Лазерное изделие не попадает под требования настоящего стандарта, если по классификации производителя согласно разделам 4 и 5 выявлен уровень излучения изделия, не превышающий предельно допустимого излучения (ПДИ) для класса 1 в любых условиях функционирования, ремонтных работ, сервисного обслуживания, а также в случаях отказа. Такое лазерное изделие может рассматриваться как безопасное.

Примечание — Вышеуказанное исключение означает, что в разделах 6—9 не рассматриваются заведомо безопасные лазерные изделия.

В дополнение к возможному вредному (или негативному) воздействию лазерного излучения, некоторое лазерное оборудование может вызвать другие виды опасностей, такие как электрическое напряжение, вредные химические вещества, высокие или низкие температуры. Лазерное излучение может вызвать временные нарушения зрения, такие как ослабление и блики. Такие эффекты зависят от выполняемой операции и общего уровня освещенности (или фоновой освещенности), не выходя за рамки настоящего стандарта. Классификация и другие требования настоящего стандарта предназначены для рассмотрения только опасностей лазерного излучения для глаз и кожи. Другие опасности не входят в область его применения.

Издание официальное

В настоящем стандарте установлены минимальные требования, и для достижения необходимого уровня безопасности изделия может оказаться недостаточным соблюдение только этих условий. К лазерным изделиям также могут быть применены требования соответствия рабочим характеристикам и условиям испытаний, установленные другими применимыми стандартами безопасности продуктов.

Примечание — Другие стандарты могут включать дополнительные требования. Например, лазерное изделие класса 3B или 4 может быть непригодным для использования в качестве продукта широкого потребления.

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), или электрических игрушек (IEC 62115), — настоящий стандарт применяют в соответствии с требованиями IEC «Руководство 104»[1)] в части опасностей, исходящих от лазерного излучения. Изделие, к которому неприменим ни один из стандартов безопасности, можно отнести к IEC 61010-1.

Для офтальмологического инструментария обеспечение безопасности пациента следует соблюдать в рамках ISO 15004-2, а к лазерному излучению должны применяться представленные там ограничительные нормы (см. также приложения C и D).

В предыдущих изданиях настоящего стандарта в область действия включены светодиоды (СИД), которые могли быть охвачены и другими частями серии стандартов IEC 60825. Однако с развитием стандартов безопасности ламп оптическое излучение СИД стали все больше относить именно к этому сегменту. Исключение СИД из области применения настоящего стандарта не означает их устранения из других стандартов; речь идет также о СИД, которые соотносятся с лазерами. IEC 62471 допускается применять для определения группы риска СИД или продукции, содержащей один и более СИД. Некоторые другие (вертикальные) стандарты могут предусматривать применение измерительных, классификационных, технических спецификаций и требований к маркировке из настоящего стандарта в отношении светодиодной продукции.

При допустимом излучении ниже критериев, указанных в 4.4, лазерные изделия, предназначенные для функционирования в качестве традиционных источников света и удовлетворяющие требованиям 4.4, могут альтернативно оцениваться в рамках серии стандартов IEC 62471 «Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем». На такие изделия распространяется область применения настоящего стандарта. Исключение составляет то, что вышеуказанная величина оптического излучения не требует учета для классификации.

Значения максимально допустимого воздействия (МДВ), приведенные в приложении A, разработаны для лазерного излучения и не относятся к сопутствующему излучению. Однако, если есть вероятность опасности сопутствующего излучения, значение МДВ лазера может быть оценено как потенциальная опасность, либо необходимо обратиться к значениям предельного воздействия, указанным в IEC 62471.

Значения МДВ, приведенные в приложении A, не применяют при целенаправленном воздействии лазерного излучения на человека в рамках лечения или косметических (эстетических) процедур.

Примечание — Приложения A—G включены для общего ознакомления и представляют типичные случаи. Приложения не являются окончательными или исчерпывающими.

Цели настоящего стандарта:

- ввести систему классификации лазеров и лазерных изделий, с диапазоном длин волн от 180 нм до 1 мм, в соответствии со степенью опасности оптического излучения, чтобы облегчить оценку опасности и помочь определить меры контроля для пользователя;
- установить требования для производителей путем предоставления информации для того, чтобы применить необходимые меры по обеспечению безопасности (меры предосторожности);
- обеспечить с помощью маркировки и инструкций адекватное предупреждение персонала об опасностях, связанных с возможным лазерным излучением;
- снизить вероятность получения травм за счет минимизации нежелательного возможного излучения и снизить уровень опасности (улучшить контроль опасности) лазерного излучения путем применения защитных средств.

[1)] IEC Guide 104:2019 «The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications» («Подготовка публикаций по безопасности и использование основных и групповых публикаций по безопасности»).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

IEC 60050 (all parts), International Electrotechnical Vocabulary [Международный электротехнический словарь (все части)]

IEC 62471 (all parts), Photobiological safety of lamps and lamp systems [Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем (все части)]

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 по английскому алфавиту. Отступления от IEC 60050-845 не случайны. Они обозначены следующим образом: ссылка на определение из части 845 IEC 60050 указана в скобках с пометкой «изменено».

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

3.2 **доступное излучение** (accessible emission): Уровень излучения, определенный в некотором положении с применением апертурных диафрагм (когда ПДИ измеряется в Вт или Дж) или с ограничивающими апертурами (когда ПДИ измеряется в Вт · м$^{-2}$ или Дж · м$^{-2}$), как описано в разделе 5.

Примечания

1 Допустимое излучение определяют там, где предполагается доступ человека, как обозначено в 3.40. Допустимое излучение, установленное во время работы, сравнивают с предельно допустимым излучением (3.3) для того, чтобы определить класс лазерного изделия. В настоящем стандарте, однако, используется термин «уровень излучения», который следует понимать как допустимое излучение.

2 Если диаметр пучка больше апертурной диафрагмы, допустимое излучение приводят в Вт и Дж, так как полная мощность и энергия, попадающая в лазерную апертуру, меньше испускаемой. Если диаметр пучка меньше диаметра ограничивающей апертуры, то допустимое излучение выражают в Вт · м$^{-2}$ или Дж · м$^{-2}$, то есть облученность или энергетическая экспозиция, усредненные по ограничивающей апертуре, меньше, чем действительная облученность или энергетическая экспозиция пучка. См. также: апертурная диафрагма (3.9); ограничивающая апертура (3.55).

3.3 **предельно допустимое излучение;** ПДИ (accessible emission limit, AEL): Максимальное значение допустимого излучения, разрешенное для определенного класса.

Примечание — Если в тексте встречается выражение «уровень излучения не превышает ПДИ» или подобное подразумевается, что допустимое излучение определено в соответствии с измерительным критерием, указанным в разделе 5.

3.4 **административный контроль** (administrative control): Нетехнические меры безопасности, такие как надзор, обучение персонала технике безопасности, предупреждающие надписи, заблаговременное оповещение об опасности методом «обратного отсчета» и контроль мер по технике безопасности.

Примечание — Может быть определено производителем (см. раздел 8).

3.5 **угол восприятия** γ (angle of acceptance γ): Плоский угол, в пределах которого детектор воспринимает оптическое излучение.

Примечания

1 Такой угол восприятия может задаваться апертурами или оптическими элементами перед детектором (см. рисунки 1 и 2). В некоторых случаях угол восприятия также называют полем зрения.

2 Единица СИ: радиан.

3 Не путать угол восприятия с угловым размером источника или углом расходимости пучка.

3.6 **угловой размер** (angular subtense): Плоский угол, стягиваемый дугой окружности, величина которого определяется как отношение длины дуги к радиусу дуги.

Примечания

1 Единица СИ: радиан.

2 При малых углах угловой размер отрезка прямой на заданном расстоянии рассчитывается путем деления длины отрезка на расстояние. Для больших углов должна быть учтена разность между длиной хорды и дуги.

3.7 **угловой размер видимого источника** α (angular subtense of the apparent source α): Угол, стягиваемый видимым источником, наблюдаемым из точки в пространстве, как показано на рисунке 1.

Примечания

1 Для случая гауссового профиля распределения облученности изображения видимого источника, например, для диффузного отражения TEM_{00} пучка, α определяется на основе значения диаметра пучка d_{63} (см. 3.13). Для неравномерных профилей облученности или нескольких источников α определяется в соответствии с перечислением d) 4.3.

2 Единица СИ: радиан.

3 Положение и угловой размер видимого источника зависят от места наблюдения в пучке (см. 3.10).

4 Угловой размер видимого источника применим в настоящем стандарте только в диапазоне длины волн от 400 до 1400 нм, т. е. в спектральной области повреждения сетчатки.

5 Угловой размер источника не следует путать с углом расходимости пучка. Угловой размер источника не может быть больше угла расходимости пучка, и он, как правило, меньше угла расходимости пучка.

3.8 **апертура** (aperture): Любое отверстие в защитном кожухе лазерного изделия, через которое выходит лазерное излучение и возможен доступ человека к этому излучению.

Примечание — См. также термин «ограничивающая апертура» (3.55).

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

Примечание — См. также термин «ограничивающая апертура» (3.55).

3.10 **видимый источник** (apparent source): Реальный или виртуальный объект, который формирует наименьшее возможное изображение (с учетом диапазона аккомодации человеческого глаза), в заданном месте оценки опасности для сетчатки.

Примечания

1 Диапазон аккомодации глаза принято считать варьирующимся от 100 мм до бесконечности. Местоположение видимого источника при определенном положении обзора в пучке представляет собой место, к которому глаз приспосабливается для формирования наиболее опасного условия облученности на сетчатке.

2 Такое определение используется для установления в определенном месте оценки расположения видимого источника лазерного излучения в диапазоне длины волн от 400 до 1400 нм. В пределе исчезающего расхождения, то есть в случае хорошо коллимированного пучка, местоположение видимого источника переходит в бесконечность.

3 Применительно к круговым изображениям распределенных источников на сетчатке с гауссовыми профилями для определения углового размера видимого источника α может использоваться значение диаметра пучка d_{63}.

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

Примечание — Рассеянное излучение от направления незеркального отражения не определяется как пучок.

3.12 **ослабитель пучка** (beam attenuator): Устройство, которое уменьшает лазерное излучение не выше определенного уровня либо на определенную долю.

3.13 **диаметр [ширина] пучка d_u** [beam diametr (beam width) d_u]: Диаметр наименьшего круга, который составляет u % полной мощности (или энергии) излучения лазера.

Примечания

1 В контексте настоящего стандарта используется d_{63}.

2 Перетяжка пучка — это положение в пучке, где его диаметр минимален.

3 Единица СИ: метр.

4 Данное определение диаметра пучка не следует использовать в широком смысле для обозначения углового размера видимого источника α вследствие разницы определений. Однако в отношении гауссова профиля облученности изображения видимого источника d_{63} может применяться для определения углового размера видимого источника α. Для негауссова профиля облученности изображения углового размера видимого источника следует использовать метод, приведенный в перечислении d) 4.3.

5 В случае гауссова пучка d_{63} относится к точке, в которой облученность (воздействие излучения) снижается до $1/e$ от ее центрального пикового значения.

6 Термин «вторичный момент диаметра» (по определению ISO 11146-1) не используют для профиля пучка с центральной высокой пиковой облученностью и низким уровнем фона, как, например, вырабатываемые нестабильными резонаторами в дальнем поле: мощность, проходящая через апертуру, может быть в значительной степени недооценена при использовании второго момента и расчете мощности с допущением гауссова профиля пучка.

3.14 **расходимость пучка** (beam divergence): Плоский угол конуса, определяемый диаметром пучка в дальней зоне.

Примечания

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

$$\varphi_{63} = 2\arctan\left(\frac{d'_{63} - d_{63}}{2r}\right).$$

2 Единица СИ: радиан.

3 Термин «вторичный момент диаметра» (по определению ISO 11146-1) не используют для профилей пучка с центральной высокой пиковой облученностью и низким уровнем фона, как, например, вырабатываемые нестабильными резонаторами в дальнем поле, или для профилей пучка, демонстрирующих дифракционные картины, вызываемые апертурами.

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

3.16 **элемент на пути пучка** (beam path component): Оптический элемент, расположенный на пути распространения лазерного пучка.

Пример — Зеркало, отклоняющее пучок, фокусирующая линза или рассеиватель.

3.17 **блокиратор пучка** (beam stop): Устройство, которое преграждает путь лазерному пучку.

3.18 **лазерное изделие класса 1** (Class 1 laser product): Лазерное изделие, при работе которого невозможен доступ человека к лазерному излучению (допустимое излучение см. 3.2), превышающему предельно допустимое излучение для класса 1 для соответствующих длин волн и длительностей излучения [см. 5.3 и перечисление e) 4.3].

Примечания

1 См. также ограничения классификационной схемы в приложении C.

2 Испытания для установления класса изделия ограничены испытаниями в рабочем режиме, поэтому для некоторых изделий со встроенными лазерами излучение выше ПДИ для данного класса изделия может стать допустимым в режиме технического (см. 6.2.1) или сервисного обслуживания, когда блокировка панели доступа отключена или изделие открыто или разобрано.

3.19 **лазерное изделие класса 1C** (Class 1C laser product): Лазерное изделие, специально предназначенное для контактного воздействия на кожу или на неглазную ткань, соответствующее действующим вертикальным стандартам, и для которого во время работы опасность для глаз предотвращается инженерными средствами, т. е. как только лазерный аппликатор выводится из контакта с кожей или неглазной тканью, излучение прекращается или допустимое излучение уменьшается до уровня ниже предельно допустимого излучения для класса 1; во время работы при контакте с кожей или неглазной тканью уровни облучения или энергетической экспозиции могут превышать максимально допустимое воздействие для кожи, если это необходимо для назначенной лечебной процедуры.

Примечания

1 Для установления класса изделия 1C недостаточно требований только настоящего стандарта без учета требований, указанных в соответствующих вертикальных стандартах по безопасности изделий. См. также ограничения классификационной схемы в приложении C.

2 Так как генерируемое излучение может превышать соответствующее МДВ для кожи, выходное излучение лазера класса 1C может быть потенциально опасным для ткани-мишени. Определение соответствующих ограничений для допустимого излучения, доступного в условиях контакта, например возможного контакта с веками, выходит за рамки настоящего стандарта и указано в соответствующих вертикальных стандартах.

3 Так как испытания для установления класса изделия ограничены испытаниями в рабочем режиме, то для некоторых изделий со встроенными лазерами излучение выше ПДИ для класса 1 может стать допустимым в режиме технического (см. 6.2.1) или сервисного обслуживания, когда блокировка панели доступа отключена или изделие открыто или разобрано.

3.20 **лазерное изделие класса 1M** (Class 1M laser product): Лазерное изделие, генерирующее излучение в диапазоне длин волн от 302,5 до 4000 нм, при работе которого невозможен доступ человека к лазерному излучению (допустимое излучение — см. 3.2), превышающего предельно допустимое излучение для класса 1 для соответствующих длин волн и длительностей излучения [см. перечисление e) 4.3], причем уровень излучения измеряется в соответствии с перечислением a) 5.3.

Примечания

1 См. также ограничения классификационной схемы в приложении С.

2 Выходное излучение лазерного изделия класса 1М потенциально опасно при наблюдении с использованием телескопической оптики, такой как телескоп или бинокль [см. перечисление а) 5.3].

3 Испытания для установления класса изделия ограничены испытаниями в рабочем режиме, поэтому для некоторых изделий со встроенными лазерами излучение выше ПДИ для данного класса изделия может стать допустимым в режиме технического (см. 6.2.1) или сервисного обслуживания, когда блокировка панели доступа отключена или изделие открыто или разобрано.

3.21 **лазерное изделие класса 2** (Class 2 laser product): Лазерное изделие, генерирующее излучение в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, при работе которого невозможен доступ человека к лазерному излучению (допустимое излучение см. 3.2), превышающего предельно допустимое излучение для класса 2 для соответствующих длин волн и длительностей излучения [см. перечисление с) 5.3].

Примечания

1 См. также ограничения классификационной схемы в приложении С.

2 Испытания для установления класса изделия ограничены испытаниями в рабочем режиме, поэтому для некоторых изделий со встроенными лазерами излучение выше ПДИ для данного класса изделия может стать допустимым в режиме технического (см. 6.2.1) или сервисного обслуживания, когда блокировка панели доступа отключена или изделие открыто или разобрано.

3.22 **лазерное изделие класса 2М** (Class 2M laser product): Лазерное изделие, генерирующее излучение в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, при работе которого невозможен доступ человека к лазерному излучению (допустимое излучение — см. 3.2), превышающего предельно допустимое излучение для класса 2 для соответствующих длин волн и длительностей излучения [см. перечисление е) 4.3], причем уровень излучения измеряется в соответствии с перечислением с) 5.3.

Примечания

1 См. также ограничения классификационной схемы в приложении С.

2 Выходное излучение лазерного изделия класса 2М потенциально опасно при наблюдении с использованием телескопической оптики, такой как телескоп или бинокль [см. перечисление с) 5.3].

3 Испытания для установления класса изделия ограничены испытаниями в рабочем режиме, поэтому для некоторых изделий со встроенными лазерами излучение выше ПДИ для данного класса изделия может стать допустимым в режиме технического (см. 6.2.1) или сервисного обслуживания, когда блокировка панели доступа отключена или изделие открыто или разобрано.

3.23 **лазерные изделия классов 3R и 3В** (Class 3R and Class 3B products): Лазерное изделие, при работе которого возможен доступ человека к лазерному излучению (допустимое излучение — см. 3.2), превышающего предельно допустимое излучение для классов 1 и 2 в соответствующих случаях, но не возможен доступ человека к лазерному излучению, превышающему предельно допустимое излучение для классов 3R и 3В (соответственно) для любых длительностей и длин волн излучения [см. перечисления d) и е) 5.3].

Примечания

1 См. также ограничения классификационной схемы в приложении С.

2 Изделия классов 1М и 2М могут иметь выходящее излучение выше или ниже ПДИ для класса 3R в зависимости от их оптических характеристик.

3 Испытания для установления класса изделия ограничены испытаниями в рабочем режиме, поэтому для некоторых изделий со встроенными лазерами излучение выше ПДИ для данного класса изделия может стать допустимым в режиме сервисного обслуживания, когда блокировка панели доступа отключена или изделие открыто или разобрано.

3.24 **лазерное изделие класса 4** (Class 4 laser product): Лазерное изделие, при работе которого возможен доступ человека к лазерному излучению (допустимое излучение — см. 3.2), превышающему предельно допустимое излучение для класса 3В [см. перечисление f) 5.3].

Примечание — См. также ограничения классификационной схемы в приложении С.

3.25 **сопутствующее излучение** (collateral radiation): Любое электромагнитное излучение с диапазоном длины волн от 180 нм до 1 мм, за исключением основного лазерного излучения от лазерного изделия, возникающее в результате работы лазера или фактически необходимое для его работы.

3.26 **коллимированный пучок** (collimated beam): Пучок излучения с очень малой угловой расходимостью или сходимостью.

3.27 **контактный режим** (contact mode): Использование лазерного изделия в условиях, когда система переноса пучка находится в тесном контакте с намеченной целью.

Примечания

1 Система переноса пучка необязательно должна быть в «физическом» контакте. Она, например, может находиться близко к намеченной цели при условии соответствующих мер инженерного контроля.

2 Данное определение соответствует изделиям, отнесенным к классу 1С.

3.28 **непрерывный режим работы лазера;** CW (continuous wave, CW): Режим работы лазера, при котором лазер генерирует непрерывное лазерное излучение с длительностью излучения не менее 0,25 с.

Примечание — Данное определение применимо только для французского языка.

3.29 **заданная траектория пучка** (defined beam path): Намеченный путь лазерного пучка в лазерном изделии.

3.30 **демонстрационное лазерное изделие** (demonstration laser product): Лазерное изделие, сконструированное, изготовленное, предназначенное или приспособленное для целей демонстрации, развлечения, рекламы, шоу или создания художественной композиции.

Примечание — Термин «демонстрационное лазерное изделие» неприменим к лазерным изделиям, сконструированным и предназначенным для других применений, несмотря на то, что могут быть использованы для демонстрации этих применений.

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

[IEC 60050-845:1987, 845-04-47, изменено — формулировка определения полностью изменена]

Примечание — Абсолютный рассеиватель разрушает все корреляционные связи между падающим и отраженным излучением.

3.32 **изделие с встроенным лазером** (embedded laser product): Лазерное изделие, которому вследствие конструктивных особенностей, ограничивающих допустимое излучение, установлен класс ниже, чем класс входящего в него лазера.

Примечание — Лазерное изделие, входящее в состав изделия со встроенным лазером, называется встроенным лазерным изделием или встроенной лазерной системой.

3.33 **длительность излучения** (emission duration): Длительность импульса, серии импульсов или непрерывного излучения, в течение которого человек может подвергнуться воздействию лазерного излучения при проведении ремонтных работ или сервисного обслуживания.

Примечание — Для одиночного импульса это длительность между точкой половины пиковой мощности на переднем фронте импульса и соответствующей точкой заднего фронта. Для последовательности импульсов (или подгрупп последовательности импульсов) это длительность между точкой половины пиковой мощности первого импульса и последней точкой половины пиковой мощности последнего импульса.

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

Примечание — Такое излучение включает в себя нежелательные отражения от элементов на пути пучка и отклонение излучения от смещенных или поврежденных элементов.

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

Примечание — Для одиночного импульса это длительность между точкой половины пиковой мощности на переднем фронте импульса и соответствующей точкой заднего фронта. Для последовательности импульсов (или подгрупп последовательности импульсов) это длительность между точкой половины пиковой мощности первого импульса и последней точкой половины пиковой мощности последнего импульса.

3.36 **наблюдение протяженного источника** (extended source viewing): Условия наблюдения, при которых видимый источник на расстоянии 100 мм или более стягивает угол на уровне глаз больше минимального углового размера α_{min}.

Примечания

1 В данном стандарте при учете опасности термического поражения сетчатки глаз рассматриваются два протяженных источника: промежуточный и большой. Их используют для разграничения источников с угловыми размерами видимого источника α, между α_{min} и α_{max} (промежуточные источники), а также больше α_{max} (большие источники). См. также 3.82.

2 Примеры, в которых коэффициент C_6 [см. перечисление c) 4.3 и таблицу 9] может быть более 1, включают просмотр некоторых источников диффузионного лазера, диффузионных отражений, некоторых линейных лазеров и ряда диодных матриц.

3.37 **безопасно для зрения** (eye-safe): Допустимое излучение ниже предельно допустимого излучения класса 1, или экспозиция ниже максимально допустимого воздействия для глаза при заданной длительности экспозиции.

Примечания

1 Данный термин неправильно употребляется в некоторых рекламных материалах о лазерном излучении с длиной волны более 1400 нм, исходя из повышенных пределов воздействия в таком диапазоне длины волны по сравнению с областью опасности для сетчатки. Термин «безопасный для зрения лазер» может использоваться для описания лазерных изделий только класса 1. Даже если класс 1 может быть указан в качестве безопасного для зрения, если это видимое излучение, кратковременные зрительные расстройства, такие как ослепление вспышкой и остаточные изображения, все же возможны в результате прямого взгляда на пучок.

2 Термин «безопасный для зрения лазер» не может быть использован для описания лазера основываясь лишь на выходной длине волны более 1400 нм, так как вред может быть причинен лазерами с любой длиной волны при достаточной мощности.

3.38 **безопасно при отказе** (fail safe): Конструктивное исполнение, при котором отказ одного из компонентов не повышает степень опасности.

Примечание — В состоянии отказа система становится нерабочей или опасность не повышается.

3.39 **отказозащищенная защитная блокировка** (fail safe safety interlock): Блокировка, которая в режиме отказа продолжает выполнять свои функции.

Примечания

1 Например, блокировка, которая автоматически переводит систему в состояние «ВЫКЛ» как только открывается внешний защитный кожух или крышка и которая удерживает систему в состоянии «ВЫКЛ» до момента, пока не будет закрыт внешний защитный кожух или крышка.

2 В контексте настоящего стандарта защитная блокировка в положении «ВЫКЛ» перекрывает или ослабляет пучок до безопасного уровня.

При использовании электрических, электронных или программируемых компонентов для оценки надежности блокировки допускается использовать IEC 61508 или ISO 13849.

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

a) способность человека выдерживать лазерное излучение, испускаемое лазерным изделием, то есть излучение, которое может воздействовать за пределами защитного кожуха;

b) способность цилиндрического зонда диаметром 100 мм и длиной 100 мм перехватывать уровни излучения класса 3B и ниже;

c) способность кисти человека или в целом руки выдерживать уровни перехвата излучения свыше предельно допустимого излучения класса 3B;

d) в отношении защитного кожуха применительно к уровням излучения, эквивалентным классу 3B или 4, способность любой части тела человека выдерживать опасное лазерное излучение, которое может быть напрямую отражено отдельной подведенной плоской поверхностью от внутренней части изделия через отверстие в защитном кожухе.

Примечание — Для лазерных изделий, предусматривающих доступ людей, необходимо учитывать излучение как внутри, так и снаружи защитного кожуха для определения доступа человека. Доступ к внутренним частям корпуса может быть исключен средствами инженерного контроля, такими как автоматические системы отключения.

3.41 **интегральное излучение (доза излучения) L_t** [integrated radiance (radiance dose) L_t]: Интеграл излучения при заданной длительности экспонирования, выраженный как энергия излучения на единицу площади поверхности излучения и на единицу телесного угла излучения.

Примечания

1 В руководствах Международной комиссии по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP) данное количество также указывается в качестве дозы облучения и используется обозначение D.

2 Единица СИ: джоуль на квадратный метр на стерадиан (Дж $\cdot$ м$^{-2}$ $\cdot$ ср$^{-1}$).

3.42 **наблюдение в пучке** (intrabeam viewing): Наблюдение в условиях, когда глаз подвергается воздействию прямого или зеркально отраженного лазерного пучка, в противоположность наблюдению, например, диффузного отражения.

3.43 **облученность *E*** (irradiance *E*): Доля потока излучения dΦ, падающего на элемент поверхности от площади d*A* такого элемента.

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

Примечание — Единица СИ: ватт на квадратный метр (Вт · м$^{-2}$).

3.44 **лазер** (laser): Прибор, который может создавать или усиливать электромагнитное излучение в диапазоне длины волн от 180 нм до 1 мм главным образом благодаря контролируемому процессу вынужденного излучения.

[IEC 60050-845:1987, 845-04-39, изменено — формулировка определения полностью изменена]

3.45 **контролируемая лазерная зона** (laser controlled area): Зона, в которой пребывание и деятельность тех, кто находится внутри, подлежит контролю и надзору с целью защиты от опасностей лазерного излучения.

3.46 **источник лазерной накачки** (laser energy source): Устройство, предназначенное для использования совместно с лазером, чтобы подавать энергию для создания инверсной населенности в активной среде лазера.

Примечание — Общие источники энергии, такие как электропитание или аккумуляторы, не рассматриваются в качестве источников лазерной накачки.

3.47 **область лазерной опасности** (laser hazard area): Зона, внутри которой воздействие на глаз и/или кожу превышает соответствующие значения максимально допустимого воздействия [см. номинальная опасная зона для глаз (3.64)].

Примечание — Во избежание двусмысленности следует указывать, имеет ли область опасности МДВ на глаза или кожу.

3.48 **лазерное изделие** (laser product): Изделие или сборка компонентов, которые представляют собой лазер, включают или предназначены для включения лазера или лазерной системы.

3.49 **лазерное излучение** (laser radiation): Электромагнитное излучение от лазерного изделия в диапазоне длины волн от 180 нм до 1 мм, которое генерируется методом контролируемого вынужденного усиления.

3.50 **ответственный за лазерную безопасность** (laser safety officer): Лицо, компетентное в вопросах оценки и контроля опасности лазерного излучения и отвечающее за организацию контроля рисков поражения лазерным излучением.

3.51 **лазерная система** (laser system): Лазер в сочетании с соответствующим источником лазерной накачки с дополнительными вмонтированными компонентами или без них.

3.52 **светодиод;** СИД (light emitting diode; LED): Полупроводниковое устройство с p-n переходом, которое может быть создано для получения электромагнитного излучения в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм путем излучательной рекомбинации в полупроводнике.

Примечание — Оптическое излучение возникает преимущественно в результате спонтанного испускания, хотя может присутствовать также некоторая доля вынужденного испускания.

3.53 **предельный угол восприятия для оценки фотохимической опасности для сетчатки γ_{ph}** (limiting angle of acceptance for evaluating retinal photochemical hazards γ_{ph}): Плоский угол, в пределах которого регистрируется излучение, используемый для определения доступного излучения или уровней облучения для сравнения с пределами фотохимического повреждения сетчатки.

Примечания

1 Угол γ_{ph} связан с движениями глаз и не зависит от углового размера источника. Если угловой размер источника больше, чем установленный предельный угол восприятия γ_{ph}, то угол восприятия γ ограничен γ_{ph} и источник сканируют для выявления горячих точек. Если угол восприятия γ не ограничен установленным уровнем, то степень опасности может быть переоценена.

2 Если угловой размер видимого источника меньше, чем установленный предельный угол восприятия, то действительный угол восприятия измерительного прибора не влияет на измеренное значение и не должен быть ограничен, т. е. может быть использован обычный «открытый» угол восприятия радиометра установки.

3 Единица СИ: радиан.

3.54 **предельный угол восприятия для оценки термической опасности γ_{th}** (limiting angle of acceptance for evaluating thermal hazards γ_{th}): Максимальный угловой размер видимого источника, используемый при оценке степени опасности теплового повреждения сетчатки.

Примечания

1 Значение угла восприятия γ может варьироваться между α_{min} и α_{max} [см. перечисления d) 4.3 и b) 2) 5.4.3].

2 Единица СИ: радиан.

3.55 **ограничивающая апертура** (limiting aperture): Круглая площадь, по которой проводят усреднение облученности и энергетической экспозиции.

3.56 **техническое обслуживание** (maintenance): Указанные в информации для пользователя, прилагаемой производителем к лазерному изделию, сведения о регулировке или процедурах, которые следует выполнять в целях обеспечения применения изделия по назначению.

Примечание — Не включает в себя эксплуатацию и сервисное обслуживание.

3.57 **максимальный угловой размер α_{max}** (maximum angular subtense α_{max}): Значение углового размера видимого источника, выше которого максимально допустимое воздействие и предельно допустимое излучение не зависят от размера источника.

Примечания

1 Значение α_{max} может варьироваться от 5 до 100 мрад в зависимости от длительности излучения (см. таблицу 9).

2 Единица СИ: радиан.

3.58 **максимальная выходная интенсивность (мощность/энергия)** (maximum output): Максимально доступная мощность/энергия (интенсивность) излучения, используемая для определения класса лазерного изделия.

Примечание — Поскольку определение допустимого излучения, помимо других условий, включает в себя учет условий единичного отказа (см. 5.1), максимальное выходное излучение во время штатной работы может превышать допустимое выходное излучение.

3.59 **максимально допустимое воздействие;** МДВ (maximum permissible exposure, MPE): Уровень лазерного облучения, до достижения которого в нормальных условиях воздействие на людей может происходить без вредных последствий.

Примечания

1 Уровни МДВ представляют собой предел, до достижения которого воздействие на глаза или кожу может не повлечь за собой немедленного или отдаленного поражения. Уровни МДВ связаны с длиной волны лазерного излучения, длительностью импульса или воздействия, опасностью для ткани, а также при видимом или находящемся рядом инфракрасном излучении в диапазоне длины волн от 400 до 1400 нм — с размером изображения на сетчатке. Уровни максимально допустимого воздействия (по современным научным сведениям) приведены в приложении А.

2 Уровни МДВ, приведенные в приложении А, являются справочными и предназначены для того, чтобы производитель мог рассчитать номинальное безопасное расстояние для глаз, выполнить анализ риска и уведомить пользователя о безопасности работы с изделием. Пределы воздействия для глаз и кожи работников на рабочем месте и широкого круга лиц законодательно установлены во многих странах. Имеющие обязательную силу пределы воздействия в разных странах могут отличаться от максимально допустимого воздействия приведенных в приложении А.

3.60 **медицинское лазерное изделие** (medical laser product): Лазерное изделие, разработанное, изготовленное, предназначенное или приспособленное для целей диагностического, хирургического, косметического или терапевтического лазерного облучения на живую ткань любой части тела человека.

3.61 **минимальный угловой размер α_{min}** (minimum angular subtense α_{min}): Значение углового размера видимого источника, выше которого источник рассматривается как протяженный.

Примечания

1 МДВ и ПДИ не зависят от размера источника, если этот размер менее α_{min}.

2 Единица СИ: радиан.

3 α_{min} = 1,5 мрад.

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

Примечание — Несмотря на то, что это явление может быть преднамеренным, оно может происходить и спонтанно — как «самосинхронизация мод». Получаемые пиковые мощности могут значительно превышать среднюю мощность.

3.63 **наиболее опасное положение** (most restrictive position): Положения в пучке, где отношение допустимого излучения к предельно допустимому излучению является максимальным.

Примечание — Допустимое излучение и ПДИ могут зависеть от места оценки по отношению к пучку. См. также 3.36.

3.64 **номинальная опасная зона для глаз;** НОЗГ (nominal ocular hazard area, NOHA): Область внутри которой значения облученности или энергетической экспозиции превышают соответствующие значения максимально допустимого воздействия на роговицу, учитывая возможность случайного отклонения лазерного луча.

Примечание — Если в НОЗГ имеется возможность наблюдения через оптические устройства, тогда ее называют «расширенная НОЗГ» (extended NOHA).

3.65 **номинальное безопасное расстояние для глаз;** НБРГ (nominal ocular hazard distance, NOHD): Расстояние от выходной апертуры, за пределами которого значения облученности или энергетической экспозиции остается ниже соответствующего значения максимально допустимого воздействия на роговицу.

Примечание — Если на НБРГ возможно наблюдение с помощью оптических приборов, то этот термин называют «расширенное номинальное безопасное расстояние для глаз; РНБРГ» (extended nominal ocular hazard distance; ENOHD).

3.66 **функционирование** (operation): Выполнение лазерным изделием в полном объеме предназначенных ему функций.

Примечание — Не включает в себя техническое и сервисное обслуживание.

3.67 **предел фотохимической опасности** (photochemical hazar limit): Максимально допустимое воздействие или предельно допустимое излучение, определенное с целью защиты людей от вредного фотохимического воздействия.

Примечание — В ультрафиолетовом диапазоне длины волны установление предела фотохимической опасности направлено на защиту от вредных воздействий на роговицу и хрусталик, в то время как предел фотохимической опасности для сетчатки, определенный в диапазоне длины волны от 400 до 600 нм, предохраняет от фоторетинита — фотохимического поражения сетчатки вследствие воздействия излучением.

3.68 **защитный кожух** (protective housing): Части (устройства), входящие в состав лазерного изделия (в том числе изделия, содержащие встроенный лазер), которые предназначены для предотвращения доступа человека к лазерному излучению, превышающему предельно допустимое излучение (как правило, устанавливаются или собираются изготовителем).

Примечание — См. 5.1, касающийся требований к испытаниям для оценки пригодности защитного кожуха для предотвращения доступа людей.

3.69 **длительность импульса** (pulse duration): Промежуток времени, измеренный между точками, соответствующими половине пиковой мощности на фронте и срезе импульса.

3.70 **импульсный лазер** (pulsed duration): Лазер, испускающий излучение в виде одиночного импульса или серии импульсов.

Примечание — В настоящем стандарте принято, что длительность импульса менее 0,25 с.

3.71 **энергетическая яркость *L*** (radiance *L*): Величина, вычисляемая по формуле

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

где $d\Phi$ — поток излучения, переносимый элементарным пучком, который проходит через заданную точку и распространяется в телесном угле $d\Omega$, в заданном направлении;

dA — площадь элемента пучка, содержащего заданную точку;

θ — угол между нормалью к сечению и направлением распространения пучка.

Примечания

1 Данное определение представляет собой упрощенную версию IEV 845-01-34, достаточную в контексте настоящего стандарта. При необходимости следует использовать определение IEV.

2 Единица СИ: ватт, деленный на квадратный метр и стерадиан ($Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$).

[IEC 60050-845:1987, 845-01-34, изменено — определение упрощено]

3.72 **энергия излучения *Q*** (radiant energy *Q*): Интеграл по времени от потока излучения Φ при заданной длительности Δt:

$$Q = \int_{\Delta t} \Phi \mathrm{d}t.$$

Примечание — Единица СИ: джоуль (Дж).

[IEC 60050-845:1987, 845-01-27, изменено — определение упрощено]

3.73 **энергетическая экспозиция *H*** (radiant exposure *H*): Энергия излучения, падающего на элемент поверхности, деленная на площадь этого элемента в точке на поверхности:

$$H = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}A} = \int E \mathrm{d}t.$$

Примечание — Единица СИ: джоуль, деленный на квадратный метр ($Дж \cdot м^{-2}$).

3.74 **мощность излучения *P* (поток излучения Φ)** [radiant power *P* (radiant flux Φ)]: Мощность, испускаемая, передаваемая или принимаемая в виде излучения.

$$\Phi = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t}.$$

Примечание — Единица СИ: ватт (Вт).

[IEC 60050-845:1987, 845-01-24]

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

Примечание — Единица СИ: безразмерное отношение.

[IEC 60050-845:1987, 845-04-58, изменено со ссылкой на мощность излучения вместо потока излучения]

3.76 **дистанционный блокировочный коннектор** (remote laser radiation): Коннектор, который позволяет подсоединять внешние органы управления, содержащие блокировочные устройства, расположенные на удалении от других узлов лазерного изделия.

Примечание — См. 6.4.

3.77 **защитная блокировка** (safety interlock): Автоматическое устройство, связанное с каждой частью защитного кожуха лазерного изделия и служащее для предотвращения доступа человека к лазерному излучению лазерных устройств классов 3R, 3B или 4, если такая часть защитного кожуха демонтирована, открыта или удалена.

Примечание — См. 6.3.

3.78 **сканирующее лазерное излучение** (scanning laser radiation): Лазерное излучение с изменяющимися во времени направлением, начальной точкой или картиной распределения относительно неподвижной системы координат.

3.79 **сервисное обслуживание** (service): Выполнение процедур или регулировок, описанных производителем в сервисной инструкции, которые могут повлиять на любой из аспектов технической характеристики изделия.

Примечание — Не включает в себя техническое обслуживание или эксплуатацию.

3.80 **сервисная панель** (service panel): Панель доступа, которую можно снять или сдвинуть при выполнении сервисного обслуживания.

3.81 **условие единичного отказа** (single fault condition): Любой возможный единичный отказ в изделии и прямые последствия этого.

3.82 **точечный источник** (small source): Источник, угловой размер α которого не превышает минимального углового размера α_{min}.

3.83 **зеркальное отражение** (specular reflection): Отражение от поверхности, которое можно считать пучком [см. 3.11] (имеющее преимущественно одно направление), включая отражения от зеркальных поверхностей.

Примечание — Данное определение предназначено для признания того, что некоторые отражающие поверхности, такие как параболические отражатели, могут увеличивать опасность от падающего луча.

3.84 **предел термической опасности** (thermal hazard limit): Максимально допустимое воздействие или предельно допустимое излучение, определенные с целью защиты людей от вредного термического воздействия.

3.85 **базовый промежуток времени** (time base): Длительность излучения, используемая для классификации лазерных изделий.

Примечание — См. перечисление e) 4.3.

3.86 **инструмент** (tool): Отвертка, шестигранный гаечный ключ или другой предмет, который можно использовать при работе с винтами и другими подобными средствами крепления.

3.87 **коэффициент пропускания τ** (transmittance τ): Отношение потока переданного излучения к падающему потоку при заданных условиях.

Примечание — Единица СИ: безразмерное отношение.

[IEC 60050-845:1987, 845-04-59, изменено]

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

$$D = - \lg \tau.$$

[IEC 60050-845:1987, 845-04-66]

3.89 **видимое излучение (свет)** [visible radiation (light)]: Оптическое излучение, которое может вызывать непосредственное зрительное восприятие.

Примечание — В настоящем стандарте так обозначается среднее электромагнитное излучение, при котором длины волн монохромных компонентов составляют от 400 до 700 нм.

[IEC 60050-845:1987, 845-01-03, изменено — заменено примечание]

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

4 Принципы классификации

4.1 Общая информация

Классификация лазерного изделия основана на определении уровня допустимого излучения (согласно правилам, представленным в разделе 5) и его сопоставлении с ПДИ для каждого класса. Для классов 1, 1M, 2, 2M и 3R могут потребоваться дополнительные измерения, чтобы определить необходимость дополнительных предупредительных знаков (см. раздел 7). При классификации изделия применяются особые правила [например, по классу 1C см. перечисление b) 5.3 и 4.4, где указаны конкретные изделия с распределенным источником излучения].

В связи с широким диапазоном возможных длин волн, энергоемкости и импульсных характеристик лазерного пучка потенциальные опасности его использования существенно различаются. Объединить все лазеры в одну группу, к которой применимы общие нормы безопасности, невозможно. В приложении C приведено детальное описание опасностей по классам и возможных ограничений (например, использование оптических приборов при наблюдении).

4.2 Ответственность за классификацию

Обеспечение надлежащей классификации лазерного изделия входит в обязанности производителя (см. 6.1).

4.3 Правила классификации

Изделие подлежит классификации на основании сочетания выходной мощности и длины волны допустимого излучения (лазерное излучение) во всем диапазоне функциональности при работе в любое время после изготовления. Эти условия позволяют отнести изделие к соответствующему

наивысшему классу. При оценке обязательно следует учитывать обоснованно прогнозируемые условия единичного отказа в процессе эксплуатации (см. 5.1 относительно применения основных положений оценки степени риска, для определения которых единичный отказ разумно предсказуем).

Лазерное изделие может быть отнесено к определенному классу, если только оно соответствует всем требованиям настоящего стандарта для этого класса, например средствам инженерного контроля, маркировке и информации для пользователя.

Для лазерных изделий, генерирующих непрерывное лазерное излучение на одной длине волны, пучки которых хорошо коллимированы или их можно считать точечным источником, процедура классифицирования может быть упрощена, и следующие перечисления могут не рассматриваться: b), c), d), f) 4.3.

В целях соблюдения правил классификации необходимо использовать следующее разделение по классам (в возрастающем порядке уровня опасности для глаз): класс 1, класс 1C, класс 1M, класс 2, класс 2M, класс 3R, класс 3B, класс 4.

Примечания

1 Изделия класса 1C не считаются опасными для глаз (как и класса 1), однако в случае ненадлежащего использования могут представлять опасность для кожи [см. также перечисление b) 5.3].

2 Для отнесения лазерных изделий к классу 1M или 2M использование апертуры, обозначенной в качестве условия 3, ограничивает количество излучения, которое может быть получено через зрачок из пучков большого диаметра. При измерении согласно условию 1 изделия классов 1M и 2M могут обладать повышенным уровнем энергии или мощности, чем предельно допустимое излучение класса 2 или 3R. Такие лазерные изделия соответствуют классу 1M или 2M.

Предельно допустимое излучение для классов 1, 1M, 2, 2M, 3R и 3B приведены в таблицах 3—8. Используемые значения поправочных коэффициентов приведены в таблице 9 в качестве функций длины волны, длительности излучения, количества импульсов и углового размера.

a) Излучение на одной длине волны

Лазерное изделие на одной длине волны, в котором спектральный диапазон линии излучения сужается достаточно, чтобы исключить изменения ПДИ, относят к одному из классов, если допустимое лазерное излучение, измеренное при условиях, соответствующих такому классу, превышает ПДИ всех меньших классов, но не превышает значения присвоенного класса.

b) Излучение на нескольких длинах волн

1) Лазерное изделие, излучающее на двух или более длинах волн в спектральных диапазонах, которые показаны в таблице 1 как аддитивные для глаза, относится к определенному классу, когда сумма отношений допустимого лазерного излучения (излучение, измеренное в условиях, соответствующих данному классу) к ПДИ с такими длинами волн выше единого целого всех низших классов, но не превышает единое целое присвоенного класса. Такое правило применяется также к нелазерному излучению, которое совмещается на сетчатке при длинах волн от 400 до 1400 нм или совпадает с апертурной диафрагмой другими диапазонами длины волны. Таким образом, нелазерное излучение должно быть классифицировано в соответствии с настоящим стандартом.

2) Лазерному изделию, излучающему на двух и более длинах волн, не указанных в таблице 1 как аддитивные для глаз, относят к тому или иному классу, когда допустимое лазерное излучение, измеренное в условиях, соответствующих такому классу, превышает ПДИ всех низших классов не менее чем на одну длину волны, но не превышает ПДИ присвоенного класса на какую-либо длину волны.

Таблица 1 — Аддитивность воздействия излучения на глаза и кожу в различных спектральных диапазонах[c]

Спектральный диапазон[a]	УФ-С и УФ-В от 180 до 315 нм	УФ-А от 315 до 400 нм	Видимый и ИК-А от 400 до 1400 нм	ИК-В и ИК-С от 1400 до 10^6 нм
УФ-С и УФ-В от 180 до 315 нм	o s			
УФ-А от 315 до 400 нм		o s	 s	o s
Видимый и ИК-А от 400 до 1400 нм		s	o[b] s	s

Окончание таблицы 1

Спектральный диапазон[a]	УФ-С и УФ-В от 180 до 315 нм	УФ-А от 315 до 400 нм	Видимый и ИК-А от 400 до 1400 нм	ИК-В и ИК-С от 1400 до 10^6 нм
ИК-В и ИК-С от 1400 до 10^6 нм		o s	s	o s

o — глаз; s — кожа.

[a] Определения спектральных диапазонов представлены в таблице D.1.

[b] Если ПДИ и окулярное МДВ оцениваются по базовым промежуткам времени или по длительности воздействия 1 с и более, аддитивное фотохимическое воздействие (от 400 до 600 нм) и аддитивное тепловое воздействие (от 400 до 1400 нм) должны оцениваться независимо, при этом необходимо использовать наиболее ограничивающее значение.

[c] При определении ПДИ применимы только правила аддитивности для глаза.

c) Излучение от протяженных источников

Опасность для глаз от лазерного источника в диапазоне длины волн от 400 до 1400 нм зависит от углового размера видимого источника α. Такая зависимость отражена соответствующими значениями ПДИ по коэффициенту C_6 (см. таблицу 9), а также правилами определения допустимого излучения с заданным углом восприятия.

Примечания

1 Источник считается протяженным, если угловой размер источника выше α_{min} при α_{min} = 1,5 мрад. В большинстве лазерных источников угловой размер α менее α_{min}, и они выступают в качестве видимого «точечного источника» (малого источника) при взгляде, когда зрачок находится в пучке (наблюдение в пучке). Действительно, круглый лазерный пучок не может быть коллимированным до угла расходимости менее 1,5 мрад, как у протяженного источника. Таким образом, лазер с расходимостью пучка не более 1,5 мрад не может быть классифицирован как протяженный источник. Для точечного источника α задан на α_{min} = 1,5 мрад и C_6 = 1.

2 При оценке термической опасности для сетчатки (от 400 до 1400 нм) значения ПДИ для протяженных источников изменяются пропорционально угловому размеру источника. При оценке фотохимической опасности для сетчатки (от 400 до 600 нм) при воздействиях дольше 1 с ПДИ изменяются непропорционально угловому размеру источника. В зависимости от длительности излучения [см. перечисление b) 1) 5.4.3] предельный угол восприятия γ_{ph} 11 мрад и более используется для измерения, связанного с фотохимической опасностью, а отношение ограничивающего угла восприятия γ_{ph} к угловому размеру α видимого источника может оказывать влияние на измеряемую величину.

3 В случае условия по умолчанию, когда C_6 = 1, для ПДИ классов 1, 1M предусмотрена упрощенная таблица 3, для ПДИ класса 3R — упрощенная таблица 6.

Для источников с угловым размером менее или равным α_{min} ПДИ и МДВ не зависят от углового размера видимого источника α.

При классификации лазерных изделий в наиболее ограничивающем положении, в котором применяется условие 1 (см. 5.4.3), увеличение в семь раз углового размера α видимого источника может применяться для определения C_6, то есть: $C_6 = 7 \cdot \alpha/\alpha_{min}$. Выражение ($7\alpha$) перед вычислением C_6 должно быть ограничено до α_{max}. Значение семикратного увеличения угла α следует использовать для определения T_2 из таблицы 9.

Примечание — В случаях, когда $\alpha < 1{,}5$ мрад, но $7\alpha > 1{,}5$ мрад, применяются границы для $\alpha > 1{,}5$ мрад из таблицы 4.

d) Неоднородные, некруглые или многоэлементные видимые источники

Для сравнения с тепловыми пределами для сетчатки, если:

- диапазон длины волны от 400 до 1400 нм,
- ПДИ зависит от C_6,

при этом если:

- изображение видимого источника не обладает однородным профилем облученности[1)] или
- изображение видимого источника состоит из множества точек,

то измерения или оценки должны быть выполнены в отношении каждого из следующих сценариев:

- для каждой отдельной точки;
- для различных скоплений точек;
- для частичных областей.

[1)] Для гауссова профиля пучка (создаваемого пучком TEM_{00}) угловой размер может быть определен по диаметру d_{63} (аналогично определению диаметра пучка; см. 3.13), при этом анализ частичных областей не требуется.

Это необходимо для гарантии того, что ПДИ не превышен для каждого возможного углового размера α при любых условиях. При оценке скоплений точек или частичных областей угол восприятия γ должен варьироваться в каждом размере между α_{min} и α_{max}, то есть: $\alpha_{min} < \gamma < \alpha_{max}$ — для определения частично допустимого излучения, связанного с соответствующими условиями. Для сравнения пределов частично допустимого излучения с соответствующими ПДИ значение α выбирают равным угловому размеру, который связан с частью изображения видимого источника.

Классификация должна быть основана на случае, когда отношение между частично допустимым излучением в пределах частичной области углового размера α такой области и соответствующим ПДИ является максимальным.

Угловой размер прямоугольного или линейного источника определяют по среднему арифметическому двух угловых размеров источника. Любой угловой размер более α_{max} или менее α_{min} перед расчетом среднего должен быть ограничен соответственно до α_{max} или α_{min}.

В целях определения углового размера увеличенного некруглого источника для условия 1 следует применять семикратное увеличение, описание которого приведено в перечислении c) 4.3, оно должно применяться отдельно для каждой оси перед определением среднего арифметического значения.

Фотохимические пределы (от 400 до 600 нм) не зависят от углового размера источника, а источник анализируется с угловым размером восприятия, обозначенным в перечислении b) 5.4.3. По источникам больше предельного угла восприятия допустимое излучение должно быть определено как для частичного видимого источника, который формирует максимальную величину излучения.

e) Базовые промежутки времени

Для классификации в настоящем стандарте используются следующие базовые промежутки времени:

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

2) 100 с — лазерное излучение всех длин волн более 400 нм, за исключением случаев, указанных в перечислениях 1) и 3).

3) 30 000 с — лазерное излучение всех длин волн менее или равных 400 нм, а также лазерное излучение с длинами волн более 400 нм, при которых целенаправленное длительное наблюдение неотъемлемо при проектировании или эксплуатации лазерного изделия.

Каждая возможная длительность излучения в течение базового промежутка времени должна учитываться при определении классификации изделия. Это значит, что уровень излучения одиночного импульса подлежит сравнению с ПДИ, применяемым к длительности импульса, и т. д. Для длительности классификационного базового промежутка времени недостаточно усреднять уровень излучения или просто выполнять оценку значения базового промежутка времени без учета сокращенной продолжительности излучения.

Примечание — Для лазерного изделия с многоволновым излучением с одновременным и частично перекрывающимся излучением в видимой и невидимой частях спектра, где излучение оценивается как аддитивное (см. таблицу 1) и его видимая часть будет отнесена к классам 2, 2M или 3R, а невидимая — к классу 1 или 1M, базовый промежуток времени для оценки невидимого излучения может быть равен 0,25 с.

f) Лазеры с импульсно-периодическим или модулированным излучением

Нижеприведенные способы необходимо использовать при определении класса лазерного изделия, используемого для получения импульсно-периодического или модулированного излучения.

В качестве общего требования допустимое излучение любой группы импульсов (или подгруппы импульсов в серии), передаваемых в течение заданного времени, не должно превышать ПДИ для такого заданного времени [относительно учета каждой возможной длительности излучения см. перечисление e) 4.3].

Для всех длин волн должны быть определены требования, установленные в перечислениях 1) и 2). Кроме того, для длины волн от 400 до 1400 нм должно быть определено требование, установленное в перечислении 3), для сравнения с тепловыми пределами. Требование, установленное в перечислении 3), не подразумевает ни оценки для сравнения с фотохимическими пределами, ни определения ПДИ класса 3B.

Класс (см. таблицы 3—8) определяется путем применения наиболее жестких ограничений, установленных в перечислениях 1), 2) и 3) для соответствующего случая.

1) Воздействие любого одиночного импульса в пределах серии импульсов не должно превышать ПДИ для одиночного импульса ($ПДИ_{одиноч}$). Для определения допустимого излучения протяженного источника длительность импульса используется в целях установления α_{max} и угла восприятия γ_{th} [см. перечисление b) 5.4.3 и таблицу 9].

2) Средняя мощность серии импульсов длительности излучения T не должна превышать мощность, соответствующую ПДИ одиночного импульса длительности T ($ПДИ_T$). Для установления допустимого излучения протяженного источника длительность излучения T используется в целях определения α_{max} и угла восприятия γ_{th} [см. перечисление b) 5.4.3 и таблицу 9].

Для нерегулярной последовательности импульсов (включая изменяющиеся энергии импульсов) T должно варьироваться между T_i (см. таблицу 2) и базовым промежутком времени. Для регулярной последовательности импульсов достаточно усреднения по базовому промежутку времени (T устанавливается как равное базовому промежутку времени).

Примечание — Для сравнения $ПДИ_T$ с $ПДИ_{одиноч}$ или с $ПДИ_{серии\ о.и}$ в целях определения, какой из критериев является наиболее ограничивающим, $ПДИ_T$ выражается как энергия или энергетическое излучение, делится на N и называется $ПДИ_{о.\ и.\ т}$.

3) Энергия импульса не должна превышать ПДИ одиночного импульса, умноженного на поправочный коэффициент C_5:

$$ПДИ_{серии\ о.и} = ПДИ_{одиноч} \cdot C_5,$$

где $ПДИ_{серии\ о.и}$ — ПДИ одиночного импульса в серии импульсов;

$ПДИ_{одиноч}$ — ПДИ одиночного импульса (см. таблицы 3—8);

N — эффективное число импульсов в серии импульсов в пределах оцениваемой длительности излучения. Когда импульсы возникают в пределах T_i (см. таблицу 2), N меньше фактического количества импульсов (см. ниже). Максимальной длительностью излучения, которую необходимо учитывать, является T_2 (см. таблицу 9) или применяемый базовый промежуток времени — в зависимости от того, что короче;

C_5 — применяется исключительно к отдельной длительности импульсов, не превышающей 0,25 с.

Если длительность импульса $t \le T_i$:

- то для базового промежутка времени, не превышающего 0,25 с $C_5 = 1{,}0$;
- для базового промежутка времени более 0,25 с:

если $N \le 600$, то $C_5 = 1{,}0$,

если $N > 600$, то $C_5 = 5 \cdot N^{-0{,}25}$ с минимальным значением $C_5 = 0{,}4$.

Если длительность импульса $t > T_i$,

- для $\alpha \le 5$ мрад $C_5 = 1{,}0$,
- для 5 мрад $< \alpha < \alpha_{max}$:

$C_5 = N^{-0{,}25}$ для $N \le 40$,

$C_5 = 0{,}4$ для $N > 40$;

- для $\alpha > \alpha_{max}$:

$C_5 = N^{-0{,}25}$ для $N \le 625$,

$C_5 = 0{,}2$ для $N > 625$, за исключением случаев, когда $\alpha > 100$ мрад, для которых заведомо $C_5 = 1{,}0$.

Если импульсы генерируются в период T_i (см. таблицу 2), они учитываются в качестве одиночного импульса для определения N, при этом для сравнения с ПДИ, вычисленного для периода T_i, вычисляется сумма энергий отдельных импульсов.

В некоторых случаях рассчитанное значение $ПДИ_{серии\ о.и}$ может быть ниже ПДИ, которое могло бы применяться для работы в непрерывном режиме при аналогичной пиковой мощности с использованием такого же базового промежутка времени. В таких условиях для работы в непрерывном режиме может использоваться ПДИ.

Таблица 2 — Отрезки времени, в которых импульсы суммируются по группам

Длина волны, нм	T_i, с
$400 \le \lambda < 1050$	$5 \cdot 10^{-6}$
$1050 \le \lambda < 1400$	$13 \cdot 10^{-6}$
$1400 \le \lambda < 1500$	10^{-3}
$1500 \le \lambda < 1800$	10

Окончание таблицы 2

Длина волны, нм	T_i, с
$1800 \le \lambda < 2600$	10^{-3}
$2600 \le \lambda < 10^6$	10^{-7}

Примечание — Примеры расчетов приведены в приложении В.

4.4 Лазерные изделия, предназначенные для работы в качестве обычных ламп

Это лазерные изделия (за исключением игрушек), предназначенные для работы в качестве обычных ламп и генерирующие видимое и ближнее инфракрасное оптическое излучение (от 400 до 1400 нм) как протяженные источники с угловым размером α более 5 мрад на расстоянии 200 мм, а также имеющие интенсивность излучения, нормально-распределенную в угле восприятия 5 мрад, не превышающую L_T за цикл работы, и обоснованно спрогнозированными условиями единичного отказа. Где L_T определяется по формуле: $L_T = (1\ \text{МВт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1})/\alpha$.

Излучение может быть альтернативно оценено согласно серии стандартов IEC 62471 «Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем». Для расчета L_T угловой размер α выражается в радианах и определяется на 200 мм от ближайшей точки доступа человека. Величина α в выражении для L_T ограничена значениями между 0,005 и 0,1 рад, в связи с чем для источников, которые имеют угол 0,005 рад, применимый критерий энергетической яркости излучения равен 200 $\text{МВт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$, а для источников угловой размер которых больше чем 0,1 рад, применимый критерий энергетической яркости излучения равен 10 $\text{МВт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$.

Примечания

1 Вышеприведенные значения интенсивности излучения не являются пределами воздействия или пределами излучения, однако представляют собой устанавливаемые критерии, когда испускаемое излучение может быть оценено согласно серии стандартов IEC 62471.

2 Оптическое излучение, исключенное из классификации лазера, может быть монохромным.

Такое изделие должно соответствовать и быть классифицировано согласно настоящему стандарту, за исключением того, что вышеуказанное оптическое излучение во время обычной работы и с обоснованно прогнозируемыми условиями единичного отказа не требуют учета для классификации (то есть вышеприведенное оптическое излучение во время обычной работы не рассматривается как допустимое лазерное излучение). Изделие должно соответствовать требованиям настоящего стандарта для любого лазерного излучения, допустимого также при проведении технического или сервисного обслуживания.

Примечание — Если лазерное излучение отсутствует в процессе работы такого изделия, за исключением вышеприведенного, которое описывается согласно серии стандартов IEC 62471, то это изделие может быть отнесено к лазерному изделию класса 1.

Такому изделию следует присвоить группу риска в соответствии с серией стандартов IEC 62471, и оно должно быть снабжено маркировкой с указанием группы риска, а также классификации лазерного изделия (при необходимости включая класс 1) и соответствующих предупреждений.

Допустимое лазерное излучение с длинами волн менее 400 нм или более 1400 нм необходимо учитывать в классификации изделия в соответствии с настоящим стандартом.

5 Определение допустимого предела излучения и классификация изделий

5.1 Испытания

При проведении испытаний необходимо принимать во внимание все погрешности и статистические неопределенности в процессе измерений, увеличения интенсивности излучения и снижение эффективности системы обеспечения защиты от излучения со временем. Особые пользовательские требования могут включать расширенные испытания. Дополнительные указания по измерениям см. в IEC/TR 60825-13.

Тестирование в процессе работы необходимо для определения класса изделия. Кроме того, следует соответствующим образом использовать испытания во время работы, технического и сервисного обслуживания для установления требований к защитным блокировкам, маркировкам и информации для пользователя. Вышеприведенные испытания следует выполнять при каждом, без исключения, обоснованно прогнозируемом условии единичного отказа. При этом, если излучение автоматически до-

ходит до уровня ниже ПДИ за отрезок времени, в течение которого доступ человека обоснованно не прогнозируется, такие отказы не принимаются во внимание. Необходимая надежность автоматического снижения уровня излучения в пределах определенного класса может быть оценена по принципам анализа рисков, например, согласно описанию в IEC 61508, в котором определены уровни полноты безопасности (УПБ). При определении уровней УПБ также должно быть установлено расчетное время реакции на отказ при автоматическом срабатывании; требуемое время реакции также должно быть основано на анализе рисков. Полный анализ согласно IEC 61508 или применение IEC 61508 не требуется.

Анализ риска может быть использован для определения обоснованно прогнозируемых условий единичного отказа. Чтобы определить, учитывается или нет условие единичного отказа в качестве обоснованно прогнозируемого, необходимо принять во внимание вероятность (частоту) отказа и риск травмирования (вероятность воздействия до уровня, который может вызвать травму и серьезность травмы). Чем ниже риск травмирования по причине единичного отказа, тем «чаще» отказ (приводящий к определенному уровню излучения) может допускаться и не учитываться при классификации. Для анализа вероятности и риска возникновения отказов может применяться метод FMEA (анализ типов отказов и их последствий) и процедуры, приведенные в IEC 61508.

Примечания

1 Автоматическое снижение включает в себя физическое ограничение излучения, при котором компонент или система переходят в безопасное состояние. Оно не включает в себя ручное изменение или прерывание.

2 Например, защита при сканировании может не среагировать достаточно быстро для предотвращения превышения излучением ПДИ при условии отказа; однако это может быть допустимым, исходя из результатов анализа рисков.

3 Классификация определяется в процессе работы, а далее ограничения по техническому обслуживанию зависят от классификации изделия.

4 Условия единичного отказа можно оценивать методами, не связанными с физическим стимулированием отказа в целях испытания.

При оценке пригодности защитных кожухов в целях предотвращения доступа человека к излучению лазера класса 4 следует учитывать случаи единичного отказа для всех обоснованно прогнозируемых изменений в направлениях пучка. Анализ должен включать рассмотрение возможности возникновения такого единичного отказа, который приведет к выделению энергии, достаточной для ухудшения защитных свойств или разрушения защитного кожуха. Например, когда во время работы или в условиях единичного отказа применение робототехники или других механизмов управления пучком способно привести к перенаправлению излучения на поверхность защитного кожуха, должно произойти одно из событий:

- единичный отказ должен быть устранен с помощью инженерных средств;
- материал защитного кожуха должен выдерживать энергию излучения без нарушения его защитных свойств, достаточных для обеспечения безопасного воздействия лазерного излучения;
- отказ должен быть обнаружен, а проникновение лазерного излучения через защитный кожух должно быть предотвращено до начала разрушения.

Время определения стойкости защитных кожухов менее 30 000 с, как установлено в IEC 60825-4, для классификации изделия неприемлемо.

Примечания

1 Это обусловлено тем, что класс определяется без учета вмешательства человека (см. 6.2.1), таким образом, контроль защитного кожуха пользователем не учитывается.

2 Оценки защитного кожуха, учитывающие контроль со стороны человека или его вмешательство, могут использоваться для определения уровней безопасности или для выявления потенциального разрушения защитного кожуха, что обусловлено потенциально прогнозируемыми событиями отказа или событиями множественных отказов независимо от классификации изделия.

Оптические усилители должны классифицироваться с использованием максимально допустимой общей выходной мощности или энергии, которая может включать номинальную входную мощность или энергию. Если нет четкого предела выходной мощности или энергии, для достижения такого состояния следует использовать максимальную мощность, добавляемую усилителем, а также необходимую мощность или энергию входного сигнала.

Допускаются испытания и процедуры, соответствующие приведенным в настоящем разделе.

5.2 Измерение лазерного излучения

Измерение уровней лазерного излучения является обязательным при классификации лазерного изделия в соответствии с 5.1. Измерения допускается не проводить, если физические характеристики и

предельные возможности лазерного источника точно относят лазерное изделие или лазерную установку к определенному классу [однако следует учитывать требования, приведенные в перечислениях a)—f)].

Измерения необходимо проводить при следующих условиях и процедурах:

a) условия и процедуры, при применении которых достигаются максимальные возможные уровни излучения, включая запуск, устойчивое излучение и отключение лазерного изделия;

b) при всех положениях элементов управления и установочных параметрах, перечисленных в инструкциях по эксплуатации, техническому обслуживанию и сервисного обслуживания, в таком сочетании, при котором создается максимально возможный уровень излучения; измерения также необходимы при использовании принадлежностей, которые могут повысить опасность излучения (например, коллимирующие оптические системы), которые поставляются или предлагаются производителем для использования с изделием, а также могут быть установлены или сняты без инструментов.

Примечание — Включает в себя любую конфигурацию изделия, которую можно получить без использования инструментов или без установки блокировки, включая изменения, сопровождаемые предупреждениями в инструкциях по эксплуатации и техническому обслуживанию. Например, когда оптические элементы, такие как фильтры, диффузоры или линзы, в оптической части лазерного пучка могут быть сняты без инструментов, изделие должно проходить испытания в конфигурации, приводящей к наивысшему уровню опасности. Рекомендация производителям не перемещать оптические элементы не может оправдать отнесение изделия к более низкому классу. Классификация основана на инженерной конструкции изделия и не может опираться на соответствующий характер действий пользователя;

c) для лазерного изделия, не являющегося лазерной системой, в котором к лазеру подсоединяется такой тип источника, который указан изготовителем лазерного изделия как совместимый и обеспечивает от изделия излучение максимального допустимого излучения;

d) в точках пространства, к которым возможен доступ человека в процессе эксплуатации для проведения измерения допустимых пределов излучения (например, если при эксплуатации может потребоваться удаление частей защитного кожуха и отключение защитной блокировки, измерения следует проводить в точках, доступных для данной конфигурации изделия);

e) такое расположение и ориентация детектора измерительного оборудования по отношению к лазерному изделию, при котором регистрируется максимальное лазерное излучение;

f) должны быть созданы необходимые условия для недопущения или устранения влияния сопутствующего излучения при измерении.

5.3 Определение класса лазерного изделия

ПДИ классов 1 и 1M представлены в таблицах 3 и 4, ПДИ класса 2 — в таблице 5, ПДИ класса 3R — в таблицах 6 и 7, ПДИ класса 3B — в таблице 8. Поправочные коэффициенты C_1 и C_7, а также контрольные длительности T_1 и T_2, используемые в таблицах 3—8, определены в таблице 9.

a) Классы 1 и 1M

Класс 1 соответствует диапазону длины волны от 180 нм до 1 мм, класс 1M — диапазону от 302,5 до 4000 нм. Для определения допустимого излучения согласно условиям 1 и 3 см. таблицу 10.

Для длин волны менее 302,5 и более 4000 нм, если допустимое излучение менее или равно ПДИ класса 1 для условия 3, лазерное изделие относят к классу 1.

Если допустимое излучение:

- менее или равно ПДИ класса 1 при условиях 1 и 3, то лазерное изделие относят к классу 1.

Если допустимое излучение:

- более ПДИ класса 1 при условии 1;
- менее ПДИ класса 3B при условии 1;
- менее или равно ПДИ класса 1 при условии 3, то лазерное изделие относят к классу 1M.

Примечание — Присвоение ПДИ класса 3B направлено на ограничение максимальной мощности, проходящей через оптический прибор на случай воздействия пучка лазерного изделия класса 1M.

Если допустимое излучение, определенное с использованием апертуры диаметром 3,5 мм, помещенной в ближайшей точке, где возможен доступ человека, превышает ПДИ для класса 3B, то должно быть указано дополнительное предупреждение о потенциальной опасности для кожи и/или роговицы/радужной оболочки глаза (см. 7.13).

Примечание — Существует вероятность, что лазерное изделие класса 1 с сильно расходящимся пучком может формировать достаточно высокие уровни излучения рядом или в непосредственной близости от источника (например, вывод волокна) с риском повреждения кожи или радужной оболочки. Травма роговицы также может иметь место при таких условиях, когда длина волны более 1000 нм.

b) Класс 1С

Класс 1С применяется, когда лазерное излучение генерируется в непосредственной близости от намеченной цели и обладает средствами защиты, предотвращающими выход лазерного излучения выше ПДИ класса 1. Лазерное изделие может быть отнесено к классу 1С, только если оно соответствует комплексу требований по безопасности для лазерных изделий класса 1С, приведенным в применимом вертикальном стандарте IEC.

Лазерные изделия, предназначенные для использования в контакте с кожей и неглазной тканью, могут быть отнесены к классу 1С только в случае применения частей серии стандартов IEC 60601 или IEC 60335, а также при соблюдении комплекса требований, однозначно относящихся к лазерным изделиям класса 1С. Такие лазерные изделия класса 1С должны включать средства инженерного контроля для гарантии того, что лазерное излучение для глаз не является обоснованно прогнозируемым. Классификация в качестве класса 1С допускается только при наличии соответствующего стандарта IEC, который устанавливает средства инженерного контроля для предотвращения выхода излучения в окружающее пространство или в глаз, и ограничивает воздействие на целевую ткань до уровней, подходящих для целевого применения.

ПДИ класса 1 не должны быть превышены в испытании рассеянного или побочного излучения при условии 3 с излучателем, установленным на рабочем расстоянии или в непосредственной близости от рассеивающей белой поверхности.

Примечание — Типовые лазерные изделия класса 1С должны включать изделия, предназначенные для удаления волос, разглаживания морщин и лечения угревой сыпи, включая изделия для домашнего использования.

c) Классы 2 и 2М

Классы 2 и 2М применяются к диапазону длины волны от 400 до 700 нм. Для определения допустимого излучения при условиях 1 и 3 см. таблицу 10.

Если допустимое излучение превышает пределы, соответствующие классам 1 и 1М [см. перечисление a) выше], и:

- менее или равно ПДИ класса 2 при условиях 1 и 3, то лазерное изделие относят к классу 2.

Если допустимое излучение превышает пределы, установленные для классов 1 и 1М [см. перечисление a) выше], и при этом:

- более ПДИ класса 2 при условии 1; и
- менее ПДИ класса 3В при условии 1; и
- менее или равно ПДИ класса 2 при условии 3,

то лазерное изделие относят к классу 2М.

Примечание — Присвоение ПДИ класса 3В направлено на ограничение максимальной мощности, проходящей через оптический прибор на случай воздействия пучка лазерного изделия класса 2М.

Если допустимое излучение превышает значение ПДИ класса 3В в соответствии с определением по апертуре диаметром 3,5 мм, установленной в ближайшей точке доступа человека, должно быть указано дополнительное предупреждение касательно потенциальной опасности для кожи и/или роговицы/радужной оболочки (см. 7.13).

Примечание — Существует вероятность, что лазерное изделие класса 2 с сильно расходящимся пучком может формировать достаточно высокие уровни излучения рядом или в непосредственной близости от источника (например, вывод волокна) с риском повреждения кожи или радужной оболочки.

За пределами диапазона длины волны от 400 до 700 нм любое дополнительное излучение лазеров класса 2 должно быть менее ПДИ класса 1 [см. перечисление e) 4.3 относительно базового промежутка времени]. Кроме того, если длины волн являются аддитивными для глаза (см. таблицу 1), сумма отношений допустимого видимого излучения к ПДИ класса 2 и допустимого видимого излучения к ПДИ класса 1 должна быть менее 1.

d) Класс 3R

Если допустимое излучение, определенное согласно 5.4 при условиях 1 и 3:

- менее или равно ПДИ класса 3R; и
- допустимое излучение, определенное при условии 3, в зависимости от обстоятельств превышает ПДИ классов 1 и 2,

то лазерное изделие относят к классу 3R.

Если допустимое излучение превышает значение ПДИ класса 3В в соответствии с определением по апертуре диаметром 3,5 мм, установленной в ближайшей точке доступа человека, должно быть указано дополнительное предупреждение относительно потенциальной опасности для кожи и/или роговицы/радужной оболочки (см. 7.13).

Примечание — Существует вероятность, что лазерное изделие класса 3R с сильно расходящимся пучком может формировать достаточно высокие уровни излучения рядом или в непосредственной близости от источника (например, вывод волокна) с риском повреждения кожи или радужной оболочки. Травма роговицы также может иметь место при таких условиях, когда длина волны более 1000 нм.

e) Класс 3В

Если допустимое излучение, установленное согласно 5.4:

- менее или равно ПДИ класса 3В при условиях 1 и 3; и
- превышает ПДИ для класса 3R при условиях 1 или 3; и
- превышает ПДИ для классов 1 и 2 при условии 3,

то лазерное изделие относят к классу 3В.

f) Класс 4

Если допустимое излучение, установленное согласно 5.4, при условии 1 или 3 превышает ПДИ для класса 3В, лазерное изделие относят к классу 4.

Таблица 3 — Пределы допустимого излучения для лазерных изделий классов 1 и 1М при $C_6 = 1$[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 $5 \cdot 10^{-6}$</th><th>От $5 \cdot 10^{-6}$ до $1{,}3 \cdot 10^{-5}$</th><th>От $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-3}$</th><th>От $1 \cdot 10^{-3}$ 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 $3 \cdot 10^4$</th></tr>
<tr><td>От 180 до 302,5</td><td colspan="2">$3 \cdot 10^{10}$ Вт · м$^{-2}$</td><td colspan="8">30 Дж · м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 302,5 до 315</td><td colspan="2" rowspan="2">$2{,}4 \cdot 10^4$ Вт</td><td colspan="6">Термическая опасность ($t \le T_1$) $7{,}9 \cdot 10^{-7} C_1$ Дж / Фотохимическая опасность $7{,}9 \cdot 10^{-7} C_2$ Дж ($t > T_1$)</td><td colspan="3" rowspan="2">$7{,}9 \cdot 10^{-7} C_2$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 315 до 400</td><td colspan="6">$7{,}9 \cdot 10^{-7} C_1$ Дж</td><td colspan="2">$7{,}9 \cdot 10^{-3}$ Дж</td><td>$7{,}9 \cdot 10^{-6}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 400 до 450</td><td rowspan="3">$3{,}8 \cdot 10^{-8}$ Дж</td><td colspan="3" rowspan="3">$7{,}7 \cdot 10^{-8}$ Дж</td><td colspan="4" rowspan="3">$7 \cdot 10^{-4}\ t^{0,75}$ Дж</td><td>$3{,}9 \cdot 10^{-3}$ Дж</td><td colspan="2" rowspan="2">$3{,}9 \cdot 10^{-5}\ C_3$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 450 до 500</td><td>$3{,}9 \cdot 10^{-3}\ C_3$ Дж и[c] $3{,}9 \cdot 10^{-4}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 500 до 700</td><td colspan="3">$3{,}9 \cdot 10^{-4}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 700 до 1050</td><td>$3{,}8 \cdot 10^{-8}$ Дж</td><td colspan="3">$7{,}7 \cdot 10^{-8}\ C_4$ Дж</td><td colspan="4">$7 \cdot 10^{-4}\ t^{0,75} \cdot C_4$ Дж</td><td colspan="3" rowspan="2">$3{,}9 \cdot 10^{-4}\ C_4 \cdot C_7$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 1050 до 1400[d]</td><td>$3{,}8 \cdot 10^{-8} C_7$ Дж</td><td colspan="3">$7{,}7 \cdot 10^{-8}\ C_7$ Дж</td><td colspan="4">$3{,}5 \cdot 10^{-3}\ t^{0,75} \cdot C_7$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 1400 до 1500</td><td colspan="2">$8 \cdot 10^5$ Вт</td><td colspan="3">$8 \cdot 10^{-4}$ Дж</td><td>$4{,}4 \cdot 10^{-3}\ t^{0,25}$ Дж</td><td>$10^{-2} t$ Дж</td><td colspan="3" rowspan="4">$1{,}0 \cdot 10^{-2}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 1500 до 1800</td><td colspan="2">$8 \cdot 10^6$ Вт</td><td colspan="5">$8 \cdot 10^{-3}$ Дж</td><td>$1{,}8 \cdot 10^{-2}\ t^{0,75}$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 1800 до 2600</td><td colspan="2">$8 \cdot 10^5$ Вт</td><td colspan="3">$8 \cdot 10^{-4}$ Дж</td><td>$4{,}4 \cdot 10^{-3}\ t^{0,25}$ Дж</td><td rowspan="2">$10^{-2} t$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 2600 до 4000</td><td colspan="2">$8 \cdot 10^4$ Вт</td><td>$8 \cdot 10^{-5}$ Дж</td><td colspan="4">$4{,}4 \cdot 10^{-3} t^{0,25}$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 4000 до 10^6</td><td colspan="2">10^{11} Вт · м$^{-2}$</td><td>100 Дж · м$^{-2}$</td><td colspan="5">$5600 t^{0,25}$ Дж · м$^{-2}$</td><td colspan="3">1000 Вт · м$^{-2}$</td></tr>
</table>

[a] Поправочные коэффициенты и значения представлены в таблице 9.

[b] ПДИ длительности излучения менее 10^{-13} с заданы как равные эквивалентным значениям мощности или излучения ПДИ при 10^{-13} с.

[c] В диапазоне длины волны от 450 до 500 нм применяются двойные пределы, а излучение изделия не должно превышать любой предел, применимый к назначенному классу.

[d] В диапазоне длины волны от 1050 до 1400 нм верхнее значение ПДИ ограничивается значением ПДИ для класса 3В.

Примечание — Лазерные изделия, удовлетворяющие требованиям по классификации в качества класса 1 при соответствующих условиях измерения 1, могут быть опасными при использовании с наблюдательной оптикой с более чем семикратным увеличением или диаметрами объективов выше параметров, приведенных в таблице 10.

Таблица 4 — Пределы допустимого излучения для лазерных изделий классов 1 и 1М в диапазоне длины волны от 400 до 1400 нм (область опасности повреждения сетчатки): протяженные источники [a, b, c, d, e, f]

<table>
<tr><th rowspan="2">Длина волны λ, нм</th><th colspan="7">Длительность излучения t, с</th></tr>
<tr><th>От 10^{-13} до 10^{-11}</th><th>От 10^{-11} до $5 \cdot 10^{-6}$</th><th>От $5 \cdot 10^{-6}$ до $1{,}3 \cdot 10^{-5}$</th><th>От $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ до 10^{e}</th><th>От 10 до 10^2</th><th>От 10^2 до 10^4</th><th>От 10^4 до $3 \cdot 10^4$</th></tr>
<tr><td rowspan="5">От 400 до 700</td><td rowspan="5">$3{,}8 \cdot 10^{-8} C_6$ Дж</td><td rowspan="5">$7{,}7 \cdot 10^{-8} C_6$ Дж</td><td colspan="2" rowspan="5">$7 \cdot 10^{-4} t^{0{,}75} \cdot C_6$ Дж</td><td colspan="3">400—600 нм — фотохимическая опасность для сетчатки[d, e]</td></tr>
<tr><td>$3{,}9 \cdot 10^{-3} C_3$ Дж с использованием γ_{ph} = 11 мрад</td><td>$3{,}9 \cdot 10^{-5} C_3$ Вт с использованием $\gamma_{ph} = 1{,}1\ t^{0{,}5}$ мрад</td><td>$3{,}9 \cdot 10^{-5} C_3$ Вт с использованием γ_{ph} = 110 мрад</td></tr>
<tr><td colspan="3">и[c]</td></tr>
<tr><td colspan="3">400—600 нм — фотохимическая опасность для сетчатки</td></tr>
<tr><td colspan="3">$(t \le T_2)$ $7 \cdot 10^{-4} t^{0{,}75} \cdot C_6$ Дж / $7 \cdot 10^{-4} C_6 \cdot T_2^{-0{,}25}$ Вт $(t > T_2)$</td></tr>
<tr><td>От 700 до 1050</td><td>$3{,}8 \cdot 10^{-8} C_6$ Дж</td><td>$7{,}7 \cdot 10^{-8} \times C_4 \cdot C_6$ Дж</td><td colspan="2">$7 \cdot 10^{-4} t^{0{,}75} C_4 \cdot C_6$ Дж</td><td colspan="3">$(t \le T_2)$ $7 \cdot 10^{-4} t^{0{,}75} C_4 \cdot C_6$ Дж / $7 \cdot 10^{-4} C_4 \cdot C_6 \cdot T_2^{-0{,}25}$ Вт $(t > T_2)$</td></tr>
<tr><td>От 1050 до 1400[f]</td><td>$3{,}8 \cdot 10^{-8} C_6 \cdot C_7$ Дж</td><td colspan="2">$7{,}7 \cdot 10^{-7} C_6 \cdot C_7$ Дж</td><td>$3{,}5 \cdot 10^{-3} t^{0{,}75} \times C_6 \cdot C_7$ Дж</td><td colspan="3">$(t \le T_2)$ $3{,}5 \cdot 10^{-3} t^{0{,}75} C_6 \cdot C_7$ Дж / $3{,}5 \cdot 10^{-3} C_6 \cdot C_7 \cdot T_2^{-0{,}25}$ Вт $(t > T_2)$</td></tr>
</table>

[a] Поправочные коэффициенты и значения приведены в таблице 9.

[b] ПДИ длительности излучения менее 10^{-13} с заданы как равные эквивалентным значениям мощности или излучения ПДИ при 10^{-13} с.

[c] В диапазоне длины волны от 400 до 600 нм применяются двойные пределы, а излучение изделия не превышает ни один предел, применимый к назначенному классу.

[d] Угол γ_{ph} является ограничивающим углом измерения восприятия.

[e] В случае использования длительности излучения от 1 до 10 с для длины волны от 400 до 484 нм и размеров видимого источника от 1,5 до 82 мрад, двойной предел фотохимической опасности $3{,}9 \cdot 10^{-3} C_3$ Дж продлевается на 1 с.

[f] В диапазоне длины волны от 1050 до 1400 нм верхнее значение ПДИ ограничивается значением ПДИ для класса 3В.

Примечание — Лазерные изделия, удовлетворяющие требованиям по классификации в качестве класса 1 при соответствующем условии измерения 1, могут быть опасными при использовании с наблюдательной оптикой более чем с семикратным увеличением или диаметрами объективов выше параметров, приведенных в таблице 10.

Таблица 5 — Пределы допустимого излучения для лазерных изделий классов 2 и 2М

Длина волны λ, нм	Длительность излучения t, с	ПДИ класса 2
От 400 до 700	$t < 0{,}25$ $t \ge 0{,}25$	Аналогично ПДИ класса 1 $C_6 \cdot 10^{-3}$ Вт[a]

[a] Поправочные коэффициенты и значения приведены в таблице 9.

Примечание — Лазерные изделия, удовлетворяющие требованиям по классификации в качестве класса 2 при соответствующем условии измерения 1, могут быть опасными при использовании оптических приборов с диаметрами апертуры больше, чем указанные в таблице 10 (см. также приложение С).

Таблица 6 — Пределы допустимого излучения для лазерных изделий класса 3R при $C_6 = 1$[a, b, c]

<table>
<tr><td rowspan="2">Длина волны λ, нм</td><td colspan="10">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 10^{-7}</td><td>От 10^{-7} до $5 \cdot 10^{-6}$</td><td>От $5 \cdot 10^{-6}$ до $1{,}3 \cdot 10^{-5}$</td><td>От $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-3}$</td><td>От $1 \cdot 10^{-3}$ до 0,35</td><td>От 0,35 до 10</td><td>От 10 до 10^3</td><td>От 10^3 до $3 \cdot 10^4$</td></tr>
<tr><td>От 180 до 302,5</td><td colspan="2">$1{,}5 \cdot 10^{11}$ Вт · м$^{-2}$</td><td colspan="8">150 Дж · м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 302,5 до 315</td><td colspan="2" rowspan="2">$1{,}2 \cdot 10^5$ Вт</td><td colspan="6">Термическая опасность
$4 \cdot 10^{-6}$ C_1 Дж
($t \le T_1$)[3)]</td><td colspan="2">Фотохимическая опасность
$4{,}0 \cdot 10^{-6} C_2$ Дж
($t > T_1$)[c]</td><td>$4{,}0 \cdot 10^{-6}$ C_2 Дж</td><td></td></tr>
<tr><td>От 315 до 400</td><td colspan="8">$4{,}0 \cdot 10^{-6}$ C_1 Дж</td><td>$4{,}0 \cdot 10^{-2}$ Дж</td><td>$4{,}0 \cdot 10^{-5}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 400 до 700</td><td>$1{,}9 \cdot 10^{-7}$ Дж</td><td colspan="3">$3{,}8 \cdot 10^{-7}$ Дж</td><td colspan="2">($t < 0{,}25$ с)
$3{,}5 \cdot 10^{-3}$ $t^{0,75}$ Дж</td><td colspan="2">$5{,}0 \cdot 10^{-3}$ Вт
($t \ge 0{,}25$ с)</td><td colspan="2">$5{,}0 \cdot 10^{-3}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 700 до 1050</td><td>$1{,}9 \cdot 10^{-7}$ Дж</td><td colspan="3">$3{,}8 \cdot 10^{-7}$ C_4 Дж</td><td colspan="4">$3{,}5 \cdot 10^{-3}$ $t^{0,75}$ · C_4 Дж</td><td colspan="2" rowspan="2">$2{,}0 \cdot 10^{-3}$ $C_4 \cdot C_7$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 1050 до 1400[d]</td><td>$1{,}9 \cdot 10^{-6}$ C_7 Дж</td><td colspan="3">$3{,}8 \cdot 10^{-6}$ C_7 Дж</td><td colspan="4">$1{,}8 \cdot 10^{-2}$ $t^{0,75} \cdot C_7$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 1400 до 1500</td><td colspan="2">$4 \cdot 10^6$ Вт</td><td colspan="4">$4 \cdot 10^{-3}$ Дж</td><td>$2{,}2 \cdot 10^{-2} \times$
$\times t^{0,25}$ Дж</td><td>$5 \cdot 10^{-2} t$ Дж</td><td colspan="2" rowspan="4">$5{,}0 \cdot 10^{-2}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 1500 до 1800</td><td colspan="2">$4 \cdot 10^7$ Вт</td><td colspan="5">$4 \cdot 10^{-2}$ Дж</td><td>$9 \cdot 10^{-2}$ $t^{0,75}$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 1800 до 2600</td><td colspan="2">$4 \cdot 10^6$ Вт</td><td colspan="4">$4 \cdot 10^{-3}$ Дж</td><td>$2{,}2 \cdot 10^{-2} \times$
$\times t^{0,25}$ Дж</td><td rowspan="2">$5 \cdot 10^{-2} t$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 2600 до 4000</td><td colspan="2">$4 \cdot 10^5$ Вт</td><td>$4 \cdot 10^{-4}$ Дж</td><td colspan="4">$2{,}2 \cdot 10^{-3}$ $t^{0,25}$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 4000 до 10^6</td><td colspan="2">$5 \cdot 10^{11}$ Вт · м$^{-2}$</td><td>500
Дж · м$^{-2}$</td><td colspan="5">$2{,}8 \cdot 10^4$ $t^{0,25}$ Дж · м$^{-2}$</td><td colspan="2">5000 Вт · м$^{-2}$</td></tr>
</table>

[a] Поправочные коэффициенты и значения представлены в таблице 9.
[b] ПДИ длительности излучения менее 10^{-13} с заданы как равные эквивалентным значениям мощности или излучения ПДИ при 10^{-13} с.
[c] Для импульсно-периодических лазеров ни один предел не должен быть превышен.
[d] В диапазоне длины волны от 1050 до 1400 нм верхнее значение ПДИ ограничивается значением ПДИ для класса 3B.

Таблица 7 — Пределы допустимого излучения для лазерных изделий класса 3R в диапазоне длины волны от 400 до 1400 нм (область опасности повреждения сетчатки): протяженные источники[a, b]

Длина волны λ, нм	Длительность излучения t, с					
	От 10^{-13} до 10^{-11}	От 10^{-11} до $5 \cdot 10^{-6}$	От $5 \cdot 10^{-6}$ до $1{,}3 \cdot 10^{-5}$	От $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ до 0,25	От 0,25 до 10	От 10 до $3 \cdot 10^{4}$
От 400 до 700	$1{,}9 \cdot 10^{-7}\ C_6$ Дж	$3{,}8 \cdot 10^{-7}\ C_6$ Дж	$5{,}0 \cdot 10^{-3}\ C_6$ Вт (t < 0,25 с); $3{,}5 \cdot 10^{-3} t^{0,75} \cdot C_6$ Дж ($t \geq 0{,}25$ с)		$5{,}0 \cdot 10^{-3}\ C_6$ Вт	
От 700 до 1050	$1{,}9 \cdot 10^{-7}\ C_6$ Дж	$3{,}8 \cdot 10^{-7} C_4 \cdot C_6$ Дж	$3{,}5 \cdot 10^{-3}\ t^{0,75} \cdot C_4 \cdot C_6$ Дж			$3{,}5 \cdot 10^{-3}\ C_4 \cdot C_6 \cdot T_2^{-0,25}$ Вт ($t \leq T_2$); $3{,}5 \cdot 10^{-3} t^{0,75} \cdot C_4 \cdot C_6$ Дж ($t > T_2$)
От 1050 до 1400[c]	$1{,}9 \cdot 10^{-6}\ C_6 \cdot C_7$ Дж	$3{,}8 \cdot 10^{-6}\ C_6 \cdot C_7$ Дж		$1{,}8 \cdot 10^{-2}\ t^{0,75} \cdot C_6 \cdot C_7$ Дж		$1{,}75 \cdot 10^{-2} \cdot C_6 \cdot C_7 \cdot T_2^{-0,25}$ Вт ($t \leq T_2$); $1{,}75 \cdot 10^{-2} t^{0,75} \cdot C_6 \cdot C_7$ Дж ($t > T_2$)

[a] Поправочные коэффициенты и значения приведены в таблице 9.
[b] ПДИ при длительности излучения менее 10^{-13} с заданы как равные эквивалентным значениям мощности или излучения ПДИ при 10^{-13} с.
[c] В диапазоне длины волны от 1050 до 1400 нм верхнее значение ПДИ ограничивается значением ПДИ для класса 3B.

Таблица 8 — Пределы допустимого излучения для лазерных изделий класса 3B[a]

Длина волны λ, нм	Длительность излучения t, с		
	Менее 10^{-9}	От 10^{-9} до 0,25	От 0,25 до $3 \cdot 10^4$
От 180 до 302,5	$3{,}8 \cdot 10^5$ Вт	$3{,}8 \cdot 10^{-4}$ Дж	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$ Вт
От 302,5 до 315	$1{,}25 \cdot 10^4\ C_2$ Вт	$1{,}25 \cdot 10^{-5}\ C_2$ Дж	$5 \cdot 10^{-5}\ C_2$ Вт
От 315 до 400	$1{,}25 \cdot 10^8$ Вт	0,125 Дж	0,5 Вт
От 400 до 700	$3 \cdot 10^7$ Вт	0,03 Дж для $t < 0{,}06$ с 0,5 Вт для $t \geq 0{,}06$ с	0,5 Вт
От 700 до 1050	$3 \cdot 10^7 C_4$ Вт	$0{,}03C_4$ Дж для $t < 0{,}06C_4$ с 0,5 Вт для $t \geq 0{,}06C_4$ с	0,5 Вт
От 1050 до 1400	$1{,}5 \cdot 10^8$ Вт	0,15 Дж	0,5 Вт
От 1400 до 10^6	$1{,}25 \cdot 10^8$ Вт	0,125 Дж	0,5 Вт
[a] Поправочные коэффициенты и значения представлены в таблице 9.			

Поправочные коэффициенты C_1 и C_7, а также контрольные длительности T_1 и T_2, используемые в таблицах 3—8, определены в таблице 9.

Таблица 9 — Поправочные коэффициенты и контрольные длительности, используемые в оценках ПДИ и МДВ

Параметр	Область спектра, нм
$C_1 = 5{,}6 \cdot 10^3 t^{\,0{,}25}$	180—400
$T_1 = 10^{0{,}8(\lambda - 295)} \cdot 10^{-15}$ с	302,5—315
$C_2 = 30$	180—302,5
$C_2 = 10^{0{,}2(\lambda - 295)}$	302,5—315
$T_2 = 10 \cdot 10^{[(\alpha - \alpha_{min})/98{,}5]}$ с для $\alpha_{min} < \alpha \leq 100$ мрад	400—1400
$T_2 = 10$ с для $\alpha \leq 1{,}5$ мрад	400—1400
$T_2 = 100$ с для $\alpha > 100$ мрад	400—1400
$C_3 = 1{,}0$	400—450
$C_3 = 10^{0{,}02(\lambda - 450)}$	450—600
$C_4 = 10^{0{,}002(\lambda - 700)}$	700—1050
$C_4 = 5$	1050—1400
$C_5 = 1$[a]	180—400 и 1400—10^6
$C_5 = N^{-1/4}$ [a]	400—1400
$C_6 = 1$	180—400 и 1400—10^6
$C_6 = 1$ для $\alpha \leq \alpha_{min}$[b]	400—1400
$C_6 = \alpha / \alpha_{min}$ для $\alpha_{min} < \alpha \leq \alpha_{max}$[b]	400—1400
$C_6 = \alpha_{max}/\alpha_{min}$ для $\alpha > \alpha_{max}$[b, c]	400—1400
$C_7 = 1$	700—1150
$C_7 = 10^{0{,}018(\lambda - 1150)}$	1150—1200

Окончание таблицы 9

Параметр	Область спектра, нм
$C_7 = 8 + 10^{0,04(\lambda - 1250)}$	1200—1400
α_{min} = 1,5 мрад α_{max} = 5 мрад для t < 625 мкс; $200t^{0,5}$ мрад для 625 мкс ≤ t ≤ 0,25 с; 100 мрад для t > 0,25 с N — количество импульсов в применимой длительности [см. перечисление f) 4.3 и А.3].	

[a] C_5 применяются только при длительности импульса короче 0,25 с. Для определения C_5 см. правила, представленные в перечислении f) 4.3.

[b] C_6 применяются только к тепловым пределам для сетчатки.

[c] Максимальный предельный угол восприятия γ_{th} должен быть равен α_{max} [с учетом перечисления c) 4.3].

Примечания

1 Существует ограниченное количество сведений о последствиях воздействия продолжительностью менее 10^{-9} с при длине волн ниже 400 и выше 1400 нм. ПДИ для такой длительности излучения и длин волн были получены путем расчета мощности излучения либо облученности из мощности излучения или энергетического излучения, подаваемого при 10^{-9} с для длины волны менее 400 и более 1400 нм.

2 Апертурные диафрагмы приведены в таблице 10, а ограничивающие апертуры — в таблице А.4.

3 В формулах, представленных в таблицах 3—8 и данных примечаниях, длина волны выражена в нанометрах, длительность излучения t — в секундах, α — в миллирадианах.

4 Для длительности излучения, которая приходится на значения в границах интервала (например, 10 с), в таблицах 3—8 применяют нижний предел. Когда на границах интервала (то есть не применительно к уравнениям в явном виде) используется символ «<», это значит «менее либо равно». При установлении диапазонов длины волны диапазон длины волны λ_1 — λ_2 означает $\lambda_1 \le \lambda \le \lambda_2$.

5.4 Геометрия измерения

5.4.1 Общие положения

Для определения допустимого излучения предусмотрены два условия измерения. Условие 1 применяют для длин волн, при которых наблюдение коллимированных пучков с помощью телескопической оптики способно увеличить опасность. Условие 3 применяют к невооруженному глазу. Для измерения мощности и энергии сканированного лазерного излучения допускается использовать только условие 3.

При классификации лазерных изделий, предназначенных для использования исключительно в помещениях и при условиях, когда наблюдение в пучке с помощью телескопической оптики, такой как бинокли, не является обоснованно прогнозируемым, учет условия 1 не требуется.

Примечание — Условие измерения 1 также включает в себя оценку излучения, допустимого для наблюдения с оптическим компонентом, обладающим малым увеличением. Наблюдение с помощью оптических компонентов с сильным увеличением, как, например, волоконно-оптические системы, регулирует IEC 60825-2. Ограничение схемы классификации описано в С.3, где перечисляются случаи, при которых может потребоваться дополнительный анализ рисков и предупреждения. В предыдущих редакциях IEC 60825-1 условие 2 было использовано как условие «увеличительного стекла».

Следует применять наиболее ограничивающее из соответствующих условий измерения. Если самое ограничивающее условие не является очевидным, оценке подлежат оба условия. Для классов 1М и 2М оба условия всегда подлежат оценке.

Установлены две схемы оценки:

a) стандартный (упрощенный) метод: испытание для целей классификации проводят на фиксированном расстоянии (см. таблицу 10) по отношению к точке координат, которая как правило определяется (см. таблицу 11). Для такой упрощенной оценки не требуется определять угловой размер видимого источника, поскольку C_6 (см. таблицу 9) принимают равным единице;

b) для излучения с длинами волн в опасной для сетчатки области от 400 до 1400 нм, когда ПДИ увеличивается на параметр C_6 со значениями более 1 для протяженных источников, необходимо оценивать класс изделия (то есть сравнивать значение допустимого излучения с соответствующим ПДИ) в наиболее ограничивающем положении в пучке. Второй метод является более сложным в отличие от стандартной оценки, представленной в перечислении a), однако для протяженных источников он может обеспечить более высокие значения допустимого излучения.

Примечание — Наиболее ограничивающее положение во многих случаях находится не на расстоянии 100 мм от контрольной базовой точки, используемой для оценки, а дальше. Определение углового размера видимого источника на расстоянии в 100 мм от контрольной базовой точки в таких случаях приводило бы к ПДИ, превышающим ПДИ, установленным в наиболее ограничивающем положении.

Если стандартная (упрощенная) оценка приводит к необходимой классификации, полную оценку протяженных источников (см. 5.4.3) допускается не проводить несмотря на то, что фактический источник может быть протяженным, а фактический коэффициент C_6 может быть более 1, тогда как наиболее ограничивающее положение отличается от положения, указанного в таблице 10.

Примечание — Если источником является отдельный лазерный диод или он выдает коллимированный лазерный пучок, упрощенная (стандартная) оценка, как правило, является подходящей, то есть она обеспечивает результаты, равноценные методу протяженного источника в соответствии с описанием в 5.4.3.

5.4.2 Стандартная (упрощенная) оценка

Расстояния, приведенные в таблице 10, применимы для упрощенного метода:

- для источников с длинами волн менее 400 нм и более 1400 нм;
- если коэффициент C_6 задан как равный 1;
- для фотохимического предела повреждения сетчатки со значениями базового промежутка времени более 100 с, когда угол восприятия при измерении не ограничен (то есть по крайней мере не меньше углового размера видимого источника);
- для других пределов, не являющихся ни фотохимическими, ни тепловыми (то есть не зависящих от C_6) пределами повреждения сетчатки (такими как ПДИ класса 3В).

Расстояния, указанные в таблице 10, определяются в качестве расстояния от опорной точки, перечисленных в таблице 11.

Таблица 10 — Диаметры апертуры измерения и расстояния измерения для стандартной (упрощенной) оценки

	Условие 1. Применяется к коллимированному пучку, когда, например, телескоп или бинокль могут увеличить опасность[a]		Условие 2. Применяется к оптоволоконным системам связи, см. IEC 60825-2	Условие 3. Применяется при определении облученности невооруженного глаза, слабоувеличивающих увеличительных приборов и от сканирующих пучков	
Длина волны, нм	Апертурная диафрагма, мм	Расстояние, мм		Апертурная диафрагма/ограничивающая апертура, мм	Расстояние, мм
Менее 302,5	—	—	—	1	0
От 302,5 до 400	7	2000	—	1	100
От 400 до 1400	50	2000	См. примечание 1 в 5.4.1	7	100
От 1400 до 4000	7x условие 3	2000	См. примечание 1 в 5.4.1	1 для $t \le 0{,}35$ с $1{,}5t^{3/8}$ для 0,35 с < t < 10 с 3,5 для $t \ge 10$ с (t в с)	100
От 4000 до 10^5	—	—	—	1 для $t \le 0{,}35$ с $1{,}5t^{3/8}$ для 0,35 с < t < 10 с 3,5 для $t \ge 10$ с (t в с)	0
От 10^5 до 10^6	—	—	—	11	0

[a] Условие 1 не применяют для классификации лазерных изделий, предназначенных для использования только в помещениях и когда наблюдение в пучке с помощью телескопической оптики, такой как бинокли, не является обоснованно прогнозируемым.

Примечание — Описания под заголовками «Условие…» являются типовыми случаями, представленными только для информации, и не являются исключительными.

Таблица 11 — Опорные точки для условия 3

Вид изделия	Опорная точка
Полупроводниковые излучатели (например, лазерные диоды, суперлюминесцентные диоды)	Физическое расположение излучающего элемента

Окончание таблицы 11

Вид изделия	Опорная точка
Сканируемое излучение (включая сканируемые линейные лазеры)	Вершина сканирования (точка вращения сканирующего пучка)
Линейный лазер	Фокальная точка (вершина угла веерного пучка)
С волоконным выводом	Вывод волокна
Источник рассеяного света	Поверхность рассеивателя
Другие	Перетяжка пучка
Примечание — Для измерений согласно условию 3: если опорная точка располагается внутри защитного кожуха (то есть недоступна) на большем расстоянии от ближайшей точки доступа человека, чем расстояние измерения, указанное в таблице 10, измерение следует проводить в ближайшей точке доступа человека. Для условия 1 измерения следует проводить на расстоянии минимум 2 м от ближайшей точки доступа человека независимо от расположения источника.	

5.4.3 Условие оценки протяженных источников

В диапазоне длин волн, опасном для сетчатки (от 400 до 1400 нм), допустимое излучение и ПДИ при классификации должны определяться в наиболее ограничивающем положении:

- когда для определения ПДИ учитывается значение C_6 более 1;
- когда для определения фотохимического предела повреждения сетчатки учитывается доступное в ограниченном угле восприятия излучение.

Допустимое излучение и ПДИ (C_6) определяются вместе (то есть это парные значения), в различных положениях внутри пучка, а значения, полученные для наиболее ограничивающего положения, используются в целях определения класса изделия. Это значит, что допустимое излучение (которое сравнивается с ПДИ) и ПДИ определяются для одного положения в пучке, то есть угловой размер видимого источника α (а следовательно, C_6) определяется в положении апертурной диафрагмы, которая используется для установления допустимого излучения. Для условия измерения 3 положение измерения во всех случаях не должно располагаться ближе, чем расстояние измерения для упрощенной оценки, а для условия 1 место измерения не должно находиться дальше 2 м от ближайшей точки доступа человека к изделию и более чем на 2 м от опорной точки, подобранной для точечного источника измерения. В случае когда угол расхождения лазерного пучка составляет менее 1,5 мрад, угловой размер видимого источника α менее α_{min}, определение допустимого излучения может быть выполнено при условиях, указанных в 5.4.2.

Примечания

1 Для источника рассеянного света, например, когда лазерный пучок падает на пропускающую пластину, рассеиватель можно рассматривать как местоположение видимого источника, а диаграмма направленности излучения в рассеивателе используется для определения углового распределения видимого источника [для метода оценки нестандартных моделей см. перечисление d) 4.3].

2 В некоторых более сложных устройствах с несколькими источниками или несколькими фокусными точками может оказаться более целесообразным использовать более сложную технику, такую как трассировка лучей.

3 Для лазерных изделий, излучающих сканирующие пучки, в зависимости от состояния аккомодации при изображении видимого источника сканирующий пучок может привести к сканируемому по сетчатке изображению видимого источника, вызванному движущимся видимым источником. Если двигающийся видимый источник будет учитываться при классификации, то классификация изделия основывается на методе анализа, описанного здесь для протяженных источников (в отличие от упрощенного анализа точечный источник принят в качестве неподвижного). Двигающийся видимый источник подлежит оценке, как описано в перечислении d) 4.3, с учетом повторяющегося характера допустимого импульсного излучения, определяемого в соответствующем угле восприятия.

а) Диаметры апертуры

Для условий 1 и 3 при определении допустимого излучения и углового размера видимого источника (оба определяются в наиболее ограничивающем положении в пучке) необходимо использовать диаметры апертуры и минимальные расстояния измерения, указанные в таблице 10 (см. рисунки 1 и 2).

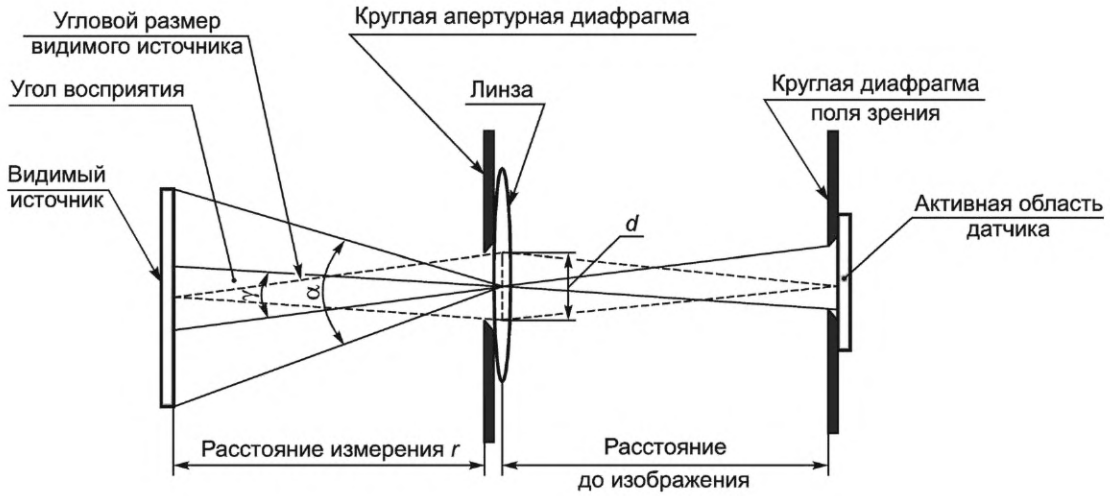
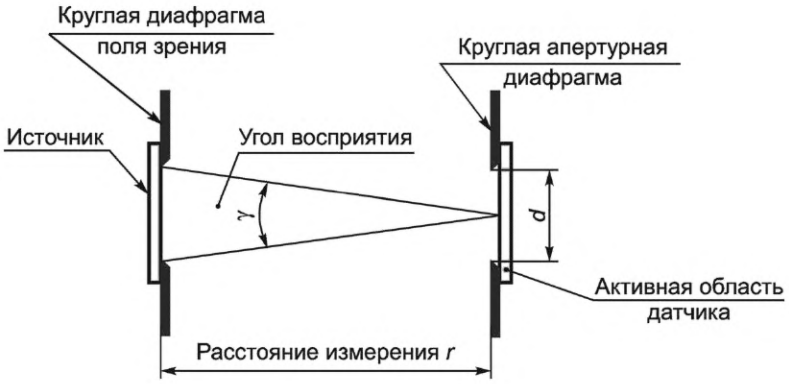


Рисунок 1 — Настройка измерения с ограничением угла восприятия путем проецирования видимого источника в плоскость полевой диафрагмы



Примечание — Если видимый источник недоступен, данную настройку не применяют.

Рисунок 2 — Настройка измерения с ограничением угла восприятия путем близкого расположения к видимому источнику круглой апертуры или маски (выступающей в роли полевой диафрагмы)

b) Угол восприятия

Углом восприятия является угол, стягиваемый диаметром полевой диафрагмы из точки в центре линзы на рисунке 1 (для малых углов), или отношение диаметра полевой диафрагмы к расстоянию между источником и датчиком (см. рисунок 2). Необходимо учитывать потери, обусловленные линзой.

Для условия 3 угол восприятия в целях определения допустимого предела излучения должен быть ниже, чем указано в перечислениях 1) и 2). Для условия 1 угол восприятия определяется путем деления значений, указанных в перечислениях 1) и 2), на коэффициент 7.

1) Фотохимические пределы повреждения сетчатки

Для оценки источников с точки зрения фотохимического предела (от 400 до 600 нм), в таблице 12 представлен предельный угол восприятия γ_{ph}.

Таблица 12 — Предельный угол восприятия γ_{ph}

Длительность излучения, с	γ_{ph} для условия 1, мрад	γ_{ph} для условия 3, мрад
$10 < t \le 100$	1,6	11
$100 < t \le 10^4$	$0{,}16t^{0,5}$	$1{,}1t^{0,5}$
$10^4 < t \le 3 \cdot 10^4$	16	110

Если угловой размер источника α больше заданного предельного угла восприятия γ_{ph}, то угол восприятия должен быть не больше значений, заданных для γ_{ph}. Если угловой размер источника меньше заданного предельного угла восприятия γ_{ph}, то угол восприятия должен полностью охватывать затрагиваемый источник и не должен быть обязательно жестко определен (то есть угол восприятия не должен быть ограничен γ_{ph}).

Примечание — Для отдельных источников, где $\alpha < \gamma_{ph}$, допускается не проводить измерение с помощью определенного, четко обозначенного угла восприятия. Для точного определения угла восприятия: угол восприятия может быть определен путем проецирования источника на ограничивающую диафрагму или маску источника (полевую диафрагму), см. рисунки 1 и 2, соответственно.

2) Другие пределы повреждения сетчатки

Для измерения излучения, подлежащего сравнению с пределами повреждения сетчатки, за исключением фотохимических пределов, угол восприятия должен полностью охватывать затрагиваемый источник (то есть быть как минимум таким же большим, как и угловой размер источника α). При этом если $\alpha > \alpha_{max}$, предельным углом восприятия является α_{max}. В пределах диапазона длины волны от 400 до 1400 нм для оценки видимого источника с неправильным профилем излучения изображения видимого источника (профиль источника излучения), например состоящим из множества точек, угол восприятия должен варьироваться в диапазоне $\alpha_{min} \le \gamma \le \alpha_{max}$ [см. перечисление d) 4.3].

6 Технические требования

6.1 Общие положения и модификации

В зависимости от класса, к которому были отнесены лазерные изделия производителем, в них должны быть встроены элементы, обеспечивающие безопасность. Требования к ним приведены в 6.2—6.13. Производитель должен обеспечить, чтобы персонал, ответственный за классификацию лазерных изделий и систем, прошел подготовку соответствующего уровня, позволяющую ему полностью понимать значение схемы классификации.

Если модификация ранее классифицированного лазерного изделия затрагивает любые его аспекты работы или целевых функций, рассматриваемые в рамках настоящего стандарта, лицо или организация, выполняющие такую модификацию, несут ответственность за обеспечение повторной классификации и повторную маркировку лазерного изделия.

Примечание — Термин «модификация» ограничен изменениями, которые меняют классификацию или соответствие настоящему стандарту.

6.2 Защитный кожух

6.2.1 Общие положения

Каждое лазерное изделие должно быть оснащено защитным кожухом, который при расположении на своем месте предотвращает доступ человека к лазерному излучению (в том числе к отклоненному излучению лазера) с ПДИ, превышающим ПДИ для класса 1, за исключением ситуаций, когда доступ человека необходим для выполнения функций изделия.

Когда классификация лазерного изделия основана на предотвращении доступа человека к излучению лазерного изделия класса 4 (например, установки лазерной обработки), защитный кожух должен выдерживать воздействия при обоснованно прогнозируемых условиях единичного отказа (см. 5.1) без вмешательства человека. Если размер защитного кожуха допускает доступ человека, см. 6.13.

При техническом обслуживании лазерных изделий классов 1, 1C, 1M, 2, 2M или 3R должен быть исключен доступ человека к лазерному излучению уровней класса 3B или 4. При техническом обслуживании лазерных изделий класса 3B должен быть исключен доступ человека к лазерному излучению уровней класса 4.

6.2.2 Сервисное обслуживание

Детали защитного кожуха лазерного изделия (включая изделия со встроенным лазером), которые могут быть сняты или переставлены для выполнения сервисного обслуживания, что обеспечит доступ к лазерному излучению с превышением предусмотренного ПДИ, без возможности блокировки (см. 6.3), должны быть зафиксированы таким образом, чтобы было невозможно снять или переставить без инструментов или специальных приспособлений.

6.2.3 Съемная лазерная система

Если лазерная система может быть извлечена из защитного кожуха, а ее эксплуатация возможна при простом подключении к электрической сети или аккумулятору, то лазерная система должна удовлетворять требованиям изготовителя согласно разделам 6 и 7, в соответствии с ее классом.

6.3 Панели доступа

6.3.1 Для панелей доступа и защитных кожухов должна быть предусмотрена защитная блокировка при соблюдении сразу двух следующих условий:

a) панель доступа предназначена для снятия или перестановки во время технического обслуживания или эксплуатации;

b) снятие или перестановка панели должны обеспечивать доступ к лазерному излучению уровней, отмеченных знаком «X» в таблице 13.

Применимость защитной блокировки отмечена знаком «X» согласно нижеуказанной таблице 13.

Таблица 13 — Требования к защитной блокировке

Класс изделия	Уровни излучения, которые могут быть допустимы в процессе или после снятия панели доступа, при отсутствии или игнорировании блокировки				
	1, 1M	2, 2M	3R	3B	4
1, 1M, 1C	—	—	X	X	X
2, 2M	—	—	X	X	X
3R	—	—	—	X	X
3B	—	—	—	X	X
4	—	—	—	X	X

Снятие или открытие заблокированной панели лазерного изделия классов 1, 1C, 1M, 2 и 2M не должно приводить к излучению через образовавшееся отверстие с превышением ПДИ класса 1M или 2M, в зависимости от применения согласно длине волны, за исключением случаев нарушения блокировки после открытия панели. Снятие или открытие заблокированной панели лазерного изделия классов 3R, 3B или 4 не должно приводить к излучению через образовавшееся отверстие с превышением ПДИ класса 3R, за исключением случаев нарушения блокировки после открытия панели. При нарушении блокировки может образовываться мощность/энергия лазера более высокого класса.

Примечание — Излучение выше ПДИ класса изделия, предполагаемого во время эксплуатации, может стать причиной повышения класса изделия. Излучение выше ПДИ класса изделия, предполагаемого во время технического обслуживания, может повлиять на классификацию изделия (см. 6.2.1).

Необходимость защитной блокировки обусловлена тем, что она способна предотвратить доступ к уровням излучения, отмеченным знаком «X» в таблице 13, при снятой панели. Самопроизвольная перенастройка блокировки не должна автоматически восстанавливать значения выше применимого ПДИ согласно таблице 13. Эти блокировки должны соответствовать требованиям применимого стандарта безопасности продукции IEC (см. раздел 1).

Требования 5.1 касательно обоснованно прогнозируемых условий единичного отказа также распространяются на защитные блокировки.

6.3.2 Если предусмотрен механизм намеренного снятия блокировки, производитель также обязан предоставить соответствующие инструкции по безопасным методам работы. При возврате панели доступа в исходное положение не должно происходить снятие блокировки. Исключение данного требования допускается, только если выбор сервисного режима «снятие блокировки» автоматически изолирует лазерный пучок и предотвращает автоматическое возобновление работы изделия. Данное исключение также требует наличия блокируемого переключателя режимов работы и ручного снятия блокировки для использования пучка.

Схема блокировки ни при каких обстоятельствах не должна быть скомпонована (посредством контактов реле блокировки или другими средствами) так, чтобы даже в режиме снятия блокировки, при закрывании крышки, система автоматически возвращалась к нормальной работе (устраняя вероятные «дополнительные безопасные» предположения о панели или дверце).

Блокировка должна четко соответствовать маркировке, указанной в 7.10.2. Использование функции снятия блокировки должно сопровождаться четким визуальным или звуковым предупреждением — каждый раз при включении питания или неполном разряде батареи конденсаторов, независимо от того, снята или нет панель доступа. Визуальные предупреждения должны хорошо просматриваться сквозь защитные очки, специально предусмотренные или предназначенные для длин волн допустимого лазерного излучения.

6.4 Дистанционный блокировочный коннектор

Каждая лазерная система классов 3В и 4 должна быть оснащена дистанционным блокировочным коннектором. При разомкнутых контактах разъема допустимое излучение не должно в установленном порядке превышать ПДИ классов 1М и 2М. Этого не требуется для портативных, с аккумуляторным питанием, лазерных систем класса 3В.

Примечание — Производители могут включать в комплект поставки второй коннектор для дистанционной блокировки, не требующий активных действий для запуска излучения, однако наличие двух разъемов в изделии не является обязательным.

6.5 Ручной сброс

Каждая лазерная система класса 4 должна быть оборудована ручным сбросом для возобновления допустимого лазерного излучения класса 4 после прерывания излучения в связи с использованием дистанционного блокировочного коннектора или отсутствием электропитания дольше 5 с.

6.6 Управление с помощью ключа

Каждая лазерная система классов 3В и 4 должна быть оборудована пультом управления с ключом. Ключ должен быть извлекаемым, а лазерное излучение недоступным при отсутствии ключа.

Примечание — В настоящем стандарте термин «ключ» подразумевает другие средства управления, такие как магнитные карты, комбинации шифров, компьютерные пароли и т. д.

6.7 Предупреждение об источнике лазерного излучения

6.7.1 Каждая лазерная система класса 3R в диапазоне длины волны менее 400 нм и более 700 нм, а также лазерные системы классов 1С, 3В и 4 должны удовлетворять приведенным требованиям.

6.7.2 В тех случаях, когда лазерная система включена или происходит заряд конденсаторных батарей импульсного лазера, или эти батареи разряжены не полностью, устройство оповещения должно подавать визуальный или звуковой сигнал. Система оповещения должна быть безотказной или дублирующейся. Любое средство оповещения должно четко просматриваться сквозь защитные очки, специально предусмотренные или предназначенные для длин волн допустимого лазерного излучения. Устройства визуального оповещения должны быть расположены таким образом, чтобы при их просмотре воздействие лазерного излучения с превышением ПДИ для классов 1М и 2М было исключено.

6.7.3 Каждый элемент управления и лазерная апертура, которые могут находиться на расстоянии 2 м или более от устройства оповещения об излучении, должны быть оснащены собственным подобным устройством. Устройство оповещения должно четко просматриваться и быть слышным для того, кто находится вблизи элемента управления или лазерной апертуры.

Примечание — Требование к указателю излучения может быть удовлетворено на портативном изделии, где апертура и элементы управления расположены близко друг к другу, когда оно снабжено нормально отключенным, кратковременно включаемым переключателем, обеспечивающим четко воспринимаемую индикацию излучения.

6.7.4 В месте, где лазерное излучение может распространяться посредством более чем одной выходной апертуры, устройство визуального оповещения должно обозначать выходную апертуру или апертуры, в которых может возникать лазерное излучение, в соответствии с 6.7.2.

6.7.5 В случае портативного изделия класса 3R для обеспечения использования излучения вместо индикатора излучения переключатель должен быть нажат непрерывно, а не кратковременно.

6.8 Блокиратор пучка или аттенюатор

Каждая лазерная система классов 3В и 4 должна быть оснащена одним или более постоянно подсоединенными средствами ослабления или прерывания излучения (например, блокиратор пучка, аттенюатор, электрический регулятор или переключатель). Блокиратор пучка, переключатель либо аттенюатор должны быть способны предотвращать доступ человека к лазерному излучению с превышением ПДИ для класса 1М или 2М в соответствующих случаях.

6.9 Элементы управления

Каждое лазерное изделие должно быть оснащено элементами управления, расположенными так, чтобы при настройке и функционировании не возникало воздействие лазерного излучения на человека, соответствующего классам 3R, 3B или 4.

6.10 Оптические средства наблюдения

Любые оптические средства наблюдения, смотровое окно или экран дисплея, входящие в состав лазерного изделия, должны обеспечивать достаточное ослабление яркости во избежание доступа человека к лазерному излучению с превышением ПДИ для класса 1M. При любом прерывателе или переменном аттенюаторе, вмонтированном в оптические системы наблюдения, окно просмотра или экран дисплея, должны быть предусмотрены средства для предотвращения:

a) доступа человека к лазерному излучению с превышением ПДИ для класса 1M, когда прерыватель открыт или ослабление изменено;

b) открытия прерывателя или колебания аттенюатора при возможном превышении воздействия лазерного излучения ПДИ для класса 1M.

6.11 Защита при сканировании

Лазерные изделия, предназначенные для генерирования сканирующего излучения и классифицируемые на этой основе, не должны в результате отказа сканирования или изменения скорости или амплитуды сканирования открывать доступ человеку к лазерному излучению с превышением ПДИ для назначенного класса, за исключением случаев, когда воздействие на человека не является обоснованно прогнозируемым за временной промежуток между отказом и моментом, когда защита при сканировании сокращает излучение до уровней ниже ПДИ класса изделия (см. также 5.1).

6.12 Защита для изделий класса 1C

Помимо предполагаемого воздействия на ткань-мишень, изделие класса 1C не допускает доступ человека к лазерному излучению с превышением ПДИ для классов:

a) 1 — при измерении согласно условию 3;

b) 3B — при измерении по апертуре 3,5 мм, установленной на расстоянии 5 мм от излучателя с боковым перемещением излучателя, применимых при длительности излучения после потери контакта.

Руководство по техническим требованиям и надежности средств защиты представлено в IEC 61508, при этом полный анализ может не потребоваться.

6.13 Доступ внутрь

Если защитный кожух оснащен панелью доступа, обеспечивающей доступ внутрь, то:

a) должны быть предусмотрены средства, позволяющие лицу, находящемуся внутри защитного кожуха, избегать опасного воздействия лазерного излучения лазерного изделия, соответствующего классу 3B или 4;

b) устройство оповещения должно быть расположено так, чтобы обеспечивать надлежащее предупреждение о лазерном излучении, соответствующем классу 3R в диапазоне длины волны менее 400 нм и более 700 нм либо классу 3B или 4 для лица, находящегося внутри защитного кожуха;

c) инженерные средства должны предупреждать о лазерном излучении класса 3B или 4 при нахождении внутри защитного кожуха кого-либо изделия классов 1, 2 или 3R, когда доступ внутрь во время работы является необходимым или обоснованно прогнозируемым.

Примечание — Методы предотвращения доступа человека к излучению при нахождении лиц внутри защитного кожуха могут включать использование чувствительных к давлению ковров для пола, инфракрасные датчики и т. д.

6.14 Условия окружающей среды

Лазерное изделие должно соответствовать требованиям безопасности, установленным в настоящем стандарте согласно всем предполагаемым условиям эксплуатации, отвечающим целевому использованию изделия. Необходимо учитывать следующие факторы:

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

В случае отсутствия в определенном стандарте безопасности положений для изделия необходимо применять соответствующие подразделы IEC 61010-1.

Примечание — Рассматриваются требования, относящиеся к электромагнитной совместимости.

6.15 Защита от других видов опасности

6.15.1 Неоптические виды опасности

Должны быть выполнены требования соответствующих правил техники безопасности изделия в процессе его эксплуатации и в случае единичного отказа в отношении следующих факторов:

- электрические опасности;
- избыточная (высокая или низкая) температура;
- распространение огня из оборудования;
- звук и ультразвук;
- вредные вещества;
- взрыв.

В случае отсутствия в определенном стандарте безопасности положений для изделия необходимо применять соответствующие подразделы IEC 61010-1.

Примечание — Во многих странах применяются нормы контроля вредных веществ.

6.15.2 Сопутствующее излучение

Защитный кожух лазерных изделий в условиях обычной эксплуатации должен защищать от опасностей сопутствующего излучения (например, ультрафиолетового, видимого, инфракрасного). При этом, если есть предположение, что допустимое сопутствующее излучение может быть опасным, значения МДВ лазера могут применяться для потенциальной оценки такой опасности.

6.16 Схема ограничения мощности

При использовании схемы ограничения мощности лазерного излучения для ограничения электрической мощности лазерного изделия с тем, чтобы ПДИ обозначенного класса лазера не было превышено при эксплуатации, такая схема должна ограничивать излучение при обоснованно прогнозируемых условиях единичного отказа, учитывая также температурную зависимость устройства.

Примечание — Это, как правило, применяется к лазерам с полупроводниковыми диодами, в которых выброс тока может образовывать излучение выше ПДИ. Рекомендованные рабочие параметры для диодных лазеров (например, ток и температура), как правило, находятся значительно ниже усиления в режиме насыщения для обеспечения хороших спектральных характеристик. Таким образом, значительное усиление лазерного излучения может возникать за пределами рекомендуемых параметров.

7 Маркировка

7.1 Общие положения

Каждое лазерное изделие должно иметь маркировку в соответствии со следующими требованиями. Маркировка должна быть устойчивой, надежно закрепленной, удобочитаемой и хорошо видимой во время эксплуатации, технического или сервисного обслуживания в соответствии с ее назначением. Она должна быть расположена так, чтобы человек мог прочитать ее, не подвергая себя лазерному облучению выше ПДИ для класса 1. Текстовые рамки и символы должны быть черными на желтом фоне, за исключением класса 1, где использование данного цветового сочетания не требуется.

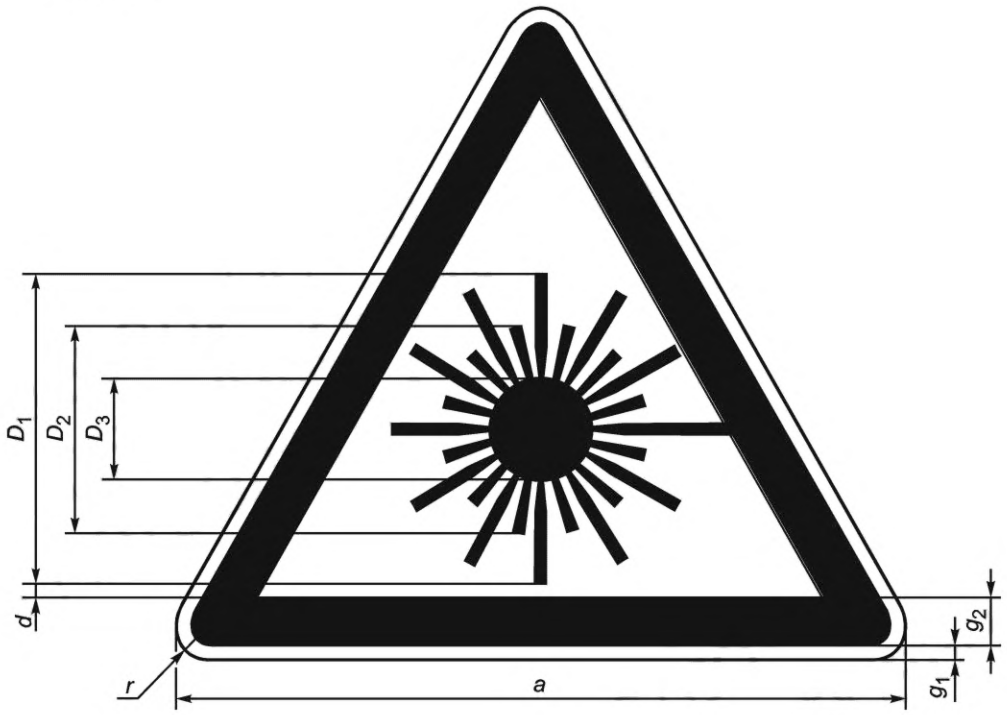
Тексты маркировок, приведенные в разделе 7, носят не обязательный, а рекомендательный характер. Другие тексты, обладающие аналогичным значением (включая предупреждающие маркировки согласно предыдущим публикациям IEC 60825-1), могут быть заменены. В приложении С приведена дополнительная информация о классах лазеров, допущениях и ограничениях.

Если размер или конструкция изделия не позволяют нанести маркировку, она должна быть включена в информацию для пользователя или напечатана на упаковке.

Допускается непосредственная печать или гравировка маркировки на лазерном изделии или панелях.

Примечание — Маркировка наносится на русском языке. В необходимых обоснованных случаях допускается нанесение маркировки на английском языке.

Символ и граница: черный.
Фон: желтый



Размеры 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
Размеры D_1, D_2, D_3, g_1 и d являются рекомендованными значениями.							

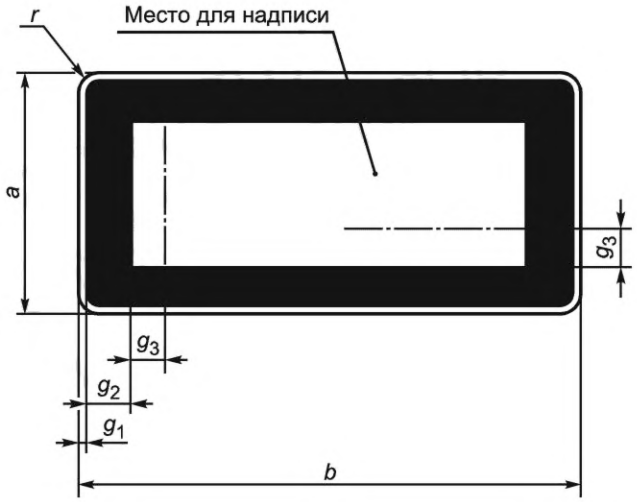
Примечания

1 Взаимосвязь между наибольшим расстоянием L, на котором маркировка может быть различимой, и минимальной площадью A маркировки, вычисляемой по формуле: $A = L^2/2000$, где A и L выражены в квадратных метрах и метрах соответственно. Данная формула применяется к расстоянию L менее 50 м.

2 Данные размеры являются рекомендованными значениями. Поскольку они пропорциональны значениям, символ и граница могут быть любого удобочитаемого размера согласно требованию к соответствию размера лазерного изделия.

Рисунок 3 — Предупредительная маркировка. Символ опасности

Надпись и граница: черный.
Фон: желтый



Размеры в миллиметрах

$a \times b$	g_1	g_2	g_3	r	Минимальная высота шрифта
26 × 52	1	4	4	2	Размер шрифта должен обеспечить четкость текста
52 × 105	1,6	5	5	3,2	
84 × 148	2	6	7,5	4	
100 × 250	2,5	8	12,5	5	
140 × 200	2,5	10	10	5	
140 × 250	2,5	10	12,5	5	
140 × 400	3	10	20	6	
200 × 250	3	12	12,5	6	
200 × 400	3	12	20	6	
250 × 400	4	15	25	8	
Размер g_1 имеет рекомендательный характер.					

Примечания

1 Взаимосвязь между наибольшим расстоянием L, на котором маркировка может быть различимой, и минимальной площадью A маркировки, вычисляемой по формуле: $A = L^2/2000$, где A и L выражены в квадратных метрах и метрах соответственно. Данная формула применяется к расстоянию L менее 50 м.

2 Данные размеры являются рекомендованными значениями. Маркировка может быть любого размера, необходимого для включения нужного шрифта и границы. Минимальная ширина каждого размера границы g_2 и g_3 составляет 0,06 раза длины короткой стороны маркировки.

Рисунок 4 — Пояснительная маркировка

7.2 Классы 1 и 1М

Кроме случаев, указанных в классе 1, каждое лазерное изделие класса 1 должно включать пояснительную маркировку (см. рисунок 4), содержащую следующий текст:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 1

В качестве альтернативы на изделие может быть нанесена маркировка, показанная на рисунке 5.



Рисунок 5 — Альтернативная маркировка класса 1

На каждом лазерном изделии класса 1М должна быть нанесена пояснительная маркировка (рисунок 4), содержащая следующий текст:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
НЕ ПОДВЕРГАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЮ
ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ
ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 1М

В качестве альтернативы на изделие может быть нанесена маркировка, показанная на рисунке 6.



Рисунок 6 — Альтернативная маркировка класса 1М

Вместо вышеприведенных маркировок на изделие по усмотрению производителя аналогичные формулировки могут быть включены в информацию для пользователя.

7.3 Класс 1С

На каждом лазерном изделии класса 1С должны быть нанесены предупредительная (рисунок 3) и пояснительная маркировки (рисунок 4), содержащая следующий текст:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
СОБЛЮДАТЬ ИНСТРУКЦИИ
ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 1С

В качестве альтернативы на изделие может быть нанесена маркировка, показанная на рисунке 7.



Рисунок 7 — Альтернативная маркировка класса 1С

7.4 Классы 2 и 2М

На каждом лазерном изделии класса 2 должны быть нанесены предупредительная (рисунок 3) и пояснительная маркировки (рисунок 4), содержащие следующий текст:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
НЕ СМОТРЕТЬ В ПУЧОК
ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 2

В качестве альтернативы на изделие может быть нанесена маркировка, показанная на рисунке 8.



Рисунок 8 — Альтернативная маркировка класса 2

На каждое лазерное изделие класса 2M должны быть нанесены предупредительная (рисунок 3) и пояснительная маркировки (рисунок 4), содержащие следующий текст:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
НЕ СМОТРЕТЬ В ПУЧОК И НЕ ПОДВЕРГАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ
ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 2M

В качестве альтернативы на изделие может быть нанесена маркировка, показанная на рисунке 9.



Рисунок 9 — Альтернативная маркировка класса 2M

Примечание — Представленная выше маркировка содержит рекомендацию для пользователей не смотреть пристально на луч, то есть проявлять активную защитную реакцию — двигать головой или закрывать глаза и не допускать непрерывного намеренного наблюдения в пучке. Также см. подробную информацию в приложении C.

7.5 Класс 3R

На каждое лазерное изделие класса 3R должны быть нанесены предупредительная (рисунок 3) и пояснительная маркировки (рисунок 4), содержащие следующий текст:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
ИЗБЕГАТЬ ПРЯМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЛАЗА
ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 3R

Примечание — Также допустимо во второй строке выражение «НЕ ДОПУСКАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПУЧКА».

В качестве альтернативы на изделие может быть нанесена маркировка, показанная на рисунке 10.



Рисунок 10 — Альтернативная маркировка класса 3R

7.6 Класс 3B

На каждое лазерное изделие класса 3B должны быть нанесены предупредительная (рисунок 3) и пояснительная маркировки (рисунок 4), содержащие следующий текст:

ВНИМАНИЕ: ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
ИЗБЕГАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПУЧКА
ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 3B

В качестве альтернативы на изделие может быть нанесена маркировка, показанная на рисунке 11.



Рисунок 11 — Альтернативная маркировка класса 3B

7.7 Класс 4

На каждое лазерное изделие класса 4 должны быть нанесены предупредительная (рисунок 3) и пояснительная маркировки (рисунок 4), содержащие следующий текст:

ВНИМАНИЕ: ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
ИЗБЕГАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЯМОГО И РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГЛАЗА И КОЖУ
ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 4

В качестве альтернативы на изделие может быть нанесена маркировка, показанная на рисунке 12.



Рисунок 12 — Альтернативная маркировка класса 4

7.8 Маркировка апертуры

На каждое лазерное изделие классов 3R, 3B и 4 должна быть нанесена маркировка вблизи каждой апертуры, через которую происходит излучение лазера с превышением ПДИ класса 1 или 2. Маркировка должна содержать надписи:

ЛАЗЕРНАЯ АПЕРТУРА

или

АПЕРТУРА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

или

ИЗБЕГАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ: ИЗ ЭТОЙ АПЕРТУРЫ
ВЫХОДИТ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

В качестве альтернативы на изделие может быть нанесена маркировка, показанная на рисунке 13.

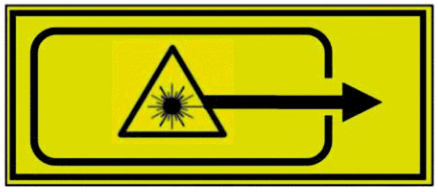


Рисунок 13 — Альтернативная маркировка лазерной апертуры

7.9 Выходное излучение и информация о стандартах

Наименование и дата публикации стандарта, согласно которому классифицировано лазерное изделие, должны быть включены в пояснительную маркировку, маркировки по 7.2—7.7 или обозначены в других местах, в непосредственной близости от них. Описание каждого лазерного изделия, за исключением изделий класса 1, должно быть включено в пояснительную маркировку (рисунок 4) или в маркировки по 7.2—7.7 — с указанием максимальной выходной мощности лазерного излучения (см. определение 3.58), длительности излучения (при необходимости) и излучаемых длин волн. Для классов 1 и 1M вместо маркировок на изделии сведения могут быть включены в информацию для пользователя.

При включении информации из 7.9 в маркировки по 7.2—7.7 ее можно разместить на табличке с указанием класса лазера или на отдельной табличке под классом лазера, либо добавить в пояснительную информацию под табличкой с указанием класса лазера, в зависимости от размера таблички.

7.10 Маркировки для панелей доступа

7.10.1 Маркировки для панелей

Все соединения и панели защитного кожуха, которые возможно снять или сместить, что предоставляет доступ человеку к лазерному излучению с превышением ПДИ класса 1, должны быть снабжены маркировкой с надписями (применительно к встроенному лазеру класса 1M формулировка может быть включена в информацию для пользователя):

a)

ОСТОРОЖНО: ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 1M!
ИСКЛЮЧИТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ ПРЯМОГО ВЗГЛЯДА
НА ОТКРЫТЫЕ ЧАСТИ ЧЕРЕЗ ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

если допустимое излучение не превышает ПДИ для класса 1M, при котором уровень излучения измеряется согласно перечислению a) 5.3 и 5.4;

b)

ОСТОРОЖНО: ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 2!
ПРИ ОТКРЫВАНИИ НЕ СМОТРЕТЬ НА ЛУЧ

если допустимое излучение не превышает ПДИ для класса 2, при котором уровень излучения измеряется согласно перечислению c) 5.3 и 5.4;

c)

ОСТОРОЖНО: ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 2M!
ПРИ ОТКРЫВАНИИ НЕ СМОТРЕТЬ НА ЛУЧ И ИСКЛЮЧИТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ ПРЯМОГО ВЗГЛЯДА
ЧЕРЕЗ ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

если допустимое излучение не превышает ПДИ для класса 2M, при котором уровень излучения измеряется согласно перечислению c) 5.3 и 5.4;

d)

ОСТОРОЖНО: ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 3R!
ПРИ ОТКРЫВАНИИ НЕ ДОПУСКАТЬ ПРЯМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЛАЗА

если допустимое излучение не превышает ПДИ для класса 3R.

Также допустимо использование во второй строке выражение «НЕ ДОПУСКАТЬ ОБЛУЧЕНИЯ ПУЧКОМ»;

e)

ОСТОРОЖНО: ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 3B! ПРИ ОТКРЫВАНИИ НЕ ДОПУСКАТЬ
ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛУЧА

если допустимое излучение не превышает ПДИ для класса 3B;

f)

ОПАСНО: ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 4!

ПРИ ОТКРЫВАНИИ НЕ ДОПУСКАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЛАЗА ИЛИ КОЖУ ПРЯМОГО И РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

если допустимое излучение превышает пределы для класса 3B.

Информация может быть представлена на изделии не только на одной маркировке, но и на расположенных рядом.

7.10.2 Маркировка для панелей защитных блокировок

Соответствующие маркировки должны быть непосредственно соотнесены с каждой защитной блокировкой, которая может быть полностью снята и которая впоследствии будет обеспечивать доступ человека к лазерному излучению с превышением ПДИ класса 1. Такие маркировки должны быть различимыми до и во время снятия блокировки и должны находиться в непосредственной близости от отверстия, образующегося при снятии защитного кожуха. Такая маркировка должна содержать слова, указанные в перечислениях a)—f) 7.10.1, в зависимости от обстоятельств, с введением дополнительной строки, расположенной под первой:

И ПРИ ОТКЛЮЧЕННЫХ БЛОКИРОВКАХ

7.11 Предупреждение о невидимом лазерном излучении

Во многих случаях формулировка, предусмотренная для маркировок, приведенных в настоящем разделе, включает фразу «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ». Если выходное излучение лазера находится за пределами диапазона длины волны от 400 до 700 нм, данная формулировка должна быть изменена на «НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ» либо, если длина волны выходного излучения находится как в пределах, так и за пределами данного диапазона длины волны, следует помещать надпись «ВИДИМОЕ И НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ».

Если изделие классифицировано на основании уровня видимого лазерного излучения, а его излучение превышает ПДИ класса 1 при невидимых длинах волн, маркировка должна включать слова «ВИДИМОЕ И НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ» вместо «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ».

При использовании альтернативных маркировок, представленных на рисунках 5—12, предупреждения о видимом и невидимом лазерном излучении должны быть включены в дополнительную табличку, расположенную ниже или рядом с маркировкой.

7.12 Предупреждение о видимом лазерном излучении

Формулировка «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ», приведенная в настоящем разделе, может быть изменена на «ЛАЗЕРНЫЙ СВЕТ», если выходное лазерное излучение изделия находится в пределах (видимого) диапазона длины волны от 400 до 700 нм.

7.13 Предупреждение о потенциальной опасности для кожи или переднего отдела глаза

Для классов 1, 1M, 2, 2M и 3R, если допустимое излучение превосходит ПДИ класса 3B, в соответствии с определением по апертуре диаметром 3,5 мм, установленной в ближайшей точке доступа человека, на маркировке изделия и в информации для пользователя должно быть указано дополнительное предупреждение [для классов 1 и 1M см. перечисление a) 5.3; для классов 2 и 2M см. перечисление c) 5.3; для класса 3R см. перечисление d) 5.3].

Нижеприведенное предупреждение должно быть нанесено на корпус изделия и включено в информацию для пользователя. Границы текста и символы должны быть черными на желтом фоне, в том числе для класса 1.

ЛАЗЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ: ОБЛУЧЕНИЕ РЯДОМ С АПЕРТУРОЙ МОЖЕТ ВЫЗВАТЬ ОЖОГИ

Примечание — Возможен риск поражения кожи при крайне неоднородных пучках в случае воздействия рядом с апертурой.

В то время как размещение пояснительной этикетки на изделии для классов 1 и 1M является необязательным (см. 7.2), приведенное выше предупреждение является обязательным.

8 Другие требования к информации

8.1 Информация для пользователя

Производители лазерных изделий обязаны обеспечивать (или предусматривать) пользовательские инструкции или руководство по эксплуатации, содержащие всю соответствующую информацию по безопасности. Ответственность за обеспечение указанной ниже информацией по безопасности и

решение о том, какая дополнительная информация является необходимой и, следовательно, должна быть предоставлена пользователю, возложена на производителя.

Примечание — Необходимость и достаточность информации зависят от определенного изделия, включая его целевое использование, и могут регулироваться внутренним законодательством.

По мере необходимости должна быть предоставлена следующая информация:

a) соответствующие инструкции для надлежащей сборки, технического обслуживания и безопасного использования, включая четкие предупреждения — предостережения по предотвращению возможного воздействия опасного лазерного излучения и, при необходимости, описание классификационных ограничений (классы и возможные ограничения приведены в приложении С);

b) дополнительное предупреждение для лазерных изделий классов 1М и 2М. В таком предупреждении должно быть указано, что наблюдение за выходным излучением лазера с телескопическими оптическими устройствами (например, телескопы и бинокли) может представлять опасность для глаз, и, следовательно, пользователь не должен направлять луч на область, где такие устройства могут быть использованы с большой вероятностью;

c) для уровней лазерного излучения выше ПДИ класса 1 описание любых характеристик излучения, исходящего из защитного кожуха во время эксплуатации и технического обслуживания. При необходимости должна быть включена формулировка с указанием соответствующих единиц:

- длина волны;
- угол расходимости пучка;
- длительность и частота импульса (либо аритмичная последовательность импульсов);
- максимальная мощность или энергия выходного излучения.

Значения в соответствующих случаях должны включать совокупные погрешности измерений и предполагаемый рост измеренного количества в любое время с момента производства. Указание длительности импульсов, возникающей вследствие непреднамеренной синхронизации мод, не является обязательным; при этом должны быть указаны связанные с изделием условия, которые приводят к непреднамеренной синхронизации мод. Для сверхкоротких импульсов должен быть указан диапазон частот излучения (то есть диапазон длины волны излучения);

d) для изделий со встроенным лазером и других встроенных лазерных изделий информация должна описывать встроенный лазер [см. перечисление c)]. Информация также должна включать соответствующие инструкции по безопасности для пользователя во избежание самопроизвольного воздействия опасного лазерного излучения. Это особенно актуально для изделий со встроенным лазером, отнесенных к классам 1, 1М, 2 или 2М, но только если наблюдение в пучке будет возможно в процессе технического обслуживания при допустимых пределах излучения с превышением ПДИ таких классов. В этих случаях производитель обязан включить предупреждение о том, что необходимо предотвращать прямое наблюдение в пучке;

e) применимое МДВ (см. приложение А) и НБРГ для лазерных изделий классов 3В и 4, при необходимости. Поскольку НБРГ по большей части зависит от системы переноса пучка и оптических элементов, расположенных в пучке, когда это считается уместным, рекомендуется присваивать различным приспособлениям или системам переноса пучка разные значения НБРГ. При изменяющейся расходимости пучка НБРГ может быть задано для некоторых выбранных значений угла расходимости. При указании значения МДВ и НБРГ также должна быть указана предполагаемая длительность излучения для определения таких значений. Для лазеров классов 1М и 2М с коллимированным пучком в соответствующих случаях должно быть указано протяженное НБРГ (РНБРГ).

Примечание — Специальной информации о РНБРГ для коллимированных пучков, используемых внутри помещений, как правило, не требуется. В таком случае, как правило, достаточно указать расстояние, при котором МДВ может быть превышено;

f) информация по выбору защиты для глаз, при необходимости. Должны быть включены необходимая оптическая плотность и диапазон длины волны, а также уровни облученности или энергетической экспозиции, которые могут падать на поверхность средства защиты глаз, благодаря чему могут быть определены уровни ослабления.

Примечание — Во многих странах используются нормы и стандарты для средств индивидуальной защиты;

g) на лазерное изделие должны быть нанесены или приложены к нему разборчивые копии (черный однотонный или соответствующие цвета, установленные в разделе 7) всех необходимых маркировок и

предупреждений об опасности. Следует указать соответствующее положение каждой маркировки на изделии либо, если маркировка прилагается к изделию, сообщить о том, что такие маркировки не могут быть нанесены на изделие, но прилагаются к нему, а также о форме и способе размещения маркировок. При использовании альтернативных графических маркировок на изделии из 7.2—7.8 соответствующие формулировки должны быть включены в руководство пользователя в дополнение к отображению графической маркировки;

h) четкое обозначение в руководстве всех местоположений лазерных апертур, через которые выходит лазерное излучение, превышающее ПДИ класса 1;

i) перечень элементов управления, настроек и процедур эксплуатации и технического обслуживания, включая предупреждение «Опасно! Использование элементов управления или настроек либо выполнение процедур, не указанных здесь, может привести к воздействию опасного излучения» (либо в качестве альтернативы равноценные подходящие предупреждения);

j) применительно к лазерным изделиям, которые не включают в себя источник лазерной накачки, необходимый для лазерного излучения, формулировка требований совместимости для источника лазерной накачки в целях обеспечения безопасности;

k) для классов 1, 1M, 2, 2M и 3R может потребоваться дополнительное предупреждение; см. перечисления a), c) и d) 5.3. Необходимо предоставить дополнительное предупреждение, которое обеспечит, например, осведомленность пользователей об опасности ожогов кожи или роговицы;

l) вертикальные стандарты устанавливают применимые требования касательно пользовательской информации для изделий класса 1C. Примеры соответствующей информации при соответствующих условиях:

- в предупреждении должно быть указано, что выходное лазерное излучение данного изделия может быть опасным при несоблюдении пользовательских инструкций;
- пользователей следует предостеречь от направления изделия на те участки кожи, где это небезопасно, например на веки;
- пользователи также должны быть предупреждены о периодичности применения, когда многократность может представлять угрозу.

8.2 Информация о приобретении и обслуживании

Производители лазерных изделий должны предоставлять или гарантировать предоставление следующих сведений:

a) класс каждого лазерного изделия и предупреждения, включая те, что определены в перечислениях b) и k) 8.1, должны быть внесены во все каталоги, спецификации и описательные брошюры;

b) для работников сервисного обслуживания и продавцов, а также других лиц по их требованию, соответствующие инструкции по регулировкам в процессе эксплуатации и порядку обслуживания каждой модели лазерного изделия, включающие:

- четкие предупреждения и предостережения, обязательные для исполнения для предотвращения возможного воздействия лазерного излучения выше класса 1 и других видов опасности;
- график технического обслуживания, необходимый для обеспечения функционирования изделия;
- перечень средств управления и процедур, которые могут использоваться лицами, помимо производителя или его агентов, для увеличения уровней допустимой энергетической экспозиции;
- четкое описание местоположения переносных частей защитного кожуха, которые могут открывать доступ к лазерному излучению с превышением допустимых пределов излучения, указанных в таблицах 3—8;
- процедуры защиты обслуживающего персонала;
- разборчивые копии (цвет по выбору) необходимых маркировок и предупреждений об опасности.

9 Дополнительные требования для определенных лазерных изделий

9.1 Другие части серии стандартов IEC 60825

На определенные области применения могут распространяться одна и более нижеприведенных частей серии стандартов IEC 60825 (см. также библиографию):

- IEC 60825-2, Safety of laser products — Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS) [Безопасность лазерных изделий. Часть 2. Безопасность волоконно-оптических систем связи (ВОСС)] (приведены примечания и примеры применения).
- IEC 60825-4, Safety of laser products — Part 4: Laser guards (Безопасность лазерных изделий. Часть 4. Устройства защиты от воздействия лазера) (представлена информация о проектировании и

конструкции средств защиты от воздействия лазера и материалов, особенно в случаях использования лазеров высокой мощности).

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

Дополнительную информацию содержат:

- IEC/TR 60825-3, Safety of laser products — Part 3: Guidance for laser displays and shows (Безопасность лазерных изделий. Часть 3. Руководящие указания по применению лазеров для зрелищных мероприятий);
- IEC/TR 60825-5, Safety of laser products — Part 5: Manufacturer's checklist for IEC 60825-1 (Безопасность лазерных изделий. Часть 5. Контрольный перечень к IEC 60825-1 для производителей) (подходит для использования в отчете по безопасности);
- IEC/TR 60825-8, Safety of laser products — Part 8: Guidelines for the safe use of laser beams on humans (Безопасность лазерных изделий. Часть 8. Руководящие указания по безопасному использованию лазерных лучей для людей);
- IEC/TR 60825-9, Safety of laser products — Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation (Безопасность лазерных изделий. Часть 9. Компиляция максимально допустимого воздействия некогерентного оптического излучения);
- IEC/TR 60825-13, Safety of laser products — Part 13: Measurements for classification of laser products (Безопасность лазерных изделий. Часть 13. Измерения, проводимые для классификации лазерных изделий);
- IEC/TR 60825-14, Safety of laser products — Part 14: A user's guide (Безопасность лазерных изделий. Часть 14. Руководство для пользователя);
- IEC 62471 (CIE S 009), Photobiological safety of lamps and lamp systems (Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем).

9.2 Медицинские лазерные изделия

Каждое медицинское лазерное изделие должно соответствовать всем требованиям, применимым к лазерным изделиям такого класса. Кроме того, любое медицинское или косметическое лазерное изделие класса 3B или 4 может регулироваться IEC 60601-2-22.

9.3 Лазерные обрабатывающие станки

Лазерные обрабатывающие станки должны соответствовать всем требованиям, применимым к лазерным изделиям такого класса. Кроме того, лазерные обрабатывающие станки могут регулироваться серией стандартов ISO/IEC 11553.

9.4 Электрические игрушки

Электрические игрушки, являющиеся лазерными изделиями, должны соответствовать всем требованиям, применимым к лазерным изделиям такого класса. Кроме того, подобные изделия регулируются IEC 62115.

9.5 Потребительские электронные изделия

Потребительские электронные изделия, являющиеся лазерными изделиями, должны соответствовать всем требованиям, применимым к лазерным изделиям такого класса. Кроме того, подобные изделия могут регулироваться IEC 60950-1 (информационно-техническое оборудование) или IEC 60065 (аудиовизуальное оборудование).

Приложение А
(справочное)

Значения максимально допустимого воздействия

А.1 Общие положения

Пределы допустимого излучения (ПДИ), как правило, получают из максимально допустимого воздействия (МДВ). МДВ включено в настоящее приложение, чтобы предоставить производителям дополнительную информацию, которая поможет в оценке вопросов обеспечения безопасности, связанных с целевым использованием изделий (как, например, определение НБРГ).

Примечание — Упрощенные расчеты могут в значительной степени обусловить неправильный показатель НБРГ. Например, когда лазерное изделие находится в пределах дальней зоны Релея, при наличии внешней перетяжки пучка, либо когда профиль пучка такой, что мощность, проходящая через апертуру, рассчитывается неправильно при взятии за основу гауссова профиля пучка. В таких случаях, как правило, целесообразно определять НБРГ путем измерений.

Значения максимально допустимого воздействия, содержащиеся в настоящем стандарте, заимствованы из предельных значений воздействия, опубликованных Международной комиссией по защите от неионизирующего излучения. Значения МДВ установлены ниже известных уровней опасности и основаны на наиболее доступных сведениях, полученных в ходе экспериментальных исследований. Значения МДВ следует использовать в качестве инструкций по контролю воздействия в целях безопасного проектирования изделия в качестве основы для предоставления информации пользователям. Значения МДВ не должны рассматриваться в качестве точно определенных разделяющих линий между безопасными и опасными уровнями. В таком случае воздействие лазерного излучения должно быть максимально низким.

МДВ, представленные в настоящем приложении, носят информационный характер и не должны интерпретироваться в качестве юридически обязательных пределов воздействия на работников на рабочем месте или на широкий круг лиц. Пределы воздействия на глаза и кожу работников на рабочем месте или широкого круга лиц во многих странах определены на уровне государственного законодательства. Такие пределы воздействия могут отличаться от значений МДВ, указанных в настоящем приложении.

Предполагается, что облучение несколькими длинами волн имеет аддитивное действие с учетом спектральной эффективности в отношении значений МДВ, указанных в таблицах А.1—А.5, при условии, что спектральные области обозначены в форме таблицы 1 как аддитивные обозначены символами: o — для воздействия на глаза, s — для воздействия на кожу. Если излучаемые длины волн не показаны в качестве аддитивных, опасности могут оцениваться отдельно.

Таблица А.1 — Максимально допустимое воздействие (МДВ) для C_6 = 1 у роговицы, выраженное в виде облученности или энергетической экспозиции [a, b]

<table>
<tr><th rowspan="2">Длина волны λ, нм</th><th colspan="9">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 $5 \cdot 10^{-6}$</th><th>От $5 \cdot 10^{-6}$ до $13 \cdot 10^{-5}$</th><th>От $13 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-3}$</th><th>От $1 \cdot 10^{-3}$ до 10</th><th>От 10 до 10^2</th><th>От 10^2 до $3 \cdot 10^4$</th></tr>
<tr><td>От 180 до 302,5</td><td colspan="2" rowspan="3">$3 \cdot 10^{10}$ Вт · м$^{-2}$</td><td colspan="7">30 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 302,5 до 315</td><td colspan="6">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="2">C_2 Дж · м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 315 до 400</td><td colspan="6">C_1 Дж · м$^{-2}$</td><td colspan="2">10^4 Дж · м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 400 до 450</td><td rowspan="3">$1 \cdot 10^{-3}$ Дж · м$^{-2}$</td><td colspan="3" rowspan="3">$2 \cdot 10^{-3}$ Дж · м$^{-2}$</td><td colspan="3" rowspan="3">$18t^{\,0,75}$ Дж·м$^{-2}$</td><td>100 Дж · м$^{-2}$</td><td rowspan="2">C_3 Вт · м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 450 до 500</td><td>100 C_3 Дж · м$^{-2}$ и[c] 10 Вт · м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 500 до 700</td><td colspan="2">10 Вт · м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 700 до 1050</td><td>$1 \cdot 10^{-3}$ Дж · м$^{-2}$</td><td colspan="3">$2 \cdot 10^{-3} C_4$ Дж · м$^{-2}$</td><td colspan="3">$18t^{\,0,75} \cdot C_4$ Дж · м$^{-2}$</td><td colspan="2" rowspan="2">10 $C_4 \cdot C_7$ Вт · м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 1050 до 1400[e]</td><td>$1 \cdot 10^{-3} C_7$ Дж · м$^{-2}$</td><td colspan="4">$2 \cdot 10^{-2} C_7$ Дж · м$^{-2}$</td><td colspan="2">$90t^{\,0,75} \cdot C_7$ Дж · м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 1400 до 1500</td><td colspan="2">10^{12} Вт · м$^{-2}$</td><td colspan="4">10^3 Дж · м$^{-2}$</td><td>$5600t^{0,25}$ Дж · м$^{-2}$</td><td colspan="2" rowspan="3">1000 Вт · м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 1500 до 1800</td><td colspan="2">10^{13} Вт · м$^{-2}$</td><td colspan="5">10^4 Дж · м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 1800 до 2600</td><td colspan="2">10^{12} Вт · м$^{-2}$</td><td colspan="4">10^3 Дж · м$^{-2}$</td><td>$5600t^{\,0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 2600 до 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></tr>
</table>

[a] Поправочные коэффициенты и значения представлены в таблице 9; уровень воздействия, сравниваемый со значениями МДВ, подлежит усреднению по соответствующей апертуре (таблица А.6).

[b] МДВ для длительности воздействия менее 10^{-9} с и длин волн менее 400 нм и более 1400 нм были получены путем расчета равноценной облученности по пределам воздействия излучения при 10^{-9} с. МДВ для длительности энергетической экспозиции менее 10^{-13} с заданы как равные эквивалентным значениям облученности МДВ при 10^{-13} с.

[c] В диапазоне длины волны от 450 до 500 нм применяются двойные пределы, а воздействие не должно превышать любой применимый предел.

[d] Для импульсно-периодических ультрафиолетовых лазеров ни один предел не должен быть превышен.

[e] В диапазоне длины волны от 1050 до 1400 нм пределы для защиты сетчатки, представленные в таблице, могут недостаточно защитить передние отделы глаза (роговицу, радужную оболочку), в связи с чем следует соблюдать осторожность. В случае, если воздействие не превышает значения МДВ для кожи, беспокоиться о передних отделах глаза не следует.

Таблица А.2 — Максимально допустимое воздействие (МДВ) у роговицы для протяженных источников в диапазоне длины волны от 400 до 1400 нм (область опасности повреждения сетчатки), выраженное в виде облученности или энергетической экспозиции[d]

<table>
<tr><td rowspan="2">Длина волны
λ, нм</td><td colspan="7">Длительность излучения t, с</td></tr>
<tr><td>От 10^{-13}
до 10^{-11}</td><td>От 10^{-11}
до $5 \cdot 10^{-6}$</td><td colspan="2">От $5 \cdot 10^{-6}$ до
$13 \cdot 10^{-5}$</td><td>От $1{,}3 \cdot 10^{-5}$
до 10</td><td>От 10
до 10^2</td><td>От 10^2
до 10^4</td><td>От 10^4
до $3 \cdot 10^4$</td></tr>
<tr><td rowspan="6">От 400 до 700</td><td rowspan="6">$1 \cdot 10^{-3}\ C_6$
Дж·м$^{-2}$</td><td rowspan="6">$2 \cdot 10^{-3}\ C_6$
Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3" rowspan="6">$18t^{0,75} \cdot C_6$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3">От 400 до 600 нм — фотохимическая опасность для сетчатки [a]</td></tr>
<tr><td>$100C_3$ Дж·м$^{-2}$
с использованием
γ_{ph} = 11 мрад</td><td>$1\ C_3$ Вт·м$^{-2}$
с использованием
$\gamma_{ph} = 1{,}1t^{0,5}$ мрад</td><td>$1C_3$ Вт·м$^{-2}$
с использованием
γ_{ph} = 110 мрад</td></tr>
<tr><td colspan="3">и[b]</td></tr>
<tr><td colspan="3">От 400 до 700 нм — термическая опасность для сетчатки</td></tr>
<tr><td colspan="3">$(t \le T_2)$
$18\ t^{0,75} \cdot C_6$ Дж·м$^{-2}$
$18\ C_6 \cdot T_2^{-0,25}$ Вт·м$^{-2}$ $(t > T_2)$</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>От 700 до 1050</td><td>$1 \cdot 10^{-3}\ C_6$
Дж·м$^{-2}$</td><td>$2 \cdot 10^{-3} \times$
$\times\ C_4 \cdot C_6$
Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">$18t^{0,75} \cdot C_4 \cdot C_6$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3">$(t \le T_2)$
$18\ t^{0,75} \cdot C_4 \cdot C_6$ Дж·м$^{-2}$
$18\ C_4 \cdot C_6 \cdot T_2^{-0,25}$ Вт·м$^{-2}$ $(t > T_2)$</td></tr>
<tr><td>От 1050 до 1400[c]</td><td>$1 \cdot 10^{-3}$
$C_6 \cdot C_7$
Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">$2 \cdot 10^{-2}\ C_6 \cdot C_7$ Дж·м$^{-2}$</td><td>$90t^{0,75} \cdot C_6 \cdot C_7$
Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3">$(t \le T_2)$
$90t^{0,75} \cdot C_6 \cdot C_7$ Дж·м$^{-2}$
$90\ C_6 \cdot C_7 \cdot T_2^{-0,25}$ Вт·м$^{-2}$ $(t > T_2)$</td></tr>
</table>

[a] Угол γ_{ph} является ограничивающим углом измерения восприятия.

[b] В диапазоне длины волны от 400 до 600 нм применяются двойные пределы, а воздействие не должно превышать любой применимый предел. Как правило, пределы фотохимической опасности применяются только к длительности воздействия более 10 с; при этом для длин волн от 400 до 484 нм и размеров видимых источников от 1,5 до 82 мрад двойной предел фотохимической опасности 100 C_3 Дж·м$^{-2}$ должен применяться к воздействию выше или равному 1 с.

[c] В диапазоне длины волны от 1050 до 1400 нм пределы для защиты сетчатки, представленные в таблице, могут недостаточно защитить передние отделы глаза (роговицу, радужную оболочку), в связи с чем следует соблюдать осторожность. В случае, если воздействие не превышает значения МДВ для кожи, беспокоиться о передних отделах глаза не следует.

[d] При длительности воздействия менее 0,25 с пределы для защиты сетчатки, представленные в таблице, могут недостаточно защитить передние отделы глаза (роговицу, радужную оболочку), в связи с чем следует соблюдать осторожность. В случае, если воздействие не превышает значения МДВ для кожи, беспокоиться о передних отделах глаза не следует.

Примечание — Пределы воздействия для некоторых тканей глаза могут быть различными применительно к офтальмологическим изделиям; см. ISO 15004-2.

Таблица А.3 — Максимально допустимое воздействие (МДВ) из таблицы А.1 (C_6 = 1) для диапазона длины волны от 400 до 1400 нм, выраженное в виде мощности или энергии[a, b]

<table>
<tr><th rowspan="2">Длина волны
λ, нм</th><th colspan="6">Длительность излучения t, с</th></tr>
<tr><th>От 10^{-13}
до 10^{-11}</th><th>От 10^{-11}
до $5 \cdot 10^{-6}$</th><th>От $5 \cdot 10^{-6}$ до $13 \cdot 10^{-8}$</th><th>От $13 \cdot 10^{-6}$
до 10</th><th>От 10
до 10^2</th><th>От 10^2
до $3 \cdot 10^4$</th></tr>
<tr><td>От 400 до 450</td><td rowspan="3">$3{,}8 \cdot 10^{-8}$ Дж</td><td rowspan="3">$7{,}7 \cdot 10^{-8}$ Дж</td><td colspan="2" rowspan="3">$7 \cdot 10^{-4}\ t^{0{,}75}$ Дж</td><td>$3{,}9 \cdot 10^{-3}$ Дж</td><td rowspan="2">$3{,}9 \cdot 10^{-5}\ C_3$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 450 до 500</td><td>$3{,}9 \cdot 10^{-3}\ C_3$ Дж
и[c]
$3{,}9 \cdot 10^{-4}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 500 до 700</td><td colspan="2">$3{,}9 \cdot 10^{-4}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 700 до 1050</td><td>$3{,}8 \cdot 10^{-8}$ Дж</td><td>$7{,}7 \cdot 10^{-8}\ C_4$ Дж</td><td colspan="2">$7 \cdot 10^{-4}\ t^{0{,}75} \cdot C_4$ Дж</td><td colspan="2" rowspan="2">$3{,}9 \cdot 10^{-4}\ C_4 \cdot C_7$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 1050 до 1400[d]</td><td>$3{,}8 \cdot 10^{-8}\ C_7$ Дж</td><td colspan="2">$7{,}7 \cdot 10^{-7}\ C_7$ Дж</td><td>$3{,}5 \cdot 10^{-3}\ t^{0{,}75} \cdot C_7$ Дж</td></tr>
</table>

[a] Поправочные коэффициенты и значения представлены в таблице 9.

[b] Значения МДВ для длительности излучения менее 10^{-13} с заданы как равные эквивалентным значениям мощности МДВ при 10^{-13} с.

[c] В диапазоне длины волны от 450 до 500 нм применяются двойные пределы, а воздействие не должно превышать любой применимый предел.

[d] В диапазоне длины волны от 1050 до 1400 нм пределы для защиты сетчатки, представленные в данной таблице, могут недостаточно защитить передние отделы глаза (роговицу, радужную оболочку), в связи с чем следует соблюдать осторожность. В случае, если воздействие не превышает значения МДВ для кожи, беспокоиться о передних отделах глаза не следует.

Примечание — Предел воздействия, сравниваемый с МДВ, выраженным в качестве мощности или энергии, определяется в качестве мощности или энергии, проходящей через апертуру диаметром 7 мм (значения МДВ, представленные в данной таблице, получены из значений таблицы А.1 путем умножения на область апертуры диаметром 7 мм).

Таблица А.4 — Максимально допустимое воздействие (МДВ) из таблицы А.2 (протяженные источники) для диапазона длины волны от 400 до 1400 нм, выраженное в виде мощности или энергии [a, b, c, d, e, g, f]

Длина волны λ, нм	Длительность излучения t, с						
	От 10^{-13} до 10^{-11}	От 10^{-11} до $5 \cdot 10^{-6}$	От $5 \cdot 10^{-6}$ до $13 \cdot 10^{-6}$	От $13 \cdot 10^{-6}$ до 10	От 10 до 10^2	От 10^2 до 10^4	От 10^4 до $3 \cdot 10^4$
От 400 до 700	$3{,}8 \cdot 10^{-8}\ C_6$ Дж	$7{,}7 \cdot 10^{-8}\ C_6$ Дж	$7 \cdot 10^{-4}\ t^{0,75} \cdot C_6$ Дж		от 400 до 600 нм — фотохимическая опасность повреждения сетчатки [d), e)] $3{,}9 \cdot 10^{-3}\ C_3$ Дж с использованием γ_{ph} = 11 мрад	 $3{,}9 \cdot 10^{-5}\ C_3$ Вт с использованием $\gamma_{ph} = 1{,}1t^{0,5}$ мрад	 $3{,}9 \cdot 10^{-5}\ C_3$ Вт с использованием γ_{ph} = 110 мрад
					и[c]		
					от 400 до 700 нм — термическая опасность повреждения сетчатки T_2		
					$(t \le T_2)$ $7 \cdot 10^{-4}\ t^{0,75} \cdot C_6$ Дж / $7 \cdot 10^{-4}\ C_6 \cdot T_2^{-0,25}$ Вт $(t > T_2)$		
От 700 до 1050	$3{,}8 \cdot 10^{-8}\ C_6$ Дж	$7{,}7 \cdot 10^{-8} \times C_4 \cdot C_6$ Дж	$7 \cdot 10^{-4}\ t^{0,75} \cdot C_4 \cdot C_6$ Дж		$(t \le T_2)$ $7 \cdot 10^{-4}\ t^{0,75} \cdot C_4 \cdot C_6$ Дж / $7 \cdot 10^{-4}\ C_4 \cdot C_6\ T_2^{-0,25}$ Вт $(t > T_2)$		
От 1050 до 1400[f]	$3{,}8 \cdot 10^{-8} \times C_6 \cdot C_7$ Дж	$7{,}7 \cdot 10^{-7}\ C_6 \cdot C_7$ Дж		$3{,}5 \cdot 10^{-3}\ t^{0,75} \cdot C_6 \cdot C_7$ Дж	$(t \le T_2)$ $3{,}5 \cdot 10^{-3}\ t^{0,75} \cdot C_6 \cdot C_7$ Дж / $3{,}5 \cdot 10^{-3}\ C_6 \cdot C_7 \cdot T_2^{-0,25}$ Вт $(t > T_2)$		

[a] Поправочные коэффициенты и значения представлены в таблице 9.

[b] Значения МДВ для длительности излучения менее 10^{-13} с заданы как равные эквивалентным значениям мощности МДВ при 10^{-13} с.

[c] В диапазоне длины волны от 450 до 600 нм применяются двойные пределы, а воздействие не должно превышать любой применимый предел.

[d] Угол γ_{ph} является ограничивающим углом измерения восприятия.

[e] При использовании времени воздействия от 1 до 10 с для длин волн от 400 до 484 нм и размеров видимого источника от 1,5 до 82 мрад, двойной предел фотохимической опасности $3{,}9 \cdot 10^{-3} C_3$ Дж продлевается до 1 с.

[f] В диапазоне длины волны от 1050 до 1400 нм пределы для защиты сетчатки, представленные в таблице, могут недостаточно защитить передние отделы глаза (роговицу, радужную оболочку), в связи с чем следует соблюдать осторожность. В случае, если воздействие не превышает значения МДВ для кожи, беспокоиться о передних отделах глаза не следует.

[g] При длительности воздействия менее 0,25 с пределы для защиты сетчатки, представленные в таблице, могут недостаточно защитить передние отделы глаза (роговицу, радужную оболочку), в связи с чем следует соблюдать осторожность. В случае, если воздействие не превышает значения МДВ для кожи, беспокоиться о передних отделах глаза не следует.

Примечания

1 Пределы воздействия для некоторых тканей глаза могут быть различными применительно к офтальмологическим изделиям; см. ISO 15004-2.

2 Предел воздействия, сравниваемый с МДВ, выраженным в качестве мощности или энергии, определяется в качестве мощности или энергии, проходящей через апертуру диаметром 7 мм (значения МДВ, представленные в данной таблице, получены из значений таблицы А.2 путем умножения на область апертуры диаметром 7 мм).

Таблица А.5 — Максимально допустимое воздействие лазерного излучения на кожу[a, b]

<table>
<tr><td rowspan="2">Длина волны λ, нм</td><td colspan="6">Длительность излучения t, с</td></tr>
<tr><td>Менее 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>От 180 до 302,5</td><td rowspan="3">$3 \cdot 10^{10}$ Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="5">30 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 302,5 до 315</td><td colspan="3">C_1 Дж·м$^{-2}$ ($t \le T_1$) / C_2 Дж·м$^{-2}$ ($t > T_1$)</td><td colspan="2">C_2 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 315 до 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>От 400 до 700</td><td>$2 \cdot 10^{11}$ Вт·м$^{-2}$</td><td>200 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">$1{,}1 \cdot 10^{4}\ t^{0{,}25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">2000 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 700 до 1400</td><td>$2 \cdot 10^{11}\ C_4$ Вт·м$^{-2}$</td><td>200 C_4 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">$1{,}1 \cdot 10^{4}\ C_4 \cdot t^{0{,}25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">2000 C_4 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 1400 до 1500</td><td>10^{12} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="2">10^{3} Дж·м$^{-2}$</td><td>$5600t^{0{,}25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2" rowspan="4">1000 Вт·м$^{-2}$ [c]</td></tr>
<tr><td>От 1500 до 1800</td><td>10^{13} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="3">10^{4} Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 1800 до 2600</td><td>10^{12} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="2">10^{3} Дж·м$^{-2}$</td><td>$5600t^{0{,}25}$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 2600 до 10^{6}</td><td>10^{11} Вт·м$^{-2}$</td><td>100 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">$5600t^{0{,}25}$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td colspan="7">[a] Поправочные коэффициенты и значения приведены в таблице 9; уровень воздействия, сравниваемый со значениями МДВ, подлежит усреднению по соответствующей апертуре (таблица А.6).
[b] Существует только одно ограниченное подтверждение о последствиях воздействия менее 10^{-9} с. Значения МДВ для такой длительности воздействия получены путем поддержания облученности при 10^{-9} с.
[c] Для участков воздействия на кожу более 0,1 м^2 МДВ снижено до 100 Вт·м$^{-2}$. От 0,01 до 0,1 м^2 МДВ варьируется обратно пропорционально площади облучения кожи.</td></tr>
</table>

А.2 Ограничивающие апертуры

Для проведения всех измерений и расчетов значений воздействия следует использовать соответствующую апертуру. Это ограничивающая апертура, определяемая по диаметру площади окружности, по которой усредняется облученность или энергетическая экспозиция. Значения ограничивающих апертур приведены в таблице А.6. При использовании значений МДВ для области, опасной для сетчатки, выраженных в виде мощности или энергии (таблица А.3 или А.4), значение воздействия должно выражаться в виде мощности или энергии и определяться в качестве мощности или энергии, проходящих через апертуру диаметром 7 мм.

При облучении импульсно-периодическим лазерным излучением в спектральном диапазоне от 1400 до 10^5 нм для оценки опасности одиночного импульса используется апертура 1 мм; при оценке МДВ используется апертура 3,5 мм применимого для воздействий дольше 10 с.

Значения воздействий на глаза в диапазоне спектра от 400 до 1400 нм измеряются по диаметру 7 мм (зрачок). МДВ не подлежит корректировке для учета малых диаметров зрачка.

Таблица А.6 — Диаметры апертуры для измерения облученности лазера и энергетической экспозиции

<table>
<tr><td rowspan="2">Область спектра, нм</td><td colspan="2">Диаметр апертуры, мм</td></tr>
<tr><td colspan="2">Глаз</td><td>Кожа</td></tr>
<tr><td>От 180 до 400</td><td colspan="2">1</td><td>3,5</td></tr>
<tr><td>От 400 до 1400</td><td colspan="2">7</td><td>3,5</td></tr>
<tr><td rowspan="3">От 1400 до 10^5</td><td>1</td><td>для $t \le 0{,}35$ с</td><td rowspan="3">3,5</td></tr>
<tr><td>$1{,}5t^{3/8}$</td><td>для $0{,}35\ \text{с} < t < 10$ с</td></tr>
<tr><td>3,5</td><td>для $t \ge 10$ с</td></tr>
<tr><td>От 10^5 до 10^6</td><td colspan="2">11</td><td>11</td></tr>
<tr><td colspan="4">Примечание — Мультиимпульсное экспонирование представлено в А.3.</td></tr>
</table>

А.3 Импульсно-периодические лазеры или лазеры с модуляцией

Для определения МДВ, применяемого к воздействию импульсно-периодического излучения, применяют следующие методы.

Воздействие любой группы импульсов (или подгруппы импульсов в серии), передаваемых за определенное время, не должно превышать МДВ для такого времени.

МДВ на зрение при длинах волн менее 400 нм и более 1400 нм, а также МДВ на кожу ограничены наиболее строгими требованиями, установленными в перечислениях a) и b).

МДВ на зрение при длинах волн от 400 до 1400 нм определяется по наиболее строгому из требований, установленных в перечислениях a), b) и c). Требование, установленное в перечислении c), применяется не к фотохимическим пределам повреждения сетчатки, а только к тепловым пределам повреждения сетчатки.

a) Воздействие одиночного импульса в пределах серии импульсов не превышает МДВ для одиночного импульса.

b) Среднее воздействие для серии импульсов длительностью T не превышает МДВ, указанного в таблицах А.1—А.3 для одиночного импульса длительности воздействия T. Для аритмичной последовательности импульсов (включая варьирующиеся энергии импульсов) T должно изменяться между T_i и максимально допустимой длительностью воздействия. Для регулярной последовательности импульсов достаточно усреднить длительность максимально допустимого воздействия.

c) Воздействие на импульс не превышает МДВ для одиночного импульса, умноженного на поправочный коэффициент C_5. Коэффициент C_5 применяют только к длительности отдельных импульсов менее 0,25 с.

$$МДВ_{серии\ о.и} = МДВ_{одиноч} \cdot C_5,$$

где $МДВ_{одиноч}$ — МДВ одиночного импульса;

$МДВ_{серии\ о.и}$ — МДВ одиночного импульса в серии импульсов.

Если длительность $t \le T_i$, то:

для максимально предполагаемой длительности воздействия менее или равной 0,25 с:

- $C_5 = 1{,}0$;

для максимально предполагаемой длительности воздействия более 0,25 с:

- если $N \le 600$, то $C_5 = 1{,}0$,
- если $N > 600$, то $C_5 = 5N^{-0{,}25}$ с минимальным значением $C_5 = 0{,}4$.

Если длительность $t > T_i$, то:

для $\alpha \le 5$ мрад:

- $C_5 = 1{,}0$;

для 5 мрад $< \alpha \le \alpha_{max}$:

- $C_5 = N^{-0{,}25}$ для $N \le 40$,
- $C_5 = 0{,}4$ для $N > 40$.

для $\alpha > \alpha_{max}$:

- $C_5 = N^{-0{,}25}$ для $N \le 625$,
- $C_5 = 0{,}2$ для $N > 625$.

Кроме случаев, когда $\alpha > 100$ мрад, где $C_5 = 1{,}0$ во всех случаях.

N — эффективное количество импульсов в серии импульсов в пределах оцениваемой длительности воздействия [когда импульсы возникают в пределах T_i (см. таблицу 2), N менее фактического количества импульсов; см. далее]. Максимальная длительность воздействия, подлежащая учету для оценки, соответствует T_2 (см. таблицу 9) или предполагаемая длительность воздействия, в зависимости от того, какая из них короче.

Если множественные импульсы возникают в период T_i (см. таблицу 2), они учитываются в качестве одиночного импульса для определения N, а энергетическая экспозиция отдельных импульсов добавляется для сравнения с МДВ T_i.

А.4 Условия измерения

А.4.1 Общие положения

Для выполнения оценки фактического воздействия следует придерживаться нижеприведенных условий измерения.

А.4.2 Ограничивающая апертура

Значения энергетической экспозиции или облученности, подлежащие сравнению с соответствующим МДВ, усредняются по круглой апертурной диафрагме согласно ограничивающим апертурам из таблицы А.6. Для зрительного воздействия в диапазоне длины волны от 400 до 1400 нм используется минимальное расстояние измерения 100 мм.

А.4.3 Угол восприятия

a) Фотохимические пределы повреждения сетчатки

Для измерения источников, подлежащих оценке согласно фотохимическим пределам (от 400 до 600 нм), ограничивающий угол восприятия γ_{ph} равен:

- для 10 с < t ≤ 100 с: γ_{ph} = 11 мрад;
- для 100 с < t ≤ 10^4 с: $\gamma_{ph} = 1{,}1t^{0{,}5}$ мрад;
- для 10^4 с < t ≤ $3 \cdot 10^4$ с: γ_{ph} = 110 мрад.

Если угловой размер источника α превышает заданный предельный угол восприятия γ_{ph}, угол восприятия не должен быть больше значений, заданных для γ_{ph}. Если угловой размер источника α менее заданного предельного угла восприятия γ_{ph}, угол восприятия должен полностью охватывать рассматриваемый источник, но при иных обстоятельствах не должен быть четко выраженным (то есть угол восприятия не должен быть ограничен до γ_{ph}).

Примечание — В случае отдельных источников, где $\alpha < \gamma_{ph}$, не требуется выполнять измерение посредством определенного, четко выраженного угла восприятия. Чтобы получить четко выраженный угол восприятия, его можно задать путем проецирования источника на полевую диафрагму или посредством маски перед источником; см. рисунки 1 и 2 соответственно.

b) Другие пределы

Для измерения излучения, подлежащего сравнению с пределами, за исключением предела фотохимической опасности для сетчатки, угол восприятия должен полностью охватывать рассматриваемый источник (то есть угол восприятия должен быть таким же большим, как угловой размер источника α). Однако если $\alpha > \alpha_{max}$ в диапазоне длины волны от 302,5 до 4000 нм, предельный угол восприятия не должен превышать α_{max} для пределов термической опасности. В пределах диапазона длины волны от 400 до 1400 нм для пределов термической опасности при проведении оценки видимого источника, состоящего из множества точек, угол восприятия должен быть в диапазоне $\alpha_{min} \le \gamma \le \alpha_{max}$ [см. перечисление d) 4.3].

При определении МДВ для источников с некруговыми диаграммами направленности значение углового размера прямоугольного или линейного источника определяется по среднему арифметическому двух угловых размеров источника. Любой угловой размер более α_{max} или менее α_{min} перед расчетом среднего должен быть ограничен до α_{min} или α_{min} соответственно. Пределы фотохимической опасности для сетчатки не зависят от углового размера источника, а источник измеряется по углу восприятия, как показано выше.

А.5 Лазеры, представляющие собой протяженный источник

Нижеприведенные поправки значения МДВ точечного источника в большинстве случаев ограничены наблюдением рассеянного отражения и в некоторых случаях могут применяться к лазерным матрицам, линейным лазерам, лазерам с перетяжками пучка диаметром более 0,2 мм и углам расходимости более 2 мрад или к диффузно излучающим лазерным изделиям, представляющим собой протяженный источник.

Для лазерного излучения от протяженного источника (например, наблюдение рассеянного отражения) при длинах волн от 400 до 1400 нм значения МДВ термической опасности для органов зрения увеличиваются на коэффициент C_6 при условии, что угловой размер источника (измеренный по глазу наблюдателя) выше α_{min}, где α_{min} равно 1,5 мрад.

Поправочный коэффициент C_6 получен посредством:

- $C_6 = 1$ для $\alpha \le \alpha_{min}$;
- $C_6 = \dfrac{\alpha}{\alpha_{min}}$ для $\alpha_{min} < \alpha \le \alpha_{max}$;
- $C_6 = \dfrac{\alpha_{max}}{\alpha_{min}}$ для $\alpha > \alpha_{max}$.

Приложение В
(справочное)

Примеры расчетов

В.1 Обозначения, используемые в примерах в данном приложении

Обозначение	Единица измерения	Определение
a	м	Диаметр излучаемого лазерного пучка
ПДИ	Вт, Дж, Вт · м$^{-2}$ или Дж · м$^{-2}$	Предел допустимого излучения
α	рад	Угол, стягиваемый видимым источником (или рассеянное отражение) при наблюдении в точке пространства
α_{min}	рад	Минимальный угол, стягиваемый источником, к которому применяется критерий протяженного источника (1,5 мрад)
α_{max}	рад	Минимальный угол, стягиваемый источником, для которого критерий протяженного источника варьируется линейно с размером источника (варьируется от 5 до 100 мрад)
C_1, C_2,..., C_7	1	Поправочные коэффициенты (см. таблицу 9)
ЧПИ, F	Гц	Частота повторения импульса
H	Дж · м$^{-2}$	Энергетическая экспозиция
E	Вт · м$^{-2}$	Облученность на заданном расстоянии r от видимого источника
H_0	Дж · м$^{-2}$	Энергетическая экспозиция излучаемого пучка
E_0	Вт · м$^{-2}$	Облученность на нулевом расстоянии от видимого источника
λ	нм	Длина волны лазерного излучения
N	1	Количество импульсов в течение времени облучения
P_0	Вт	Общая мощность излучения (общий поток излучения) лазера непрерывного излучения либо средняя мощность излучения импульсно-периодического лазера
P_p	Вт	Облученность в пределах импульса импульсного лазера
φ	рад	Угол расходимости излучаемого лазерного пучка
π	1	Численная постоянная 3,142 (число «пи»)
Q	Дж	Общая энергия излучения импульсного лазера
t	с	Длительность одиночного лазерного импульса
T	с	Общая длительность излучения серии импульсов
T_1, T_2	с	Контрольные длительности (см. таблицу 9)

В.2 Классификация лазерного изделия. Введение

Примеры, представленные в данном приложении, демонстрируют методики расчетов для классификации лазерного изделия по параметрам измерений, полученным при нижеуказанных условиях измерения, установленных настоящим стандартом. Блок-схемы, представленные в данном приложении, демонстрируют основные меры, которые могут потребоваться для выполнения классификационного расчета лазерного изделия. Однако данными блок-схемами охвачены не все лазерные изделия.

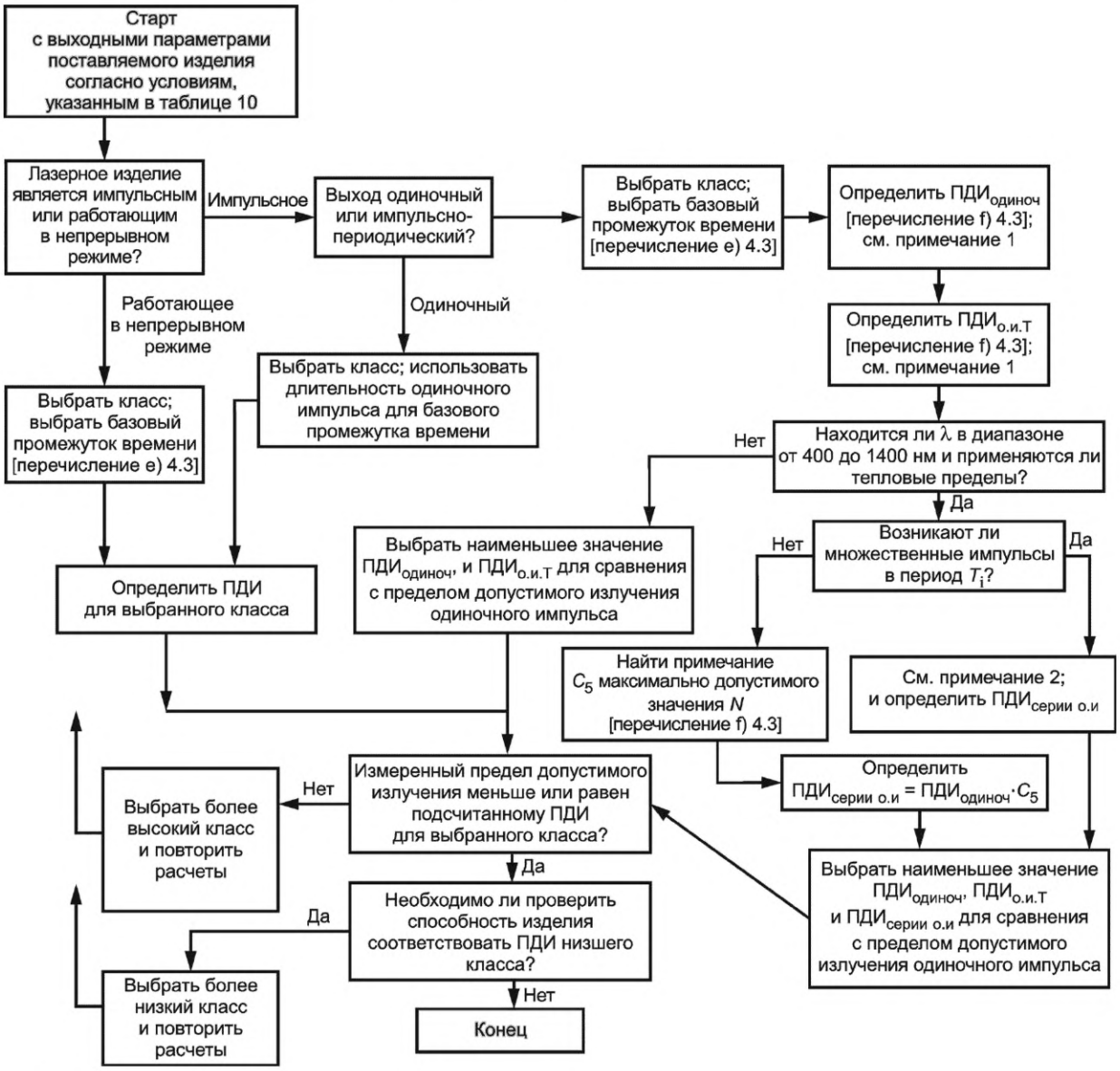
В соответствии с 4.2 и 4.3:

- в обязанности производителя или его представителя входит установление надлежащей классификации лазерного изделия. Изделие классифицируется на основании совокупности выходной мощности и длины волны допустимого лазерного излучения во всем диапазоне его возможностей при работе в любой момент времени после изготовления, что приводит к возможности отнести его к наиболее высокому классу. Пределы допустимого излучения (ПДИ) для классов 1, 1С и 1М, 2 и 2М, 3R и 3В (перечислены в порядке возрастания опасности) приведены в таблицах 3—8;

- значения используемых поправочных коэффициентов приведены в таблице 9 в качестве функций длины волны, длительности излучения, количества импульсов и углового размера.

Если пользователь модифицирует лазерное изделие с изменением допустимых пределов излучения, в его обязанности входит обеспечение надлежащей классификации изделия.

Надлежащая классификация лазерного изделия может требовать расчета ПДИ более чем для одного из классов, перечисленных в 5.3, в целях установления правильного класса, как показано на рисунках В.1 и В.2. Примеры ПДИ для класса 1 приведены на рисунках В.3—В.5.



Примечания

1 ПДИ$_{одиноч}$ определяется по длительности одиночного импульса. ПДИ$_{о.и.Т}$ рассчитывается из ПДИ$_Т$, определенного по выбранному базовому промежутку времени, где:

- если ПДИ$_Т$ выражено в Дж или Дж · м$^{-2}$, то ПДИ$_{о.и.Т}$ = ПДИ$_Т$/N_T (в единицах Дж или Дж · м$^{-2}$);
- если ПДИ$_Т$ выражено в Вт или Вт · м$^{-2}$, то ПДИ$_{о.и.Т}$ = ПДИ$_Т$/ЧПИ (в единицах Дж или Дж · м$^{-2}$).

T — выбранный базовый промежуток времени в секундах;

N_T — количество импульсов за время T.

2 Если множественные импульсы возникают в период T_i, длительность одиночного импульса меняется на T_i и рассчитывается новое значение ПДИ$_{одиноч}$. ЧПИ меняется соответственно для определения максимально допустимого значения N [перечисление e) 4.3]. Новое значение ПДИ$_{одиноч}$ разделяют на количество исходных импульсов, содержащихся в периоде T_i, до замены окончательного значения ПДИ$_{одиноч}$ в формуле для ПДИ$_{серии\ о.и.}$

Рисунок В.1 — Блок-схема классификации лазерных изделий по предоставленным выходным параметрам

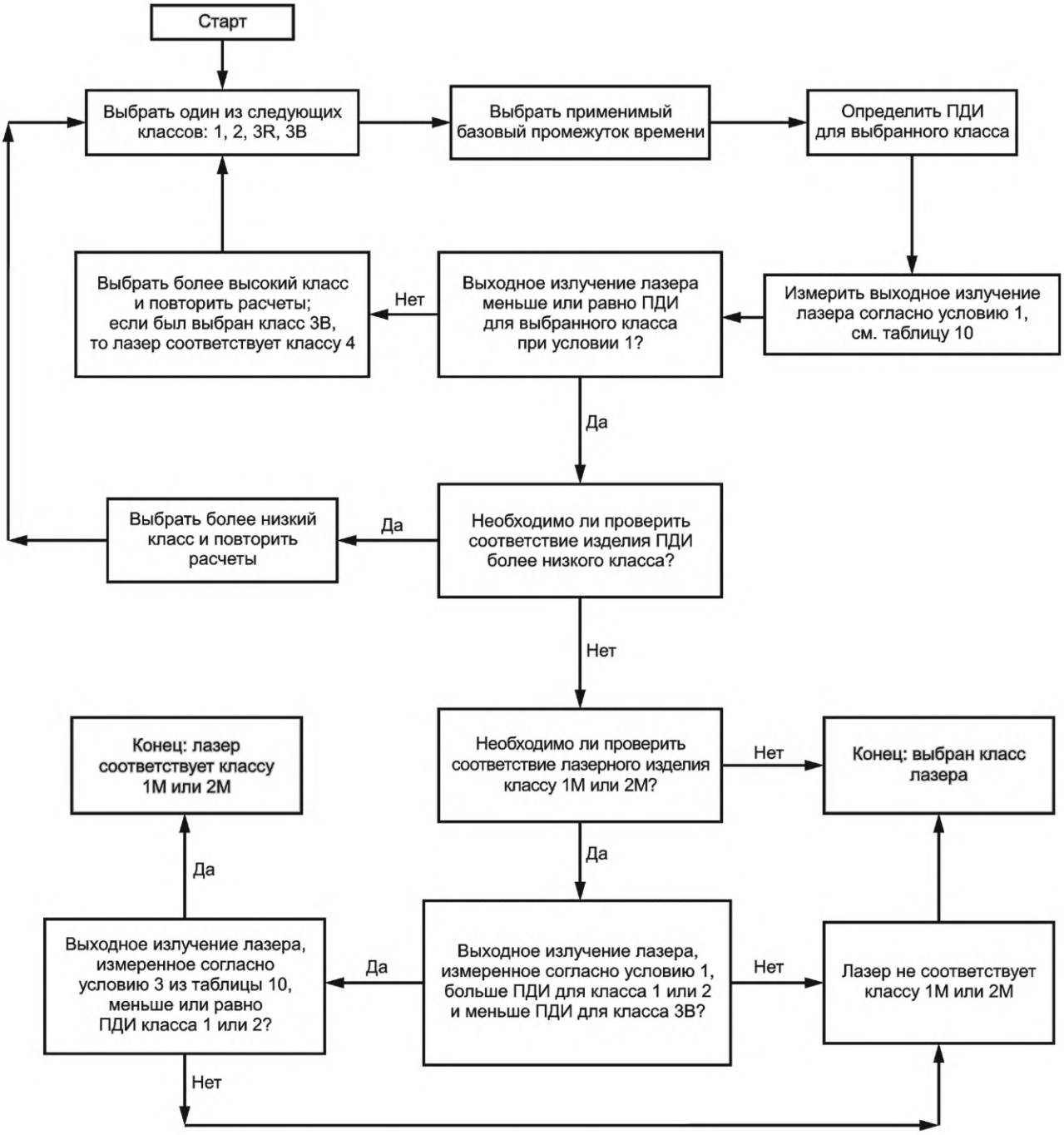


Рисунок B.2 — Инструкция в виде блок-схемы по классификации лазерных изделий классов 1M и 2M

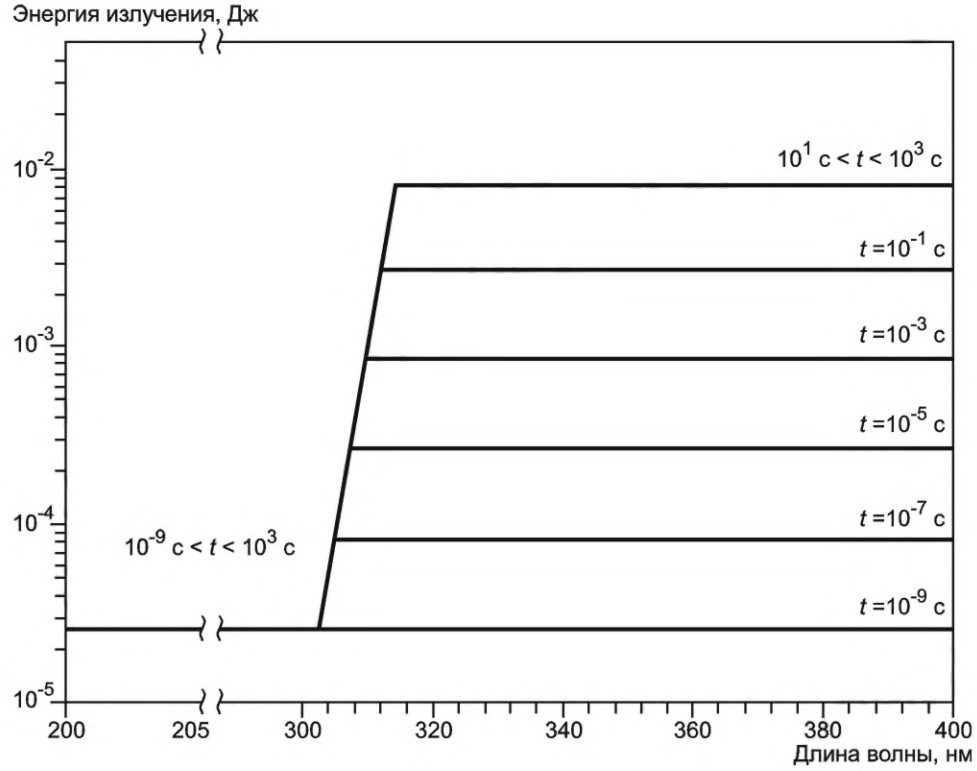


Рисунок В.3 — ПДИ для ультрафиолетовых лазерных изделий класса 1 с длительностью излучения от 10^{-9} до 10^{3} с

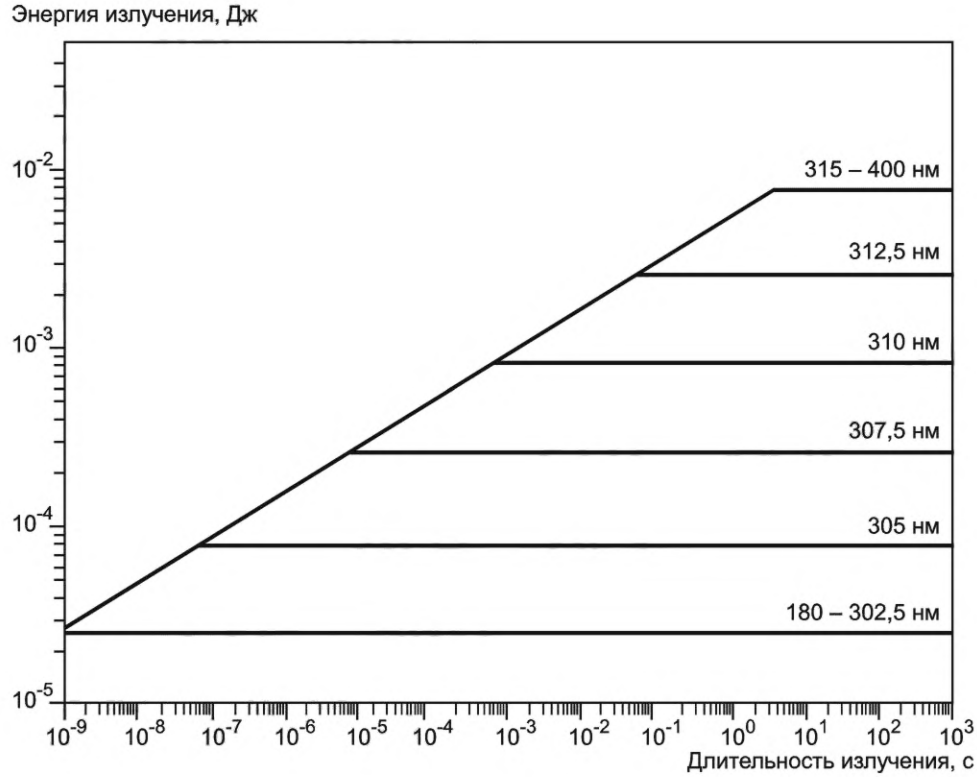


Рисунок В.4 — ПДИ для ультрафиолетовых лазерных изделий класса 1 с длительностью излучения от 10^{-9} до 10^{3} с при выбранных длинах волн

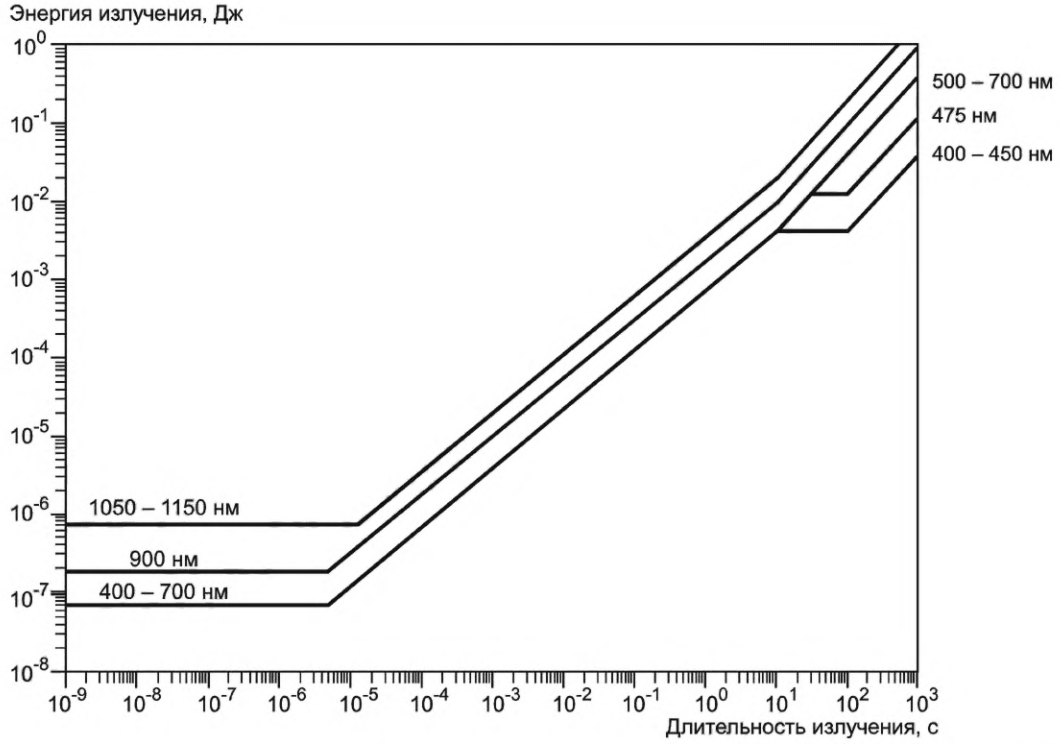


Рисунок В.5 — ПДИ для видимых и указанных инфракрасных лазерных изделий класса 1 (когда C_6 = 1)

В.3 Примеры

Пример В.3.1

Классифицировать работающий в непрерывном режиме гелий-неоновый лазер (λ = 633 нм) с выходной мощностью 50 мВт, диаметром пучка 3 мм и углом расходимости пучка 1 мрад.

Решение:

По характеристикам пучка можно сделать вывод, что это хорошо коллимированный точечный источник, где $\alpha \le \alpha_{min}$ = 1,5 мрад. В связи с малым диаметром пучка и углом расходимости полная мощность пучка будет проходить сквозь апертуру 7 мм, а следовательно, условия измерения 1 и 3 обеспечат аналогичный предел допустимого излучения. Выбрать класс и соответствующий базовый промежуток времени [см. перечисление е) 4.3].

Выбрать класс 3В и базовый промежуток времени 100 с. Несмотря на то что выходное излучение лазера находится в пределах видимого диапазона длины волны от 400 до 700 нм, базовый промежуток времени 0,25 с не разрешен для класса 3В и преднамеренное наблюдение в пучке является маловероятным. Для класса 3В в таблице 8 дано:

$$\text{ПДИ} = 0{,}5 \text{ Вт}.$$

Поскольку лазер излучает только 50 мВт, он не превышает ПДИ для класса 3В и может быть классифицирован согласно классу 3В. В перечислении а) 4.3 указано, что ПДИ для всех меньших классов должен быть превышен, однако не всегда бывает очевидно, что изделие не сможет удовлетворять требованиям более низкого класса, поэтому в случае сомнений необходимо проверить условия отнесения к этому классу.

Для класса 3R базовый промежуток времени 0,25 с должен быть использован для излучения в пределах диапазона длины волны от 400 до 700 нм, то есть согласно таблице 6:

$$\text{ПДИ} = 5 \cdot 10^{-3} C_6 \text{ Вт}.$$

Согласно таблице 9 C_6 = 1 для наблюдения в хорошо коллимированном пучке, то есть $\alpha \le$ 1,5 мрад, следовательно:

$$\text{ПДИ} = 5 \text{ мВт}.$$

Так как выходная мощность лазера составляет 50 мВт, она превосходит ПДИ для класса 3R, но меньше ПДИ для класса 3В, а поскольку условия 1 и 3 аналогичны, она не может относиться к классу 1М или 2М. Следовательно, лазер будет систематизирован как относящийся к классу 3В.

Пример В.3.2

Непрерывно работающий диодный лазер мощностью 12 мВт (λ = 900 нм) без коллимирующей линзы имеет угол расходимости пучка 0,5 рад. Как можно классифицировать данное изделие, учитывая нижеприведенные параметры для условий измерения, установленных в таблице 10? Допустим, угловой размер α источника на расстоянии измерения 100 мм меньше, чем α_{min}.

Условие 1: мощность излучения менее 20 мкВт через апертурную диафрагму 50 мм на расстоянии 2 м от луча лазерного диода.

Условие 3: мощность излучения равна 0,7 мВт через апертурную диафрагму 7 мм на расстоянии 100 мм от луча лазерного диода.

Решение:

Условие 3 для такого рассеивающегося источника будет более ограничительным, чем условие 1.

Выбрать класс 1 и базовый промежуток времени 100 с [см. перечисление e) 4.3]; таким образом, лазер с длиной волны от 400 до 1400 нм и α 1,5 мрад $C_6 = 1$ (см. таблицу 9), в связи с чем ПДИ для класса 1 определенное по таблице 3 следующим образом:

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

где из таблицы 9: $C_4 = 10^{0{,}002(\lambda - 700)} = 2{,}51$ и $C_7 = 1$. Таким образом,

$$\text{ПДИ} = 0{,}98 \text{ мВт}.$$

При сравнении данных условия 3 с ПДИ для лазерных изделий класса 1 изделие будет соответствовать требованиям для класса 1.

Если пользователь добавит коллимирующие линзы к такому диодному лазеру, может потребоваться повторная классификация изделия.

Наблюдение такого источника с фиксированным усилителем мощности может быть опасно. Область классификации данного стандарта включает только портативные усилители с семикратной мощностью (см. С.3).

Пример В.3.3

Классифицировать неодимовый лазер удвоенной частоты с одиночным импульсом, обладающий следующими характеристиками выходного излучения; допустим, обе длины волны излучаются одновременно.

Выходная энергия импульса: 100 мДж при $\lambda = 1060$ нм,

Выходная энергия импульса равна 25 мДж при $\lambda = 530$ нм,

Длительность импульса = 25 нс,

Диаметр апертуры = 5 мм,

Угол расходимости пучка для каждой длины волны меньшей 1 мрад.

Решение:

Наиболее ограничивающий случай для данного лазера, когда пучки распространяются совместно поэтому лазер классифицируется для такого случая. Поскольку пучки обладают малым диаметром и низкой расходимость, очевидно, что измерения, выполненные при условиях, указанных в таблице 10, покажут общую энергию для каждой длины волны. Допустим, лазер способен излучать только один импульс за базовый промежуток времени 100 с, таким образом, длительность импульса может быть использована для продолжительности воздействия. При выборе лазерного изделия класса 3B ПДИ из таблицы 8 будут следующими:

- $\lambda = 1060$ нм $\text{ПДИ}_{1060} = 0{,}03 C_4$ Дж = 0,15 Дж = 150 мДж;
- $\lambda = 530$ нм $\text{ПДИ}_{530} = 0{,}03$ Дж = 30 мДж (так как $t < 0{,}06$ с).

Правила классификации множественных длин волн указаны в перечислении b) 4.3, а в таблице 1 показано, что эти две волны являются аддитивными для глаза.

Таким образом, методику, описанную в перечислении b) 1) 4.3, следует использовать для присвоения класса путем оценки:

$$\frac{Q_{1060}}{\text{ПДИ}_{1060}} + \frac{Q_{530}}{\text{ПДИ}_{530}} \le 1.$$

Подставляют соответствующие значения в мДж:

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

Так как это полученное значение более 1, лазерному изделию следует присвоить более высокий класс.

Таким образом, лазерное изделие соответствует классу 4.

Пример В.3.4

Классифицировать работающий в непрерывном режиме углекислотный лазер ($\lambda = 10{,}6$ мкм), используемый в системе охраны с открытым пучком. Допустим, средняя выходная мощность равна 0,4 Вт, при диаметре пучка 2 мм и углом расхождения пучка в 1 мрад.

Решение:

Выбрать класс 3R и, поскольку намеренное наблюдение не предполагается, в перечислении e) 4.3 приведен базовый промежуток времени 100 с.

В таблице 9 указано, что для данной длины волны $C_6 = 1$, таким образом следует использовать таблицу 6, а ПДИ для класса 3R с $T = 100$ с равно 5000 Вт $\cdot$ м$^{-2}$. В таблице 10 установлено, что для данной длины волны применяется только условие 3 и, так как ПДИ имеет единицы в Вт $\cdot$ м$^{-2}$, целесообразно найти плотность мощности для условия 3. Обращаясь к точке координат в таблице 11 для условия измерения 3, можно предположить, что перетяжка пучка находится в пределах корпуса, в связи с чем, учитывая текст в нижней части таблицы 11, плотность мощности находится в ближайшей точке доступности для человека.

В таблице 10 приведена ограничивающая апертура для воздействия в 100 с при 3,5 мм, однако диаметр лазерного пучка составляет 2 мм. Для расчета плотности мощности ($E_0 = P_0$/площадь) следует использовать значение, превосходящее фактический диаметр пучка или ограничивающей апертуры. Таким образом:

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

Это превосходит ПДИ для класса 3R, в связи с чем следует принять за основу более высокий класс. В таблице 8 указано ПДИ для класса 3B в качестве 0,5 Вт; таким образом, поскольку это значение превосходит общую выходную мощность лазера, такой лазер классифицируется как класс 3B.

Пример B.3.5

Классифицировать импульсный лазер с длительностью импульса в 1 мкс с частотой повторения импульсов (F) 500 Гц, пиковой выходной мощностью 10 кВт при λ = 694 нм, диаметром пучка 5 мм и углом расходимости пучка 0,5 мрад. Угловой размер должен быть меньше или равен углу расходимости. Таким образом допускается точечный источник с $\alpha < \alpha_{min}$ = 1,5 мрад.

В перечислении f) 4.3 приведены подробные сведения о требованиях для следующих импульсно-периодических лазеров.

Для всех длин волн должны быть оценены требования перечислений 1) и 2). Кроме того, для длин волн от 400 до 1400 нм требование перечисления 3) также должно быть оценено для сравнения с тепловыми пределами. Требование перечисления 3) не предполагает оценки для сравнения с фотохимическими пределами.

Решение:

Выбрать класс 3B и, в связи с тем, что преднамеренное наблюдение не предполагается, в соответствии с перечислением e) 4.3 принимают базовый промежуток времени, равный 100 с.

В перечислении f) 3) 4.3 указано, что при возникновении нескольких импульсов в период T_i (T_i представлено в таблице 2), они учитываются в качестве одиночного импульса для определения N, а энергетическая экспозиция одиночных импульсов добавляется и сравнивается с ПДИ T_i. Таким образом, необходимо подтвердить возникновение нескольких импульсов в пределах длительности T_i. Если период между импульсами лазера меньше длительности T_i, необходимо учитывать следующее.

Проверить возможность возникновения нескольких импульсов в пределах периода T_i согласно таблице 2. При этом для данной длины волны лазера $T_i = 5 \cdot 10^{-6}$ с, а фактическое время между импульсами составляет $1/F = 2 \cdot 10^{-3}$ с; значит, несколько импульсов не возникают в период T_i. Следовать порядку, представленному в перечислении f) 4.3:

a) в перечислении f) 1) 4.3 рассматривается воздействие одиночного импульса. В таблице 8 указано $t = 1 \cdot 10^{-6}$ с,

$$\text{ПДИ}_{\text{одиноч}} = 0{,}03 \text{ Дж (так как } t < 0{,}06 \text{ с);}$$

b) в перечислении f) 2) 4.3 рассматривается средняя мощность серии импульсов при длительности T. В таблице 8 дано ПДИ для T = 100 с, как указано ниже:

$$\text{ПДИ}_T = 0{,}5 \text{ Вт.}$$

Так как данный лазер имеет постоянную последовательность импульсов, нет необходимости в усреднении более коротких значений длительности. Для удобства сравнения [см. примечание к перечислению f) 2) 4.3] ПДИ_T преобразовано для соответствия одиночному импульсу. В таком случае, поскольку ПДИ_T измеряется в Вт, деление на ЧПИ дает равноценную энергию ПДИ на импульс; таким образом:

$$\text{ПДИ}_{\text{о.и.Т}} = \frac{\text{ПДИ}_T}{\text{ЧПИ}} = \frac{0{,}5 \text{ Вт}}{500 \text{ Гц}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{Дж;}$$

c) в перечислении f) 3) 4.3 рассматривается энергия одиночного импульса, умноженная на C_5. То есть $\text{ПДИ}_{\text{серии о.и}} = \text{ПДИ}_{\text{одиноч}} \cdot C_5$. Согласно перечислению f) 3) 4.3:

- $t < T_i$ и базовый промежуток времени > 0,25 с

если $N \le 600$ $C_5 = 1$

если $N > 600$ $C_5 = 5 \cdot N^{-0{,}25}$ при минимуме 0,4. Также N ограничено количеством импульсов, возникающих в пределах периода T_2 = 10 с для $\alpha \le \alpha_{min}$ (см. таблицу 9). Таким образом, с повторением импульса 500 Гц за 10 с $N = 500 \cdot 10 = 5000$, что больше 600, а значит:

$$C_5 = 5 \cdot 5000^{-0{,}25} = 0{,}59.$$

Таким образом:

$$\text{ПДИ}_{\text{серии о.и}} = 0{,}03 \cdot 0{,}59 \text{ Дж;}$$

$$\text{ПДИ}_{\text{серии о.и}} = 0{,}018 \text{ Дж.}$$

Все три вышеприведенных значения ПДИ относятся к одному импульсу и могут быть сравнены напрямую для поиска наиболее ограничивающего из них. Таким образом, наиболее ограничивающим из трех значений является $\text{ПДИ}_{\text{о.и.Т}}$, а значит, ПДИ для класса 3B составляет $1 \cdot 10^{-3}$ Дж.

Так как лазер обладает малым диаметром пучка и низким углом расходимости, интенсивность излучения, измеренная при условиях 1 и 3 (см. таблицу 10), будут одинаковы и равны общей энергии лазера. ПДИ (в таком случае равное энергии импульса) и уровень излучения (заданная пиковая мощность) должны быть выражены в одних и тех же величинах, в связи с чем пиковая мощность излучения подлежит преобразованию в энергию импульса (или наоборот).

Энергия импульса лазера Q рассчитывается по соотношению

$$Q = (\text{пиковая мощность}) \cdot (\text{длительность импульса})$$

$$Q = 10^4 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0{,}01 \text{ Дж}.$$

Так как энергия доступного излучения на импульс превосходит $\text{ПДИ}_{\text{о.и.т}}$, лазерное изделие превышает ПДИ для класса 3В и, следовательно, должно быть отнесено к классу 4.

Приложение С
(справочное)

Описание классов и связанных с ними потенциальных опасностей

С.1 Общие положения

В данном приложении представлено описание классов, а также возможных опасностей, которые с ними связаны.

Приложение служит руководством для производителей в части описания рисков, связанных с лазерным изделием. Здесь также указаны ограничения классификационной схемы — ситуации, в которых тот или иной уровень класса, как правило, неприменим.

Классификация разработана в помощь пользователю при оценке опасности лазера и определении мер внутреннего контроля. Классификация лазера имеет отношение к потенциальной опасности допустимого лазерного излучения, если речь идет о поражении кожи или глаз, и не затрагивает другие потенциальные опасности, такие как электрические, механические или химические, а также риски вторичного оптического излучения. Цель классификации — идентификация повышенного риска травмы с увеличением мощности доступного излучения, при условии класса 1, а также наиболее точное описание риска потенциального воздействия на близких расстояниях от лазера. Зона опасности для различных лазеров может значительно различаться в пределах одного класса. Потенциальная опасность может быть существенно сокращена с помощью расширенных мер защиты пользователя, включая дополнительные средства инженерного контроля, такие как защитные кожухи.

С.2 Описание классов

С.2.1 Класс 1

Лазерные изделия, безопасные при эксплуатации, в том числе в отношении продолжительного наблюдения в пучке, даже в случае воздействия с использованием телескопической оптики. Класс 1 также включает высокомощные лазеры полностью закрытого типа, так что потенциально опасное излучение недоступно при использовании (изделие со встроенным лазером). Наблюдение в пучке в лазерных изделиях класса 1, излучающих видимое излучение, все-таки может создавать ослепляющие визуальные эффекты, в частности при слабом освещении.

Термин «безопасный для глаз» может использоваться только в отношении лазерных изделий класса 1. Термин «безопасный для глаз лазер» не следует употреблять при описании лазера только на основании его выходной длины волны, превышающей 1400 нм. Лазеры любой длины волны с достаточной выходной мощностью могут вызывать травму.

С.2.2 Класс 1М

Лазерные изделия, являющиеся безопасными, в том числе в отношении продолжительного наблюдения в пучке невооруженным глазом (без вспомогательных устройств). Может быть превышено МДВ, и возможна травма глаза в результате воздействия с использованием телескопической оптики, такой как бинокли для коллимированного пучка с диаметром более диаметра измерения, заданного для условия 3 (см. таблицу 10).

Область длин волн для лазеров класса 1М ограничена спектральной областью, в которой наиболее широко используемые в оптических устройствах стеклянные оптические материалы обладают хорошей прозрачностью, т. е. от 302,5 до 4000 нм. Наблюдение в пучке излучения лазерного изделия класса 1М, которое генерирует видимое излучение, может создать ослепляющий эффект, особенно при низкой окружающей освещенности.

С.2.3 Класс 1С

Лазерные изделия, предназначенные для целенаправленного применения лазерного излучения на коже или тканях внутренних органов в медицинских, терапевтических или косметических целях, таких как удаление волос, разглаживание морщин и лечение угревой сыпи. Несмотря на то, что лазерное излучение может соответствовать уровням классов 3R, 3B или 4, воздействие на зрение должно быть предотвращено с помощью одного или более инженерных средств. Уровень воздействия на кожу зависит от применения, в связи с чем этот аспект обеспечивается вертикальными стандартами. Данный класс был введен в настоящем стандарте, поскольку такие изделия присутствуют сегодня на рынке, а средства контроля, обычные для лазерных изделий классов 3B или 4, для них не подходят. Технические комитеты, применяющие класс 1С, в целях безопасности обязаны разрабатывать необходимые спецификации в вертикальных стандартах.

С.2.4 Класс 2

Лазерные изделия, которые генерируют видимое лазерное излучение в диапазоне длины волны от 400 до 700 нм и являются безопасными при кратковременном воздействии, но могут причинить вред при целенаправленном взгляде на пучок. Базовый промежуток времени 0,25 с является неотъемлемым параметром при оценивании этого класса с предположительно очень низкой угрозой травмы при несколько более продолжительном кратковременном воздействии.

Предотвращению травмирования при обоснованно прогнозируемых условиях способствуют следующие факторы:

- непреднамеренное воздействие в редких случаях может вызвать наиболее неблагоприятные условия, например, при регулировке положения пучка со зрачком с наихудшей аккомодацией и зафиксированной головой;

- собственный запас надежности МДВ, на котором основывается ПДИ;
- естественная негативная реакция на воздействие яркого света.

Для класса 2 в отличие от класса 2М использование оптических устройств не повышает риск поражения глаз.

При этом пучок лазерного изделия класса 2 может вызвать временную потерю остроты зрения, кратковременное ослепление вспышкой и появление остаточного изображения источника, в частности в условиях слабой освещенности. Это может косвенно повлиять на общую безопасность по причине временного нарушения зрения или испуга. Такие зрительные нарушения могут вызвать особенные затруднения в случае их влияния на выполнении критичных для безопасности манипуляций, таких как эксплуатация механизмов, высотные работы, работа с высоким напряжением или управление автомобилем.

Пользователи получают информацию через маркировку о недопустимости прямого взгляда на пучок, а именно о необходимости принять активные защитные меры: отворачиваться или закрывать глаза, — а также об исключении возможности наблюдения в пучке.

С.2.5 Класс 2М

Лазерные изделия, которые генерируют видимые лазерные пучки и являются безопасными при кратковременном воздействии исключительно на невооруженный (без дополнительных устройств) глаз. Может быть превышено МДВ, и возможна травма глаза в результате воздействия с использованием телескопической оптики, такой как бинокли для коллимированного пучка с диаметром более диаметра измерения, заданного для условия 3 (см. таблицу 10).

При этом пучок лазерного изделия класса 2М может вызвать временную потерю остроты зрения, кратковременное ослепление вспышкой и остаточные изображения, в частности в условиях слабой освещенности. Это может косвенно повлиять на общую безопасность по причине временного нарушения зрения или испуга. Такие зрительные нарушения могут вызвать особенные затруднения в случае их влияния на выполнении критичных для безопасности манипуляций, таких как эксплуатация механизмов, высотные работы, работа с высоким напряжением электричества или управление автомобилем.

Пользователи получают информацию через маркировку о недопустимости прямого взгляда на пучок, а именно о необходимости принять активные защитные меры: отворачиваться или закрывать глаза, — а также об исключении возможности наблюдения в пучке.

С.2.6 Класс 3R

Лазерные изделия, которые генерируют излучение, превосходящее МДВ при наблюдении в пучке, однако угроза травмы в большинстве случаев сравнительно низка.

ПДИ для класса 3R ограничено до пяти раз по сравнению с ПДИ класса 2 (видимое лазерное излучение) или в пять раз от ПДИ класса 1 (невидимое лазерное излучение). Низкая угроза предъявляет меньше требований к производству и мерам контроля для пользователя (в зависимости от государственных норм), чем для класса 3В. Притом, что лазерные изделия класса 3R не считаются конструктивно безопасными, риск ограничен в связи со следующими аспектами:

- непреднамеренное воздействие в редких случаях может вызвать наиболее неблагоприятные условия, например, при регулировке положения пучка с большим зрачком и наихудшей аккомодацией с полной энергией пучка, попадающей в глаз;
- внутренний коэффициент ослабления (степень безопасности) в МДВ;
- естественное неприятие воздействия яркого света в случае видимого излучения и реакция на нагрев роговицы дальним инфракрасным излучением.

Риск травмы возрастает с длительностью воздействия, а оно может быть опасным для зрения при наиболее неблагоприятных условиях или в связи с целенаправленным наблюдением в пучке.

В зависимости от меняющегося диапазона риска, связанного с лазерами класса 3R, применимость специальных пользовательских средств контроля (включая административный контроль и индивидуальную защиту глаз) должна быть четко обозначена в инструкциях пользователя.

Примечание — По сравнению со значениями МДВ и ПДИ для классов 1, 1М, 2, 2М и 3R, обозначенных во втором издании IEC 60825-1, соответствующие значения в этом, третьем издании снижены для некоторых точечных источников с одним импульсом, но повышены для большинства импульсно-периодических источников и большинства протяженных импульсных источников; поправочные коэффициенты (степень безопасности) таких значений соответственно изменены. Как следствие, некоторые импульсные изделия, отнесенные к классу 3R во втором издании, в настоящем стандарте (третьем издании IEC 60825-1) относятся к классу 2, а некоторые импульсные изделия, отнесенные к классу 3В во втором издании теперь причислены к классу 3R в настоящем стандарте. Что касается последнего, то практический опыт в отношении риска травмирования ограничен, поскольку он существует для источников с непрерывным режимом работы с коллимированными пучками мощностью до 5 мВт, используемыми в течение многих лет в качестве юстировочных лазеров.

Временная потеря остроты зрения, кратковременное ослепление вспышкой и остаточные изображения могут быть вызваны пучком лазерного изделия класса 3R в видимом диапазоне длины волны (как у лазера класса 2), в частности в условиях слабой освещенности. Это может косвенно повлиять на общую безопасность по причине временного нарушения зрения или испуга. Такие зрительные нарушения могут вызвать особенные затруднения в

случае их влияния на выполнении критичных для безопасности манипуляций, таких как эксплуатация механизмов, высотные работы, работа с высоким напряжением электричества или управление автомобилем.

Лазеры класса 3R следует использовать при условиях, когда прямое наблюдение в пучке маловероятно.

С.2.7 Класс 3В

Лазерные изделия, которые, как правило, являются опасными при непосредственном воздействии пучка на орган зрения (то есть в пределах НБРГ), включая случайное кратковременное воздействие. Взгляд на рассеянное отражение, как правило, является безопасным. Лазеры класса 3В, приближенные к ПДИ класса 3В, могут вызвать минимальное поражение кожи или даже создать угрозу возгорания воспламеняющихся материалов. Однако это вероятно, только если пучок имеет малый диаметр или является сфокусированным.

Примечание — Теоретически (но маловероятно) есть несколько условий зрительного восприятия, при которых осмотр рассеянного отражения может вызвать превышение МДВ. Например, применительно к лазерным изделиям класса 3В с мощностью, приближенной к ПДИ, длительный взгляд (дольше 10 с) на реальные рассеянные отражения видимого излучения на расстоянии менее 13 см между рассеивающей поверхностью и роговицей может превышать МДВ.

С.2.8 Класс 4

Лазерные изделия, с которыми наблюдение в пучке и воздействие на кожу представляет опасность и может быть опасным взгляд на рассеянное отражение. Такие лазеры зачастую несут риск возгорания.

С.2.9 Примечание по номенклатуре

«С» в классе 1С обусловлена из режима работы, при котором лазерное излучение выше ПДИ класса 1 может быть произведено только при контакте (в непосредственной близости) излучателя с кожей или тканями внутренних органов.

«М» в классах 1М и 2М обусловлена из увеличивающих оптических наблюдательных устройств. «R» в классе 3R обусловлена из сниженных или смягченных требований: смягченные требования как для производителя (например, без необходимого ключевого переключателя, блокиратора пучка или аттенюатора и блокировочного коннектора), так и для пользователя. «В» для класса 3В имеет историческое происхождение, так как в предыдущей версии данного стандарта (IEC 60825-1:1993) существовал класс 3А, который обладал значением, аналогичным тому, которое в настоящее время имеют классы 1М и 2М.

Следует отметить, что вышеуказанные описания во всех случаях, когда используется термин «опасное» или существует предпосылка высокого риска травмы, данная опасность и риск существуют только в пределах области вокруг лазера, где превышены соответствующие уровни МДВ. Для воздействия на невооруженный глаз данная область ограничена НБРГ или хорошо коллимированным излучением классов 1М и 2М, наблюдаемы через бинокли или телескопы, расширенным НБРГ (РНБРГ). Вполне вероятно, что определенное (класс 3В или 4) лазерное изделие обладает очень коротким НБРГ, связанным с ним, поэтому при определенной установке или применении для персонала, находящегося за пределами НБРГ защиты глаз не требуется. Примерами такого оборудования являются сканирующие лазеры или линейные лазеры, установленные на потолке производственной площадки, проецирующие изображение или линию на заготовку в рабочей области снизу. В то время как уровень мощности и схема сканирования могут быть такими, что воздействие в рабочей зоне будет ниже МДВ, а значит, безопасным, порядок технического и сервисного обслуживания потребует особого внимания. Например, воздействие на более близких расстояниях может быть опасным, к примеру, когда пользователь чистит окно, взобравшись на лестницу. Другой пример: в то время как схема сканирования может быть безопасной, опасность вероятна, если пучок вернется в несканирующий режим. Кроме того, для лазерных изделий класса 4 существует НБРГ, связанное с рассеянными отражениями (несмотря на то, что такое НБРГ с большой вероятностью будет довольно ограниченным по протяженности). Описание опасности, связанной с определенным лазером и применением, является частью оценки риска.

Классификационные испытания следует проводить в наиболее неблагоприятных условиях с применением наиболее жестких требований, чтобы было гарантировано, что изделия низшего класса (например, класса 1) не представляют опасности для глаз и кожи при разумно предвидимых наихудших ситуациях; условия испытания предназначены для рассмотрения различных неблагоприятных ситуаций (см. Sliney и др.). Следовательно, изделие класса 3В или 4 может быть сконструировано таким образом, что оно может рассматриваться безопасным для его использования по назначению при нормальных условиях эксплуатации, так как опасность возникает только при наихудших ситуациях. Например, изделие может иметь защитный кожух (который удовлетворяет требованиям IEC 60825-4), но не может быть классифицировано как изделие класса 1 со встроенным лазером по следующим причинам:

- защитный кожух не проходит испытание согласно настоящему стандарту в течение продолжительного периода (тогда как согласно IEC 60825-4 в отношении машин может быть использовано более короткое время оценки);
- изделие не имеет верхней крышки, но будет считаться безопасным для обстановки, в которой присутствие людей над защитой исключено;
- изделие не оснащено автоматическим распознаванием доступа людей. При этом в контролируемой обстановке это может быть компенсировано организационными мерами безопасности в виде индивидуальных блокировок, предотвращающих закрытие дверцы при нахождении кого-либо внутри защитного кожуха, что не влияет на классификацию, но представляет собой процедуру, которая обеспечивает необходимый уровень безопасности для пользователя.

В случаях, когда опасность, связанная с лазерным изделием классов 3В и 4 ограничена в пределах кожуха, может быть достаточно организационных мер безопасности. Точно так же таких мер может быть достаточно для лазерной системы без крышки либо в ситуации, когда после некоторой более длительной ошибки может возникнуть прогорание защиты.

Существуют другие примеры, когда опасности, связанные с лазерами классов 3В и 4, возникают только в определенных условиях. Например, ситуация, при которой классификация основана на дополнительной принадлежности, такой как коллимирующая линза, применяемая к высоко расходящемуся пучку для низкоуровневой лазерной терапии. Такое изделие может быть классифицировано как класс 3В на основании устанавливаемой дополнительной линзы, поскольку она формирует потенциально опасный коллимированный пучок. Однако использование без дополнительной принадлежности, вызывающей формирование расходящегося пучка, может быть безопасным (то есть любое воздействие на глаз будет ниже МДВ). Таким образом, опасная область будет существовать только вокруг лазера сразу после установки дополнительной принадлежности.

С.3 Ограничения классификационной схемы

Несмотря на то что классификационные испытания во многих случаях являются ограничивающими и неблагоприятными, существуют ограничения, которые иногда способны приводить к опасностям помимо тех, что связаны с соответствующими классами. Классификация основана на трех «компонентах»:

a) ПДИ различных классов;

b) требования к измерениям в переводе на расстояние измерения, диаметр апертуры и угол восприятия для отражения потенциальных условий воздействия. Такие требования к измерениям для определенного лазерного изделия определяют допустимое излучение, которое сравнивается с ПДИ для установления класса;

c) условия испытаний, при которых определяется ПДИ и допустимое излучение. Сюда входит учет обоснованно прогнозируемых условий единичного отказа. Также необходимо разграничение эксплуатации, технического обслуживания и сервисного обслуживания. Следует учитывать использование дополнительных принадлежностей и различных конфигураций изделия, которые могут быть обеспечены без инструментов.

Каждый из этих трех компонентов имеет некоторые подразумеваемые допущения: в редких случаях, когда такие допущения не соблюдаются, могут возникать опасности за пределами обычного понимания класса. Например, ПДИ для классов 1 и 1М при длительном воздействии основано на допущении движений анестезированного глаза. Таким образом, в случае пролонгированного воздействия на анестезированный глаз во время медицинских процедур лазерное излучение классов 1 и 1М может привести к потенциально опасному воздействию. Также требования к измерениям основаны на допущениях и оценках вероятности воздействия с определенными типами оптических инструментов. Например, попадание коллимированного пучка большого диаметра (более 50 мм) в большой телескоп, может быть опасным даже для лазерного изделия класса 1. При этом вероятность такого случайного воздействия на зрение, как правило, довольно низкая ввиду малого поля обзора оптических приборов. Другая ситуация, которую, возможно, следует учесть: изделие помещают в условия, незначимые для классификации, но опасное излучение тем не менее становится открытым. Например, несмотря на то, что это не предусмотрено производителем в качестве дополнительной принадлежности к изделию, расходящийся пучок изделия класса 1М или 2М может быть преобразован в коллимированный пучок потенциально опасным на большом расстоянии путем закрепления коллимирующей линзы. Однако это следует учитывать в качестве модификации изделия, а лицу, выполняющему такую модификацию необходимо повторно классифицировать изделие.

Тем не менее производитель должен осознавать наличие ограничений, чтобы он мог привести предупреждения в руководстве по эксплуатации изделия. Конкретные примеры таких потенциальных ограничений приведены ниже (следует помнить, что эти ограничения являются лишь потенциальными, так как это зависит от типа изделия, если ограничения применяются или не применяются):

- лазерные изделия с коллимированным пучком класса 1, 2 или 3R большого диаметра, рассматриваемые через большие телескопы;

- лазерные изделия с резко расходящимся пучком класса 1, 2 или 3R, наблюдаемые через увеличители (см. также примечание 1 в 5.4.1 и IEC 60825-2);

- бинокли или телескопы с увеличением менее чем в семь раз. В таком случае для условия 1 увеличение углового источника α, который может быть применен [см. перечисление c) 4.3], либо в качестве альтернативы сокращение угла восприятия [см. перечисление b) 5.4.3] должно соответствовать действительному коэффициенту увеличения, то есть менее семикратного увеличения;

- сканирующие лучи при наблюдении через телескопы;

- при наблюдении в пучке на очень близких расстояниях интенсивность от ультрафиолетового А излучения лазерных изделий класса 1 может превышать МДВ для глаза при длительности воздействия дольше 1000 с.

Условия двойного отказа, которые могут быть вероятными. Это случаи, когда каждый отдельный отказ не приведет к допустимому излучению выше ПДИ, однако оба отказа, возникающие одновременно, способны на это. Когда такие отказы возникают со сравнительно высокой долей вероятности, возможность двойного отказа может быть достаточно высокой, таким образом, что это следует учитывать при проектировании изделия;

- класс лазера может не быть показателем опасности в местах, где возможно воздействие лазерного пучка на людей. Следует учитывать НБРГ, особенно в отношении широких рассеивающихся лазерных пучков.

С.4 Библиография

[1] Henderson R. and Schulmeister K.: Laser Safety, Taylor and Francis Ltd., United Kingdom, 2004 (Лазерная безопасность)

[2] Sliney D.H., Marshall W.J., Brumage E.C.: Radional for laser classification measurement conditions. J. Laser App. 2007, 19(3):197-206 (Обоснование режимов измерения при классификации лазеров)

[3] ISO/IEC 51:2014, Safety aspects — Guidelines for their inclusion in standards (Аспекты безопасности. Руководящие указания по включению их в стандарты)

Приложение D
(справочное)

Биофизические особенности

D.1 Анатомическое строение глаза

На рисунке D.1 приведено подробное описание анатомического строения глаза человека.

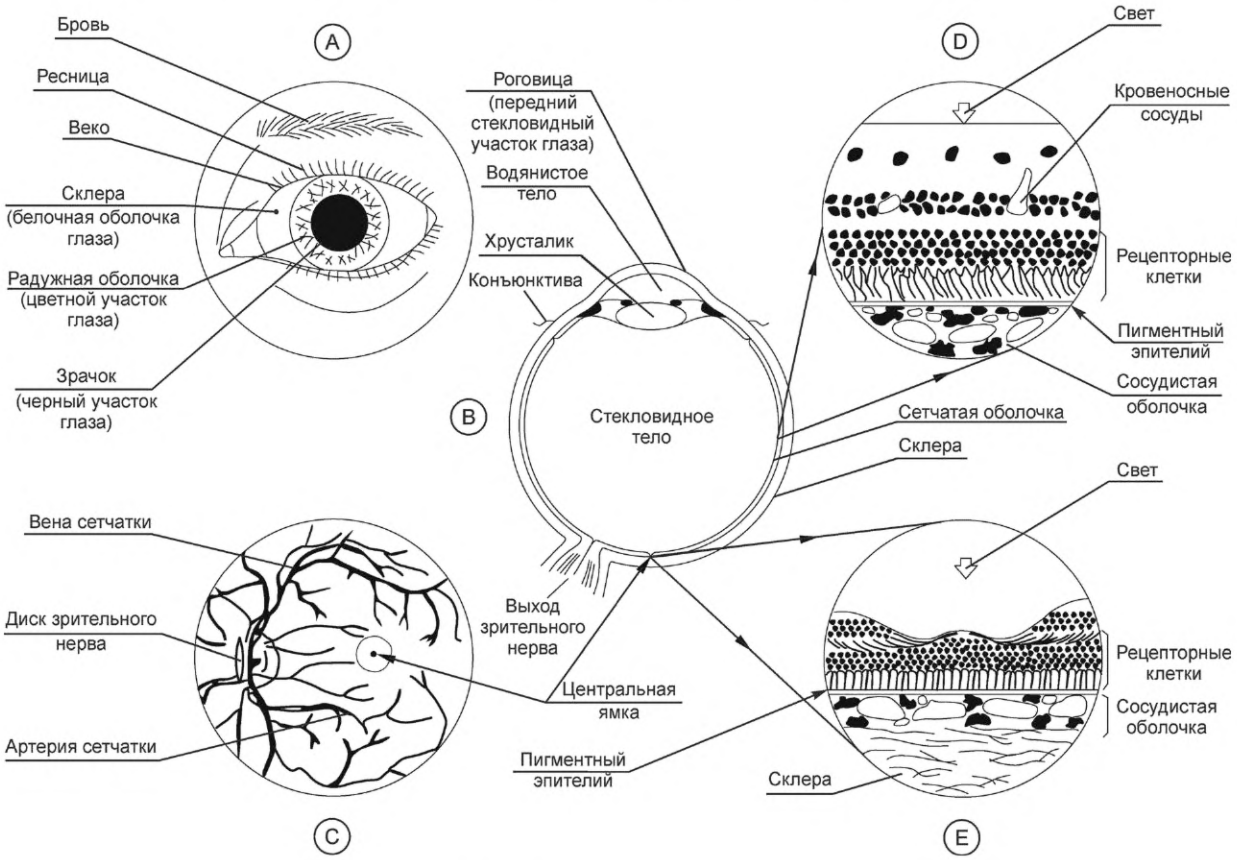


Рисунок D.1 — Анатомическое строение глаза

На рисунке D.1, секция (A), представлена схема наружных частей левого глаза. Промежуток между закрывающимися веками ограничивает поле зрения глаза миндалевидной формы. Отмечены основные элементы переднего глаза.

На рисунке D.1, секция (B) представлено горизонтальное сечение левого глаза. Глаз разделен на две части: переднюю камеру, ограниченную роговицей, радужной оболочкой и хрусталиком, и заднюю часть глазной впадины, ограниченную сетчаткой и представляющую собой гелеобразное стекловидное тело.

На рисунке D.1, в секции (C) представлена внутренняя оболочка глаза, видимая через офтальмоскоп. Этот прибор направляет пучок света через зрачок и освещает внутреннюю оболочку глаза, позволяя ее рассмотреть. Наблюдаемая при этом картина называется дном. Оно выглядит красноватым, но основные сосуды сетчатки можно видеть четко. Другими заметными элементами являются беловатый диск зрительного нерва и центральная ямка (фовеа). Центральная ямка представляет собой небольшое углубление на поверхности сетчатки, которое в большей степени пигментировано, чем окружающая сетчатка, и является областью наиболее четкого зрения. Ямка находится в центре желтого пятна, ответственного за наиболее детальное зрение.

На рисунке D.1, в секции (D) представлена структура сетчатки в том же сечении, что и в секции (B), но увеличенная в несколько сотен раз по сравнению с натуральной величиной. Сетчатка состоит из ряда слоев нервных клеток, которые покрывают светочувствительные палочки и колбочки; то есть свет, падающий на поверхность сетчатки, должен пройти через слои нервных клеток, прежде чем он достигает светочувствительных клеток. Под слоем палочек и колбочек находится слой пигментного эпителия, который содержит темно-коричневый пигмент меланин, а ниже — слой тонких кровеносных сосудов, сосудисто-капиллярный слой. Последний поглощающий слой — сосудистая оболочка глаза — хороид, который содержит пигментированные клетки и кровеносные сосуды.

На рисунке D.1, секция (E), представлена структура области центральной ямки, увеличенной в несколько сотен раз. В ней присутствуют только колбочки. Нервные клетки смещены радиально от этой площадки наиболее острого зрения. Пигмент желтого пятна, который сильно поглощает в области от 400 до 500 нм, расположен в волоконном слое Генле.

D.2 Воздействие лазерного излучения на биологическую ткань

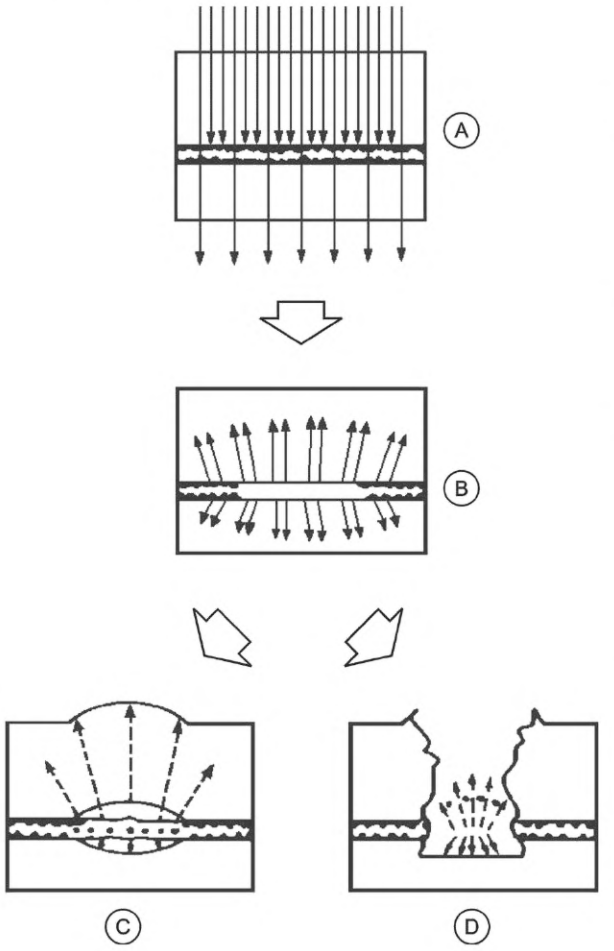
D.2.1 Общие положения

Механизм, посредством которого лазерное излучение вызывает поражение, аналогичен для всех биологических систем и может включать взаимное влияние тепла, термоакустические импульсные помехи, фотохимические процессы и нелинейные последствия. Степень, до которой любой из данных механизмов отвечает за поражение, может быть связана с определенными физическими параметрами излучающего источника, наиболее важными из которых являются длина волны, длительность импульса, размер изображения, облученность и энергетическая экспозиция.

В общих чертах при сверхпороговом воздействии преобладающий механизм напрямую связан с длительностью импульса при воздействии. Таким образом, в порядке увеличения длительности импульса преобладающими являются воздействия со следующими временными интервалами:

- при наносекундном и субнаносекундном воздействии — микрокавитации, акустические импульсные помехи и нелинейные воздействия;
- от 100 мкс до нескольких секунд — тепловое воздействие;
- с превышением 10 с — фотохимические воздействия.

Лазерное излучение отличается от большинства прочих известных видов излучения высокой интенсивностью и коллимированностью пучка. Это вместе с изначальным высоким содержанием энергии приводит к чрезмерным количествам энергии, передаваемой на биологические ткани. Основное явление при любом виде поражения лазерным излучением биологической системы состоит в поглощении оптического излучения такой системой. Поглощение возникает на атомном или молекулярном уровне и представляет собой специфический процесс, зависящий от длины волны. Таким образом, длина волны определяет, какая ткань подвержена поражению определенного лазерного пучка.



A Лазерная энергия поглощается системой.

B Поглощаемая энергия образует тепло, которое передается окружающим тканям.

C У лазеров с длинными импульсами излучения либо работающих в непрерывном режиме длительность температурного фронта обеспечивает увеличение постепенно нарастающего поражения.

D У лазеров с короткими импульсами высокая облученность обеспечивает увеличение взрывного разрушения клеток и поражения путем физического замещения.

Рисунок D.2 — Схема вызванного лазером поражения биологических систем

Тепловые эффекты. При поглощении системой достаточного количества излучаемой энергии молекулы ее компонентов испытывают повышенную вибрацию, а это представляет собой рост тепловой мощности. Наибольшее поражение лазером обусловлено нагревом поглощающей ткани или тканей. Такое тепловое поражение, как правило, изолировано в ограниченной области, простирающейся до любой из сторон участка, поглощающего лазерную энергию, с центром, совпадающим с центром излучающего пучка. Клетки в пределах такой области обладают характеристиками горения, и поражение ткани главным образом происходит вследствие денатурации протеина. Возникновение механизмов вторичного поражения при воздействиях лазером может быть связано с динамикой реакции нагрева ткани, которая напрямую обусловлена длительностью импульса (см. рисунок D.2) и периодом охлаждения. Термомеханические реакции возникают в период нагрева и охлаждения, обусловливая зависимость теплового поражения от размера пятна. Если импульс лазера, работающего в непрерывном режиме, либо лазера с длинным импульсом направлен на ткань, то в связи с теплопроводимостью область биологической ткани, испытывающей повышенную температуру, будет непрерывно расти. Такой распространяющийся температурный фронт создает возрастающую зону повреждения, так как все большее число клеток нагревается выше теплового предела. Размер пятна пучка также имеет высокую важность, поскольку степень периферического распространения, обусловленная теплопроводимостью, представляет собой функцию размера, также как и температура исходной области нагрева ткани. Такой тип термического поражения, как правило, связан с воздействием непрерывных лазеров, лазеров с длинными импульсами, но также возникает при коротких импульсах. Для облучаемых поверхностей с размером пятна порядка от 1 до 2 мм и менее радиальный поток тепла приводит к зависимости поражения от размеров пятна.

Фотохимические эффекты. С другой стороны, эффекты поражения могут являться непосредственным результатом фотохимического процесса. Такой процесс возникает за счет поглощения определенной световой энергии. В отличие от высвобождения энергии образцы подвергаются химической реакции, присущей их возбужденному состоянию. Такая фотохимическая реакция считается ответственной за поражение на низких уровнях воздействия. При таком механизме некоторые биологические ткани, такие как кожа, хрусталик глаза и, в частности, сетчатка, могут испытывать необратимые изменения, вызванные длительным воздействием умеренных уровней ультрафиолетового излучения и света с короткой длиной волны. Такие фотохимически инициируемые изменения могут приводить к поражению системы, если длительность излучения чрезмерна либо если более кратковременные воздействия повторяются в течение длительных периодов. Некоторые из фотохимических реакций, вызванных воздействием лазера, могут быть аномальными или усиливать обычные процессы. Фотохимические реакции, как правило, следуют закону Бунзена и Роско при длительности от 1 до 3 ч и менее (когда восстановительные механизмы не могут справиться со степенью поражения); порог, выраженный в качестве энергетической экспозиции, является постоянным на протяжении широкого диапазона длительности воздействия. Зависимости от размера точки, возникающей при тепловых эффектах в связи с рассеиванием тепла, не возникает.

Нелинейные эффекты. Высокомощные лазеры с короткой длительностью импульсов (с модулированной добротностью или с синхронизацией мод) могут обусловливать поражение ткани при различном сочетании и комбинации механизмов. Энергия доставляется к биологической цели за очень короткое время и, таким образом, формируется высокая облученность. Целевые ткани испытывают такой быстрый рост температуры, что жидкостные компоненты их клеток превращаются в газ. В большинстве случаев эти фазовые изменения происходят так быстро и имеют такой взрывной характер, что клетки разрываются. Процессы быстрого изменения могут образовываться в результате теплового расширения, и оба из них также могут приводить к сдвигающемуся поражению тканей, удаленных от поглощающих слоев путем общего физического замещения. При субнаносекундных воздействиях самофокусирование среды глаза дополнительно концентрирует лазерную энергию коллимированного пучка и далее снижает порог примерно от 10 пс до 1 нс. Другие нелинейные оптические механизмы, по всей видимости, играют роль поражения сетчатки в субнаносекундной области.

Все вышеперечисленные механизмы поражения возникают в сетчатке и отражаются в контрольных длительностях или изменениях наклона зависимости уровней безопасного облучения от времени, описанных в данном стандарте.

D.2.2 Опасность поражения глаз

Краткое описание анатомического строения глаза представлено в D.1. Глаз специально приспособлен для приема и преобразования оптического излучения. Патологии, возникшие в связи с чрезмерным воздействием, приведены в таблице D.1. Механизмы теплового взаимодействия показаны на рисунке D.2. Лазеры, генерирующие излучение ультрафиолетового и дальнего инфракрасного диапазонов, представляют опасность для роговицы, в то время как видимое излучение и излучение ближнего инфракрасного диапазонов достигает сетчатки.

Видимые и ближние инфракрасные лазерные пучки представляют особую опасность для глаз, 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. При внутриглазном рассеивании и с учетом искажений на роговой оболочке рост облученности между роговой оболочкой и сетчаткой равен порядка $2 \cdot 10^5$.

Таблица D.1 —Патологические эффекты, связанные с чрезмерным воздействием света

Область спектра CIE[a]	Глаз	Кожа
Ультрафиолет С (от 180 до 280 нм)	Фотокератит	Эритема (солнечный ожог). Процесс ускоренного старения кожи. Увеличение пигментации
Ультрафиолет В (от 280 до 315 нм)		
Ультрафиолет А (от 315 до 400 нм)	Фотохимическая катаракта	Потемнение пигмента. Фоточувствительные реакции. Ожог кожи
Видимый (от 400 до 780 нм)	Фотохимическое и тепловое повреждение сетчатки	
Инфракрасный А (от 780 до 1400 нм)	Катаракта, ожог сетчатки	Ожог кожи
Инфракрасный В (от 1,4 мкм до 3,0 мкм)	Отек, катаракта, ожог роговицы	
Инфракрасный С (от 3,0 мкм до 1 мм)	Только ожог роговицы	
[a] Спектральные области, установленные CIE, являются условными сокращениями, удобными для описания биологических эффектов, и могут не полностью соответствовать спектральным интервалам для МДВ, приведенным в таблицах А.1—А.3.		

В случае допущения увеличения $2 \cdot 10^5$ пучок 50 Вт $\cdot$ м$^{-2}$ на роговой оболочке становится 1×10^7 Вт $\cdot$ м$^{-2}$ на сетчатке. В настоящем стандарте зрачок диаметром 7 мм принят в качестве ограничивающей апертуры, поскольку это наиболее неблагоприятное условие и происходит из чисел, полученных на основе анализа глаза молодого человека, у которого были измерены диаметры. Исключение допущения зрачка диаметром 7 мм было применено при расчете пределов воздействия для защиты от фоторетинита в момент наблюдения за видимыми (от 400 до 700 нм) источниками лазера в периоды более 10 с. При такой последней ситуации зрачок диаметром 7 мм был принят в качестве наиболее неблагоприятного условия; однако апертура усреднения облученности в 7 мм для измерения по-прежнему считалась соответствующей в связи с физиологическими движениями зрачка в пространстве. Таким образом, ПДИ при длительности более 10 с по-прежнему рассчитывают по апертуре 7 мм.

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

В зависимости от величины воздействия такая потеря зрения может носить временный или постоянный характер. Ухудшение зрения пострадавший, как правило, замечает только в том случае, когда повреждена центральная или фовеальная область желтого пятна. Центральная ямка, углубление в центре желтого пятна, — наиболее важная часть сетчатки, поскольку она отвечает за наибольшую остроту зрения. Именно эта часть сетчатки используется тогда, когда необходимо что-то хорошо разглядеть. Угол видения центральной ямки равен углу видения Луны. В случае повреждения данной области ухудшение зрения может сначала проявляться в виде возникновения размытого белого пятна, затеняющего центральную область зрения; однако через две или более недели оно может превратиться в черное пятно. Пострадавший даже может перестать ощущать такое белое пятно (скотому) во время обычного смотрения. Однако его можно сразу обнаружить, если смотреть на пустую визуальную картину, такую как лист 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 глаз.

В диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм наибольшую опасность представляет 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 повреждение сетчатки предполагается в виде дифракционно-ограниченного пятна диаметром приблизительно от 10 до 20 мкм. В этом случае с учетом теплового равновесия относящаяся к сетчатке глаза зона опасности определяется с помощью ограничивающего углового размера α_{min}, который в общем соответствует сетчатке глаза диаметром порядка 25 мкм.

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 источника и особенностей хрусталика глаза; термическое рассеивание тепловой энергии от больших изображений на сетчатке глаза менее действенно 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 воздействия непрерывного лазера, приводящую к различным зависимостям от риска для отличающихся размеров изображения на сетчатке глаза.

При определении пределов воздействия на зрение в области опасной для сетчатки поправочные коэффициенты для движений глаз применялись только при продолжительности наблюдения более 10 с. Несмотря на то, что физиологические движения глаз, известные как скачкообразные движения, распространяют поглощенную энергию в минимальных изображениях на сетчатке глаза (порядка 25 мкм и менее) в режиме наблюдения от 0,1 до 10 с, ограничения обеспечивают необходимый дополнительный коэффициент безопасности для такого условия наблюдения. За 0,25 с на сетчатке глаза появляется небольшое освещенное пятно размером около 50 мкм. За 10 с освещенная зона сетчатки глаза увеличивается примерно до 75 мкм, а добавленный коэффициент безопасности при минимальном изображении становится 1,7 по отношению к стабильному состоянию глаза с учетом зависимости от размера пятна. За 100 с освещенная зона (измерения проводят на половине точек) соответствует 135 мкм, что приводит к дополнительному коэффициенту безопасности 2,3 и более для минимального изображения.

Данные исследований движения глаз и теплового повреждения сетчатки были объединены для получения контрольной длительности T_2, за которое движения глаз компенсируют увеличенный теоретический риск теплового повреждения при увеличенной длительности воздействия на сетчатку при неподвижном глазе. Так как тепловой порог повреждения, выраженный как мощность излучения, проникающего в глаз, понижается с увеличением длительности воздействия t в степени минус 0,25 (то есть понижение только на 44 % при десятикратном увеличении длительности), то только умеренное увеличение воздействия на сетчатку глаза может компенсировать увеличение риска для большего 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 более протяженных источниках. Таким образом, для увеличивающегося углового размера α временной интервал T_2 увеличивается с 10 с для точечных источников до 100 с для больших. 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 (соответствует угловым размерам от 1,5 до 59 мрад), тогда как при размере изображения более 1,7 мм (соответствует угловому размеру свыше 100 мрад) зависимость от размера пятна не наблюдается. T_2 и постоянная облученность, а также пределы мощности соответственно отражают эффект движения глаза, тока крови и общую сниженную зависимость порога травмы при более длительной продолжительности воздействия в соответствии с временной зависимостью от пределов. Это не может применяться к офтальмологическим инструментам; см. ISO 15004-2.

При фотохимическом повреждении сетчатки зависимость размера пятна для устойчивого изображения отсутствует. В отличие от механизма теплового поражения пороги фотохимического поражения в большей степени зависят от длины волны и дозы облучения, то есть пороги воздействия уменьшаются с увеличением длительности воздействия. Исследования фотохимического повреждения сетчатки глаза от дуговой сварки с угловыми размерами от 1 до 1,5 мрад показали типичные размеры повреждения приблизительно от 185 до 200 мкм (соответствующие 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 МДВ для защиты от фотохимического поражения сетчатки. Эти исследования также привели к определению значений МДВ, установленных для усреднения свыше 11 мрад при длительности воздействия от 10 до 100 с. Следовательно, источники с угловым размером α менее 11 мрад были обработаны аналогично источникам «точечного типа», а понятие α_{min} расширено до наблюдения непрерывного лазера. Этот подход не был абсолютно правильным, поскольку измерение облученности источника 11 мрад не соответствует облученности, усредненной выше поля зрения (γ) 11 мрад, если источник не имел прямоугольного («верхнего») распределения плотности потока излучения. Следовательно, в настоящем стандарте различие сделано между угловым размером источника и усредненной плотностью потока излучения для фотохимических значений МДВ. При времени наблюдения, превышающего приблизительно длительность от 30 до 60 с, скачкообразное движение глаз во время фиксации в целом опережается поведенческими движениями, устанавливаемыми задачей на зрительное восприятие, и довольно неразумно предполагать, что источник света может быть отображен исключительно в ямке длительностью более 100 с. По этой причине угол восприятия α_{min} увеличен линейно на квадратный корень из t. Минимальный угловой размер α_{min} корректно оставить на углу падения 1,5 мрад при всех значениях длительности воздействия, используемых при оценке вероятности повреждения сетчатки. Однако при оценке фотохимической опасности повреждения сетчатки метод в действительности отличается, поскольку угол γ_{ph} представляет собой линейный угол восприятия для измерения облученности, и это важно для применения только в отношении протяженных источников более 11 мрад.

Расстояние наблюдения. Если источник с расходящимся пучком — точечного типа, опасность увеличивается с уменьшением расстояния между перетяжкой пучка и глазом. Причина состоит в том, что с уменьшением расстояния собранная мощность увеличивается, а размер изображения на сетчатке глаза может считаться практически дифракционно ограниченным для точных лазерных источников до расстояния, близкого к 100 мм (вследствие аккомодационных способностей глаза). Самая большая опасность возникает на наиболее коротком расстоянии аккомодации. При дальнейшем уменьшении расстояния опасность для невооруженного глаза также снижается, поскольку быстро растет изображение на сетчатке глаза и, соответственно, уменьшается облученность, даже при скоплении большей мощности. Чтобы смоделировать риск наблюдения коллимированного пучка с помощью оптических средств, через бинокль или телескоп, за основу принимают самое близкое расстояние, примерно равное 2 м с 50-мм апертурой, которое принимают в качестве базового для четкого 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 было выбрано в качестве компромисса, потому что все, за исключением нескольких молодых людей и очень малого числа людей, страдающих близорукостью, не могут приспособить свои глаза под расстояние менее 100 мм. Это расстояние можно использовать для измерения облученности в случае наблюдения в пучке (см. таблицу 10).

Для длин волн менее 400 нм или более 1400 нм самой большой опасностью является повреждение хрусталика или роговой оболочки. В зависимости от длины волны оптическое излучение поглощается большей частью или исключительно роговой оболочкой или хрусталиком (см. таблицу D.1). Для источников с расходящимся пучком (протяженным или точечным) 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 большему объему глаза, и значения МДВ являются увеличенными для длительности менее 10 с. Самое большое увеличение значений МДВ возникает при очень короткой длительности импульсов и в пределах диапазона длины волны от 1500 до 1800 нм, когда объем поглощения максимален. Для времени более 10 с теплопроводность перераспределяет тепловую энергию таким образом, что влияние глубины проникновения больше не является важным.

D.2.3 Опасность поражения кожи

В целом кожа может выдерживать гораздо более сильное воздействие лазерной энергии, чем глаз. Биологическое воздействие облучения кожи лазерами, работающими в видимом (от 400 до 700 нм) и инфракрасном (от 700 нм) спектральных диапазонах, может приводить как к легкой эритеме, так и к сильным вздутиям. Пепельный ожог преобладает в тканях с высоким поверхностным поглощением после воздействия лазерами с очень короткими импульсами при пиковой мощности. Это может не вызвать эритему.

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

В диапазоне длины волны от 1500 до 2600 нм исследования биологического порога показывают, что риск травмирования кожи аналогичен риску для глаз. При длительности воздействия до 10 с МДВ увеличивается в пределах этого спектрального диапазона.

D.3 Значения МДВ и усреднение облученности

В настоящем стандарте применяются значения МДВ, рекомендованные Международной комиссией по защите от неионизирующего излучения (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection — ICNIRP). Были заимствованы усредняющие облученности апертуры (измерительные апертуры), рекомендованные ICNIRP, либо дополнительный коэффициент безопасности, утвержденный IEC TC 76. Определение и установление значений ПДИ, в общем основанных на МДВ, требовали анализа риска и определения обоснованно прогнозируемых условий воздействия. Выбор измерительной апертуры сыграл роль в установлении значений ПДИ и отражает биофизические и психологические факторы. В некоторых случаях играет роль учет оценки риска и упрощения выражения. В таблице D.2 приведена сводка факторов, допущенных при выборе измерительных апертур. В целом соблюдены рекомендации ICNIRP или применены добавленные коэффициенты безопасности.

Таблица D.2 — Пояснение к измерительным апертурам, применяемым к значениям МДВ для глаз

Спектральная полоса λ, нм	Длительность воздействия t	Диаметр апертуры, мм	Примечания и обоснование диаметра апертуры
От 180 до 400	Весь период t	1	Разброс точек в эпителии роговицы и роговом слое кожи доходит до 1 мм; допущение отсутствия движения облучаемой ткани при условиях длительного воздействия применяется в IEC. Однако в связи с движениями глаз для длительного воздействия ICNIRP рекомендует 3,5 мм

Окончание таблицы D.2

Спектральная полоса λ, нм	Длительность воздействия *t*	Диаметр апертуры, мм	Примечания и обоснование диаметра апертуры
От 400 до 600 фотохимическая	$t > 10$ с	3 — для определения МДВ, однако для измерений использовался диаметр 7	Боковое движение зрачка диаметром 3 мм в пространстве воспроизводит апертуру диаметром 7 мм, усредненную для воздействия непрерывного лазера, применимого для механизма фотохимического повреждения
От 400 до 1400 термическая	Весь период *t*	7	Диаметр расширенного зрачка и боковое движение зрачка для воздействий непрерывного лазера
$1400 \le \lambda < 10^5$	$t > 0{,}35$ с	1	Тепловое рассеивание в роговице и тканях эпителия
	$0{,}35 \text{ с} < t < 10$ с $t > 10$ с	$1{,}5t^{3/8}$ 3,5	Увеличенное тепловое рассеивание и движение ткани-мишени относительно пучка по истечении 0,35 с
$10^5 \le \lambda \le 10^6$	Весь период *t*	11	Апертура больше предела дифракции (то есть порядка 10×) для точных измерений

D.4 Справочные документы

[1] Henderson R. and Schulmeister K.: Laser Safety, Taylor and Francis Ltd., United Kingdom, 2004 (Лазерная безопасность)

[2] ICNIRP guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 180 mm and 1,000 μm. Health Physics 105(3): 271-295, 2013 (Рекомендации ICNIRP по пределам облучения лазерным излучением с длинами волн от 180 нм до 1000 мкм)

[3] Ness J., Zwick H.A., Stuck B.A., Lund D.L., Molchany J.A. and Sliney D.H. Retinal image motion during deliberate fixation: implication to laser safety for long duration viewing. Health Phys. 78(2): 131-142, 2000 (Перемещение изображения на счетчике при преднамеренном фиксированном взгляде: последствия для лазерной безопасности при длительном просмотре)

[4] Roach W.P., Johnson P.E. and Rockwell B.A.: Proposed maximum permissible exposure limits for ultrashort laser pulses, Health Phys. 76(4): 349-354, 1999 (Рекомендуемые предельно допустимые уровни для ультракоротких лазерных импульсов)

[5] Schulmeister K., Stuck B.E., Lund D.J. and Sliney D.H. Review of thresholds and recommendations for revised exposure limits for laser and optical radiation for thermally inducted retinal injury. Health Phys. 100(2): 210-220, 2011 (Обзор пороговых значений и рекомендаций по пересмотренным пределам облучения лазерным и оптическим излучением для теплового повреждения счетчика)

[6] Sliney D.H. and Wolbarsht M.L.: Safety with Lasers and Other Optical Souces, New York, Plenum Publishing Corp., 1980 (Безопасность лазеров и прочих оптических источников)

[7] Sliney D., Aron-Rosa D., Delory F., Fankhauser F., Landy R., Mainster M., Marshall J., Rassow B., Stuck B., Trokel S., West T.M. and Wolffe M.: 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 (Поправки в нормативы воздействия оптического излучения на глаза, исходящего от офтальмологических инструментов: заявление рабочей группы Международной комиссии по защите от неионизирующего излучения)

[8] United National Environment Programme (UNEP); World Health Organization (WHO); International Radiation Protection Association (IRPA): Environment Health Criteria No. 23: Lasers and Optical Radiation, Geneva, WHO, 1982 (Критерии качества окружающей среды № 23: лазеры и оптическое излучение)

Приложение Е
(справочное)

Значения МДВ и ПДИ, выраженные в качестве плотности потока излучения

Е.1 Предпосылки

При больших протяженных источниках анализ потенциальных опасностей воздействия излучения на сетчатку глаза может быть облегчен за счет использования плотности потока излучения источника. Цель данного приложения — обеспечение пользователей отдельной таблицей и графиками максимально допустимой плотности потока излучения, основанной на ПДИ для классов 1 и 1М и соответствующих значениях МДВ, относящихся к сетчатке глаза в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм для условий наблюдения, при которых угловой размер видимого источника принят в качестве значения более α_{max}. Согласно закону сохранения энергетической яркости все протяженные источники, являющиеся пространственно-распределенными и испускающими излучение ниже уровня энергетической яркости, указанной в таблице Е.1 или на рисунке Е.1, не могут превышать ПДИ класса 1 независимо от оптических средств, установленных перед пространственно-распределенным источником.

Е.2 Значения энергетической яркости

Значения энергетической яркости в таблице Е.1 основаны на пределах МДВ IEC/ICNIRP. Поскольку значения МДВ, как правило, выражены в единицах энергетической экспозиции ($Дж \cdot м^{-2}$) или облученности ($Вт \cdot м^{-2}$), необходимо их преобразовать в значения энергетической яркости ($Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$). Тогда значения энергетической яркости рассматриваются в качестве функции длины волны (см. Е.3).

В таблице Е.1 приведены допустимые значения энергетической яркости в качестве функции длины волны для длительности воздействия 100 с, где α стягивает угол, равный или более 100 мрад. Показаны наиболее ограничивающие пределы (фотохимические или тепловые). Пределы фотохимической опасности сетчатки выделены курсивом.

Значения МДВ энергетической яркости с воздействием в течение 100 с источника, стягивающего угол 100 мрад.

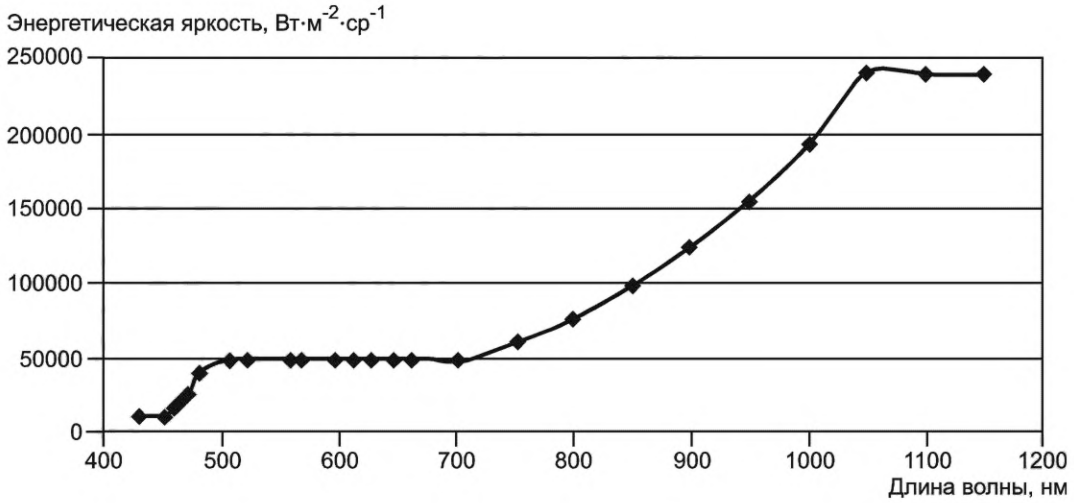


Рисунок Е.1 — Энергетическая яркость как функция длины волны

Таблица Е.1 — Максимальная энергетическая яркость пространственно-распределенного источника класса 1

Длина волны, нм	Энергетическая яркость, $Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$	Энергетическая яркость, $Вт \cdot см^{-2} \cdot ср^{-1}$
430	*10 000*	*1,00*
450	*10 000*	*1,00*
460	*15 848*	*1,58*
465	*19 952*	*2,00*
470	*25 119*	*2,51*

Окончание таблицы Е.1

Длина волны, нм	Энергетическая яркость, $Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$	Энергетическая яркость, $Вт \cdot см^{-2} \cdot ср^{-1}$
480	*39 811*	*3,98*
505	*48 316*	4,83
520	48 316	4,83
555	48 316	4,83
565	48 316	4,83
595	48 316	4,83
610	48 316	4,83
625	48 316	4,83
645	48 316	4,83
660	48 316	4,83
660	48 316	4,83
700	48 316	4,83
750	60 826	6,08
800	76 576	7,66
850	96 403	9,64
900	121 365	12,14
950	152 789	15,28
1000	192 350	19,24
1050	241 580	24,16
1100	241 580	24,16
1150	241 580	24,16
Курсивом отмечены пределы фотохимической опасности для сетчатки.		

Е.3 Обоснование

Значения энергетической яркости рассчитаны с использованием уровней МДВ уровней, установленных IEC/ICNIRP. Поскольку значения МДВ, как правило, выражены в единицах энергетической экспозиции ($Дж \cdot м^{-2}$) или плотности потока ($Вт \cdot м^{-2}$), необходимо преобразовывать значения МДВ в энергетическую яркость ($Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$). Тогда значения энергетической яркости рассматриваются в качестве функции длины волны. Для значений МДВ, выраженных в качестве облученности, использовался нижеуказанный метод расчета энергетической яркости. Энергетическую яркость вычисляют по формуле

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

где Φ — мощность излучения;

Ω — единица телесного угла с вершиной угла в плоскости измерения облученности;

A — площадь, на которой определяется облученность.

Значения МДВ, как правило, выражены в единицах облученности, вычисляемой по формуле

$$E = \frac{d\Phi}{dA}. \quad (Е.2)$$

При замене формулы (Е.2) формулой (Е.1) получают энергетическую яркость как функцию облученности:

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

Необходимо найти телесный угол Ω и угол поля зрения θ. Заменяют следующее уравнение на Ω:

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

При условии наиболее неблагоприятного угла поля зрения, где $\theta = 0°$ (наблюдатель смотрит прямо в пучок). Формула (E.3) принимает вид

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

Для значений МДВ, выраженных в качестве энергетической экспозиции, используют другой метод. Энергетическую экспозицию вычисляют по формуле

$$H = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}A}, \quad (E.6)$$

где Q представляет собой энергию излучения, выраженную в джоулях. При делении на время имеет вид:

$$\frac{H}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}A \cdot \mathrm{d}t}. \quad (E.7)$$

Так как мощность излучения выражена в виде:

$$\Phi = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t}, \quad (E.8)$$

формула (E.8) может быть заменена формулой (E.7), при этом получают:

$$\frac{H}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}A}. \quad (E.9)$$

При возврате к формуле (E.1) следует заменить формулу (E.9):

$$L = \frac{\mathrm{d}H}{\mathrm{d}\Omega \cdot \mathrm{d}t \cdot \cos\theta}. \quad (E.10)$$

Следует повторно заменить формулу (E.4), допуская наиболее неблагоприятный сценарий $\theta = 0°$:

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

При расчетах был допущен наиболее неблагоприятный сценарий углового размера 100 мрад при длительности воздействия 100 с. Результаты приведены в таблице E.1 и на рисунке E.1.

Приложение F
(справочное)

Сводные таблицы

В таблице F.1 приведены физические величины (параметры), используемые в настоящем стандарте, и представлены единицы их измерения. Определения единиц СИ заимствованы из ISO 80000-1. Единицы и символы взяты из IEC 60027-1. В таблице F.2 кратко сформулированы требования к производителю.

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

Наименование величины	Наименование единицы измерения	Обозначение единицы измерения	Определение
Длина	метр	м	Метр — длина пути, пройденного светом в вакууме за временной интервал 1/299 792 458 с
	миллиметр	мм	10^{-3} м
	микрометр	мкм	10^{-6} м
	нанометр	нм	10^{-9} м
Область	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
Угол на плоскости	радиан	рад	Плоский угол между двумя радиусами окружности, отсекающими по окружности дугу, равную длине радиуса
	миллирадиан	мрад	10^{-3} рад
Телесный угол	стерадиан	ср	Телесный угол с вершиной в центре сферы, отсекающий площадь сферы, равную площади квадрата со сторонами длины, равными 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 — Для удобства кратные и дольные единицы указаны в соответствующих случаях.			

Таблица F.2 — Краткая формулировка требований потребителя

Требования (структурный элемент)	Классификация						
	Класс 1*	Класс 1М	Класс 2	Класс 2М	Класс 3R	Класс 3В	Класс 4
Описание класса опасности (приложение С)	Безопасное при обоснованно прогнозируемых условиях	Аналогично классу 1, за исключением того, что может быть опасным в случае использования оптических устройств	Малая мощность; защита глаз, как правило, обеспечивается путем предотвращения и активной реакции	Аналогично классу 2, за исключением того, что может быть опасным в случае использования оптических устройств	Прямое внутрипучковое наблюдение может быть опасным	Прямое внутрипучковое наблюдение, как правило, является опасным	Высокая мощность; рассеянные отражения могут быть опасными
Защитный кожух (6.2)	—	Необходим для каждого лазерного изделия; ограничивает доступ, необходимый для выполнения функций изделий					
Предохранительная блокировка защитного кожуха (6.3)	Предназначена для предотвращения снятия панели до установления значений допустимого воздействия ниже уровня для изделий класса 3R				Предназначена для предотвращения снятия панели до установления значений допустимого воздействия ниже уровня для некоторых изделий класса 3В или 3R		
Удаленная блокировка (6.4)	Не требуется					Обеспечивает легкость установки внешней блокировки в лазерное изделие. Не требуется для некоторых изделий класса 3В	
Перезапуск вручную (6.5)	Не требуется						Требует перезапуска вручную при отключении питания или использовании удаленной блокировки
Управление с ключа (6.6)	Не требуется					Лазер не работает при извлечении ключа	
Устройство предупреждения об излучении (6.7)	Не требуется				Обеспечивает звуковое или визуальное предупреждение при включении лазера или при зарядке батареи конденсаторов импульсного лазера. Для класса 3R применяется только в случае невидимого излучения		
Аттенюатор (6.8)	Не требуется					Обеспечивает средства временной блокировки пучка	

Продолжение таблицы F.2

Требования (структурный элемент)	Классификация						
	Класс 1*	Класс 1М	Класс 2	Класс 2М	Класс 3R	Класс 3В	Класс 4
Расположение органов управления (6.9)	Не требуется				Органы управления расположены так, что опасность воздействия ПДИ выше класса 1 или 2 при выполнении регулировок отсутствует		
Оптические приборы наблюдения (6.10)	Не требуется	Излучение всех систем наблюдения должно быть ниже ПДИ класса 1М					
Сканирование (6.11)	Отказ сканера не должен вызывать превышение классификации изделия						
Маркировка класса (7.2—7.7)	Необходимая формулировка	Рисунки 3 и 4 и необходимая формулировка					
Маркировка апертуры (7.8)	Не требуется				Необходима определенная формулировка		
Маркировка выходного излучения (7.9)	Не требуется	Необходимая формулировка					
Маркировка информации о стандартах (7.9)	Необходима на изделии или в информации для пользователя	Необходимая формулировка					
Маркировка доступа для обслуживания (7.10.1)	Не требуется	Необходима в соответствии с классом допустимого излучения					
Маркировка переопределения блокировки (7.10.2)	Необходима при определенных условиях в соответствии с классом используемого лазера						
Маркировка диапазона длины волны (7.10 и 7.12)	Необходима для определенных диапазонов длины волны						
Маркировка опасности получения ожога (7.13)	Необходимая формулировка, когда допустимое излучение в ближайшей точке доступа человека (апертура 3,5 мм) превышает ПДИ класса 3В					Не применяется	
Информация для пользователя (8.1)	Руководства по эксплуатации должны включать в себя инструкции по безопасному использованию. Дополнительные требования применяются к классам 1М и 2М						

Окончание таблицы F.2

Требования (структурный элемент)	Классификация						
	Класс 1*	Класс 1М	Класс 2	Класс 2М	Класс 3R	Класс 3В	Класс 4
Информация о приобретении и обслуживании (8.2)	В рекламных брошюрах должна быть приведена классификация изделия; руководства по сервисному обслуживанию должны содержать информацию по технике безопасности						
Медицинские изделия (9.2)	Не требуется					В целях безопасности медицинских лазерных изделий допускается применение IEC 60601-2-22	

* Примечание — Данная таблица предназначена для предоставления удобной сводки требований. Полные требования приведены в тексте данного стандарта. В связи с особенностью класса 1С требования для лазерных изделий класса 1С не включены в данную таблицу; в данной части 1 указаны наиболее общие требования; требования, относящиеся конкретному типу изделия, определены в вертикальных стандартах.

Приложение G
(справочное)

Обзор связанных частей IEC 60825

Связанные части IEC 60825 предназначены для использования совместно с основным стандартом (IEC 60825-1). В каждой части рассматривается определенная область и обеспечивается дополнительное нормативное и информативное руководство, позволяющее производителю и пользователю правильно классифицировать и использовать изделие безопасным способом с учетом специфических условий и компетентности/обучения оператора/пользователя. Информация может содержать пояснения, примеры, методы, маркировку и другие дополнительные ограничения и требования (см. таблицу G.1).

Таблица G.1 — Обзор дополнительных данных, представленных в связанных частях IEC 60825

Номер части	Тип	Описание	Разработчик изделия	Поставщик изделия	Пользователь изделия	Поставщик наиболее важного защитного компонента	Методы испытаний	Оценка опасности	Связанные стандарты
1	Стандарт	Классификация оборудования и требования	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
2	Стандарт	Безопасность волоконно-оптических систем связи (приведены примечания и примеры применения)	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
3	Технический отчет	Руководящие указания по применению лазеров для зрелищных мероприятий	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да	
4	Стандарт	Устройства защиты от воздействия лазера (также распространяется на способность высокомощных лазеров удалять защитный материал)	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
5	Технический отчет	Контрольный перечень к IEC 60825-1 для производителей (подходит для использования в отчете по безопасности)	Да	Да	Нет	Да	Нет	Нет	
6	Техническое описание (отозвано)								

Окончание таблицы G.1

Номер части	Тип	Описание	Разработчик изделия	Поставщик изделия	Пользователь изделия	Поставщик наиболее важного защитного компонента	Методы испытаний	Оценка опасности	Связанные стандарты
7	Техническое описание (отозвано)								
8	Технический отчет	Руководящие указания по безопасному использованию лазерных лучей для людей	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	IEC 60601-2-22
9	Технический отчет	Компиляция максимально допустимого воздействия некогерентного оптического излучения (широкополосные источники)	Нет	Нет	Да	Нет	Да	Да	IEC 62471
10	Технический отчет (отозван)								
12	Стандарт	Безопасность нестационарных оптических систем связи, применяемых для передачи информации	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
13	Технический отчет	Измерения, проводимые для классификации лазерных изделий	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
14	Технический отчет	Руководство для пользователя	Нет	Да	Да	Нет	Нет	Да	
17	Технический отчет	Аспекты безопасности при использовании пассивных оптических компонентов и оптических кабелей волоконно-оптических систем связи высокой мощности	Нет	Да	Да	Да	Да	Да	

Примечание — Данная таблица служит для обозначения содержания; полные требования приведены в тексте определенного стандарта. Некоторые из вышеуказанных частей обсуждаются в рабочих группах и могут не иметь официальной публикации.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение ссылочного межгосударственного стандарта
IEC 60050 (all parts)	IDT	ГОСТ IEC 60050 «Международный электротехнический словарь» (все части)
IEC 62471 (all parts)	—	*

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

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

- IDT — идентичный стандарт.

Библиография

IEC 60027-1	Letter symbols to be used in electrical technology — Part 1: General (Обозначения буквенные, применяемые в электротехнике. Часть 1. Общие положения)
IEC 60065	Audio, video and similar apparatus — Safety requirements (Аудио-, видео- и аналогичная электронная аппаратура. Требования безопасности)
IEC 60079 (all parts)	Explosive atmospheres [Взрывоопасные атмосферы (все части)]
IEC 60079-0:2011	Explosive atmospheres — Part 0: Equipment — General requirements (Взрывоопасные атмосферы. Часть 0. Оборудование. Основные требования)
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)
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 (Аппаратура электрическая медицинская. Часть 2-22. Частные требования к базовой безопасности и основным характеристикам хирургического, косметического, терапевтического и диагностического лазерного оборудования)
IEC 60825-2	Safety of laser products — Part 2: Safety of optical fiber communication systems (OFCS) [Безопасность лазерных изделий. Часть 2. Безопасность волоконно-оптических систем связи (ВОСС)]
IEC/TR 60825-3	Safety of laser products — Part 3: Guidance for laser displays and shows (Безопасность лазерных изделий. Часть 3. Руководящие указания по применению лазеров для зрелищных мероприятий)
IEC 60825-4	Safety of laser products — Part 4: Laser guards (Безопасность лазерных изделий. Часть 4. Устройства защиты от воздействия лазера)
IEC/TR 60825-5	Safety of laser products — Part 5: Manufacturer's checklist for IEC 60825-1 (Безопасность лазерных изделий. Часть 5. Контрольный перечень к МЭК 60825-1 для производителя)
IEC/TR 60825-8	Safety of laser products — Part 8: Guidelines for the safe use of laser beams on humans (Безопасность лазерных изделий. Часть 8. Руководящие указания по безопасному использованию лазерных лучей для людей)
IEC/TR 60825-9	Safety of laser products — Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation (Безопасность лазерных изделий. Часть 9. Компиляция максимально допустимого воздействия некогерентного оптического излучения)
IEC 60825-12	Safety of laser products — Part 12: Safety of free space optical communication systems used for transmission of information (Безопасность лазерных изделий. Часть 12. Безопасность нестационарных оптических систем связи, применяемых для передачи информации)
IEC/TR 60825-13	Safety of laser products — Part 13: Measurements for classification of laser products (Безопасность лазерных изделий. Часть 13. Измерения, проводимые для классификации лазерных изделий)
IEC/TR 60825-14	Safety of laser products — Part 14: A user's guide (Безопасность лазерных изделий. Часть 14. Руководство для пользователя)
IEC 60950 (all parts)	Information technology equipment — Safety [Оборудование для информационных технологий. Безопасность (все части)]
IEC 61010-1	Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use — Part 1: General requirements (Требования к безопасности электрооборудования для проведения измерений, управления и лабораторного использования. Часть 1. Общие требования)
IEC 61508 (all parts)	Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems [Функциональная безопасность электрических/электронных/программируемых электронных систем, связанных с безопасностью (все части)]
IEC 62115	Electric toys — Safety (Игрушки электрические. Безопасность)
IEC 62368-1	Audio/video, information and communication technology equipment — Part 1: Safety requirements (Аудио/видео-, информационное и коммуникационное технологическое оборудование. Часть 1. Требования безопасности)

ISO 11553 (all parts)	Safety of machinery — Laser processing machines [Безопасность машин. Станки лазерной обработки (все части)]
ISO 11553-1:2008	Safety of machinery — Laser Processing machines — Part 1: General safety requirements (Безопасность машин. Станки лазерной обработки. Часть 1. Общие требования безопасности)
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)
ISO 12100	Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction (Безопасность машин. Общие принципы конструирования. Оценка рисков и снижение рисков)
ISO 13694	Optics and optical instrument — Lasers and laser-related equipment — Test method for laser beam power (energy) density distribution (Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерное оборудование. Методы испытания распределения облученности лазерного луча)
ISO 13849 (all parts)	Safety of machinery — Safety-related parts of control systems [Безопасность машин. Детали систем управления, связанные с обеспечением безопасности (все части)]
ISO 15004-2:2007	Ophthalmic instruments — Fundamental requirements and test methods — Part 2: Light hazard protection (Офтальмологические приборы. Фундаментальные требования и методы испытаний. Часть 2. Защита от опасности светового излучения)
ISO 80000-1	Quantities and units — Part 1: General (Величины и единицы. Часть 1. Общие положения)

УДК 681.3:331.4:006.354 МКС 13.110 31.260 IDT

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

Редактор *Е.В. Якубова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 22.06.2023. Подписано в печать 12.10.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 10,70. Уч.-изд. л. 9,68.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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

Поправка к ГОСТ IEC 60825-1—2023 Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования и требования

В каком месте	Напечатано	Должно быть		
Предисловие. Таблица согласования	—	Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан

(ИУС № 6 2025 г.)

gost.e-ecolog.ru