ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р МЭК 60825-1 — 2009**

# БЕЗОПАСНОСТЬ ЛАЗЕРНОЙ АППАРАТУРЫ

## Часть 1

## Классификация оборудования, требования и руководство для потребителей

**IEC 60825-1:2007**
**Safety of laser products — Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide**
**(IDT)**

**Издание официальное**

БЗ 10—2009/621

Москва
Стандартинформ
2010

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

**Сведения о стандарте**

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

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК № 452 «Безопасность аудио-, видео-, электронной аппаратуры, оборудования информационных технологий и телекоммуникационного оборудования. Устройства отображения информации»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 декабря 2009 г. № 724-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 60825-1:2007 «Безопасность лазерной аппаратуры Часть 1. Классификация оборудования, требования и руководство для потребителей» (IEC 60825-1:2007 «Safety of laser products — Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide»).

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Стандартинформ, 2010

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

## Содержание

1 Область применения и назначение . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 2
3 Термины и определения . . . 3
4 Технические характеристики . . . 10
4.1 Общие замечания . . . 10
4.2 Защитный корпус . . . 10
4.3 Панель доступа и защитные блокировки . . . 11
4.4 Соединитель дистанционной блокировки . . . 11
4.5 Ручное переключение . . . 11
4.6 Управление с помощью ключа . . . 12
4.7 Предупреждение эмиссии лазерного излучения . . . 12
4.8 Прерыватель пучка или аттенюатор . . . 12
4.9 Устройства контроля . . . 12
4.10 Оптические системы наблюдения . . . 12
4.11 Предосторожность при сканировании . . . 12
4.12 Отдельный доступ . . . 12
4.13 Условия окружающей среды . . . 13
4.14 Защита против других вредных факторов . . . 13
5 Знаки . . . 13
5.1 Общие положения . . . 13
5.2 Классы 1 и 1М . . . 15
5.3 Классы 2 и 2М . . . 16
5.4 Класс 3R . . . 16
5.5 Класс 3В . . . 16
5.6 Класс 4 . . . 17
5.7 Апертурный знак . . . 17
5.8 Выходное излучение и стандартная информация . . . 17
5.9 Знаки на панелях доступа . . . 17
5.10 Предупреждение о невидимом лазерном излучении . . . 18
5.11 Предупреждение о видимом лазерном излучении . . . 18
6 Другие информационные требования . . . 18
6.1 Информация для пользователей . . . 18
6.2 Информация, необходимая при поставке и обслуживании . . . 20
7 Дополнительные требования для специфической лазерной аппаратуры . . . 20
7.1 Другие части стандарта серии МЭК 60825 . . . 20
7.2 Медицинская лазерная аппаратура . . . 20
7.3 Лазерные обрабатывающие устройства . . . 20
7.4 Электрические игрушки . . . 21
7.5 Потребительская электронная аппаратура . . . 21
8 Классификация . . . 21
8.1 Введение . . . 21
8.2 Классификация ответственности . . . 21
8.3 Правила классификации . . . 21
9 Определение уровня ограничения эмиссии . . . 24
9.1 Испытания . . . 24
9.2 Измерение лазерного излучения . . . 25
9.3 Геометрия измерений . . . 34

Приложение А (справочное) Значения максимально возможной экспозиции . . . . . 39
Приложение В (справочное) Примеры расчетов . . . . . 45
Приложение С (справочное) Описание классов и соответствующих потенциальных опасностей . . . 52
Приложение D (справочное) Медицинские аспекты . . . . . 55
Приложение Е (справочное) Максимально возможная экспозиция и допустимый предел излучения, выраженные как излучение . . . . . 62
Приложение F (справочное) Сводные таблицы . . . . . 65
Приложение G (справочное) Обзор связанных частей стандарта МЭК 60825 . . . . . 68
Приложение ДА (обязательное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации . . . . . 70
Библиография . . . . . 71

## Введение

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Текст этого стандарта базируется на следующих документах:

| Вопросы графики | Доклад о голосовании |
|---|---|
| 76/338/CDV | 76/357/RVC |

[1] МЭК Руководство 104: 1997, Подготовка публикаций по безопасности и использование основных и групповых публикаций.

Здесь дан список технических комитетов МЭК и авторские рекомендации относительно способа изложения публикаций по безопасности. Это руководство имеет только справочный характер.

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

Эта публикация создана в соответствии с Директивами ИСО/МЭК, Часть 2.

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

Эта часть МЭК 60825 также аннотирована в этой публикации как «Часть 1».

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

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

Подлежащее исправлению содержание от августа 2008 г., включено в эту копию.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# БЕЗОПАСНОСТЬ ЛАЗЕРНОЙ АППАРАТУРЫ

## Часть 1

## Классификация оборудования, требования и руководство для потребителей

Safety of laser products. Part 1. Equipment classification, requirements and user's guide

**Дата введения — 2011 — 01— 01**

## 1 Область применения и назначение

МЭК 60825 применяется для безопасности лазерной аппаратуры, испускающей лазерное излучение в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм.

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

Лазерные изделия, которые поставляют другие изготовители для использования в качестве компонентов в любых системах для последующих поставок, не являются предметом рассмотрения МЭК 60824-1, так как окончательная аппаратура не может быть предметом настоящего стандарта.

Однако если лазерная система с лазерной аппаратурой реально действует, то при ремонте оборудования следует руководствоваться настоящим стандартом применительно к ремонтируемому узлу.

Примечание 1 — Действующее оборудование не содержит требования к узлам, которые подготавливают его к эксплуатации.

Любая лазерная аппаратура исключается из дальнейших требований настоящего стандарта, если по классификации изготовителя аппаратура, соответствующая разделам 3, 8 и 9, показывает, что уровень эмиссии не превышает допустимый предел излучения (ДПИ) для класса 1 при всех условиях эксплуатации, текущего ремонта, обслуживания и при авариях.

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

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

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

Настоящий стандарт включает в себя минимальные требования. Соответствие настоящему стандарту может быть недостаточным, чтобы выполнять требования по уровню безопасности аппаратуры. Лазерная аппаратура должна быть согласована по применяемым характеристикам и тестируемым требованиям по безопасности стандартов.

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

**Издание официальное**

Там, где лазерные системы формируются по требованиям других стандартов МЭК по лазерной безопасности, таким как медицинские требования (МЭК 60601-2-22), требования промышленной технологии (МЭК 60950), требования аудио- и видеотехники (МЭК 60065), требования использования опасной атмосферы (МЭК 62115), настоящий стандарт должен применяться с учетом обеспечения МЭК Guide 104[2] для результирующей опасности лазерного излучения. Если изделие не относится к стандарту по лазерной безопасности, то применяется МЭК 61010-1.

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

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

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

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

Направленность настоящего стандарта заключается в следующем:

- введении системы классификации лазеров и лазерной аппаратуры в зависимости от степени опасности их оптического излучения для того, чтобы оказывать помощь при оценке и оказывать помощь при контрольных измерениях;
- установлении требований для производителей, чтобы снабдить их информацией и принять необходимые меры предосторожности;
- однозначном предупреждении персонала об опасности, связанной с допустимым излучением от лазерной аппаратуры, с помощью знаков и инструкций;
- уменьшении возможности излишней минимизации допустимого излучения и предоставлении лучших методов контроля опасного лазерного излучения с разработкой мер защиты.

## 2 Нормативные ссылки

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

МЭК 60050(845): 1987 Международный электротехнический словарь (МЭС). Глава 845. Освещение (IEC60050(845): 1987, International electrotechnical vocabulary; chapter 845: lighting)

МЭК 60601-2-22 Медицинские электрические требования. Часть 2. Особые требования для безопасности диагностических и терапевтических лазерных систем (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)

МЭК 61010-1 Требования безопасности для электрических систем измерения, контроля и лабораторного использования. Часть 1. Общие требования (IEC 61010-1, Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use. Part 1. General requirements).

---

[2] IEC Guide 104: 1997, The preparation of safety publication and the use of basic safety publication and group safety publications.

## 3 Термины и определения

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

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

3.1 **панель доступа:** Часть защитного корпуса или кожуха, которая дает доступ к лазерному излучению, если она снята или сдвинута.

3.2 **допустимая эмиссия:** Уровень излучения, определяемый положением и размером апертурной диафрагмы [когда допустимый предел излучения (ДПИ) измеряется в Вт и Дж] или размером ограничивающей диафрагмы (когда ДПИ измеряется в $Вт \cdot м^{-2}$ или в $Дж \cdot м^{-2}$), как описано в разделе 9.

Допустимую экспозицию определяют там, где предполагается доступ человека, как установлено в статье 3.37. Допустимая экспозиция сравнивается с допустимым пределом излучения (см. статью 3.3) для того, чтобы определить класс лазерной аппаратуры. В настоящем стандарте, однако, используется термин «уровень излучения», который следует понимать как допустимая эмиссия.

Примечание — Когда диаметр пучка больше апертурной диафрагмы, допустимую эмиссию приводят в единицах ватт и джоуль, так как полная мощность и энергия, попадающая в лазерную апертуру, меньше испускаемой. Когда диаметр пучка меньше ограничивающей диафрагмы, допустимую экспозицию приводят в $Вт \cdot м^{-2}$ или в $Дж \cdot м^{-2}$, так как энергетическая освещенность или экспозиция излучения определяется ограничивающей диафрагмой, а действительная энергетическая освещенность и экспозиция излучения меньше предельно возможной. См. также апертурную диафрагму, статья 3.9 и ограничивающую диафрагму, статья 3.52.

**3.3 допустимый предел излучения; ДПИ**: максимальное значение допустимого предела излучения устанавливается для определенного класса.

Примечание — Под выражением «уровень эмиссии не превосходит ДПИ» или похожим выражением, подразумевается, что допустимая эмиссия определяется измерительным критерием, указанным в разделе 9.

3.4 **административный контроль:** Измерение безопасности нетехническими мерами, такими как надзор за ключом, обучение персонала безопасным методам работы, предупреждающие надписи, расчетные операции и контроль диапазона безопасности.

3.5 **альфа минимум $\alpha_{min}$:** См. угол стягивания и минимальный угол стягивания , статьи 3.7 и 3.58.

3.6 **угол приемника $\gamma$, рад:** Плоский угол, в пределах которого приемник будет реагировать на оптическое излучение. Угол приемника может ограничиваться апертурными диафрагмами или оптическими элементами перед приемником (см. рисунки 3 и 4). Угол приемника иногда определяют как поле зрения.

3.7 **стягивающий угол источника $\alpha$:** Угол, стягиваемый видимым размером источника при наблюдении из точки пространства, как показано на рисунке 3.

Примечание 1 — Положение и видимый угловой размер источника зависят от положения наблюдения в пучке (см. статью 3.11).

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

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

3.8 **апертура:** Любое отверстие в защитном корпусе или другой защитной оболочке лазерной аппаратуры, через которое выходит лазерное излучение; посредством этого возникает доступ человека к такому излучению.

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

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

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

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

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

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

Отклонение излучения от направления незеркального отражения не определяется как пучок.

3.12 **ослабитель пучка:** Устройство, которое уменьшает лазерное излучение до определенного уровня

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

В настоящем стандарте используют $d_{63}$.

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

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

3.14 **расходимость пучка:** Дальний плоский угол конуса, определяемый диаметром пучка.

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

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

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

3.15 **расширитель пучка:** Комбинация оптических элементов, которая увеличивает диаметр пучка лазера.

3.16 **компонент траектории пучка:** Оптический компонент, который лежит на определенной части хода луча (например, лучи, отраженные от зеркала или сфокусированные линзой).

3.17 **прерыватель пучка:** Устройство, которое прерывает ход пучка лазера.

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

Примечание 1 — См. также ограничения по схемы классификации в С.3 (приложение С).

Примечание 2 — Так как тесты для классификации аппаратуры лимитируются испытанием в течение работы, то для внедряемой лазерной аппаратуры, у которой в зависимости от другого изделия излучение становится выше ДПИ класса 1 в течение текущего ремонта, может быть такой случай, когда защитная панель удалена.

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

Примечание 1 — См. также ограничения схемы классификации в С.3 (приложение С).

Примечание 2 — При расчетах с меньшей измерительной апертурой или при большем расстоянии от видимого источника, чем используется для лазерной аппаратуры класса 1М, выход лазерной аппаратуры класса 1М потенциально опасен, когда для наблюдения используют оптический прибор (см. 8.2).

Примечание 3 — Так как тесты для классификации аппаратуры лимитируются испытанием в течение работы, то может быть такой случай для внедряемой лазерной аппаратуры, у которой в зависимости от другого изделия излучение становится выше ДПИ класса 1М в течение текущего ремонта, когда защитная панель удалена.

3.20 **лазерная аппаратура класса 2:** Любая лазерная аппаратура в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, в которой возможен в процессе работы доступ человека к лазерному излучению, превышающему допустимый предел излучения для класса 2 при соответствующих длинах волн и длительностях облучения [см. 8.2 и 8.3, перечисление e)].

Примечание 1 — См. также ограничения по схемной классификации в С.3 (приложение С).

Примечание 2 — Так как тесты для классификации аппаратуры лимитируются испытанием в течение работы, то может быть такой случай для внедряемой лазерной аппаратуры, у которой в зависимости от другого изделия излучение становится выше ДПИ класса 2 в течение текущего ремонта, когда защитная панель удалена.

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

Примечание 1 — См. также ограничения по схемной классификации в С.3 (приложение С).

Примечание 2 — При расчетах с меньшей измерительной апертурой или при бóльшем расстоянии от видимого источника, чем используется для лазерной аппаратуры класса 2, выход лазерной аппаратуры класса 2М потенциально опасен, когда для наблюдения используют оптический прибор (см. 8.2).

Примечание 3 — Так как тесты для классификации аппаратуры лимитируются испытанием в течение работы, то может быть такой случай для внедряемой лазерной аппаратуры, у которой в зависимости от другого изделия излучение становится выше ДПИ класса 2М в течение текущего ремонта, когда защитная панель удалена.

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

Примечание 1 — См. также ограничения схемы классификации в С.3 (приложение С).

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

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

3.24 **сопутствующее излучение:** Любое электромагнитное излучение в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм, исключая лазерное излучение, генерируемое лазерным изделием как его результат, или физически необходимым для работы лазера.

3.25 **коллимированный пучок**: Пучок излучения с очень маленьким углом сходимости или расходимости.

3.26 **непрерывная волна;** НВ: В настоящем стандарте лазер, работающий в непрерывном режиме с длительностью на выходе не менее 0,25 с, рассматривается как НВ лазер.

3.27 **заданная траектория пучка:** Определенная часть лазерного пучка в лазерной аппаратуре.

3.28 **демонстрируемая лазерная аппаратура:** Любая сконструированная или изготовленная лазерная аппаратура, предназначенная или используемая для демонстрации, развлечения, рекламирования, показа или художественной композиции.

Термин «демонстрируемая лазерная аппаратура» не относится к лазерным изделиям, которые разработаны и предназначены для другого применения, хотя они могут быть использованы для демонстрации этих применений.

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

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

3.30 **встроенная лазерная аппаратура:** В настоящем стандарте — это лазерная аппаратура, которая относится к более низкому классу по сравнению со специальным прибором лазерного объединения, так как технические характеристики ограничивают доступное излучение.

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

3.31 **длительность излучения:** Временная длительность импульса, последовательности или серии импульсов или непрерывной работы, в течение которой доступ человека к лазерному излучению оказывается возможным в результате работы, ремонта или обслуживания лазерного изделия.

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

3.32 **рассеянное лазерное излучение:** Лазерное излучение, которое отклоняется от установленного пути следования пучка. Такое излучение испытывает нежелательные отражения отдельных компонентов траектории пучка и отклонение излучения в результате повреждения элементов.

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

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

3.34 **протяженный источник:** Условия наблюдения видимого источника на расстоянии не менее 100 мм при угле стягивания для глаза больше, чем минимальный угол стягивания $\alpha_{min}$.

В случае двух протяженных источников в настоящем стандарте рассматривается термическая опасность поражения сетчатки глаз: промежуточный источник и большой источник. Их используют, чтобы различать по стягиваемому углу видимый источник $\alpha$ в промежутке от $\alpha_{min}$ до $\alpha_{max}$ (промежуточные источники) и более чем $\alpha_{max}$ (большие источники). (См. также статью 3.80).

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

3.35 **безопасность при неисправности:** Конструкция, при которой неисправность узла не увеличивает опасность.

В режиме неисправности система становится неработающей или безопасной.

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

3.36 **доступ человека:**

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

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

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

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

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

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

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

3.40 **энергетическая освещенность *E*, Вт·м$^{-2}$:** Отношение потока излучения, падающего на элемент поверхности, содержащий этот элемент:

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

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

[МЭК 60050 — 845-04-39, модифицировано]

3.42 **контролируемая площадь лазера:** Площадь, внутри которой расходимость и активность являются предметом контроля и наблюдения для возможной защиты от опасного излучения.

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

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

3.44 **зона лазерной опасности:** См. номинально опасная зона (статья 3.61)

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

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

3.47 **ответственный сотрудник лазерной безопасности:** Лицо, компетентное в вопросах оценки и контроля лазерной опасности и отвечающее за организацию контроля лазерной опасности.

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

3.49 **световой излучающий диод;** СИД: Любое полупроводниковое устройство с *p-n* переходом, которое может вырабатывать электромагнитное излучение излучательной рекомбинацией в полупроводнике в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм.

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

3.50 **предельный угол приемника для расчета ретинальной фотохимической опасности $\gamma_{ph}$:** При расчете ретинальной фотохимической опасности определяют предельный измеряемый угол приемника $\gamma_{ph}$. Угол $\gamma_{ph}$ имеет отношение к адаптации глаза и не зависит от угла стягивания источника. Если угол стягивания источника больше, чем определяемый предельный угол приемника $\gamma_{ph}$, то угол приемника $\gamma$ ограничивается $\gamma_{ph}$, и источник рассматривается полностью. Если измеряемый угол приемника $\gamma$ не лимитирован указанным уровнем, то опасность может быть переоценена.

Примечание — Если угол приемника видимого размера источника меньше, чем определенный предельный измеряемый угол приемника, то действительный угол приемника оптимален для измерения и не может быть ограничен, поэтому действующий «открытый» приемный угол радиометра может быть использован как угол приемника.

3.51 **предельный угол приемника для расчета тепловой опасности $\gamma_{th}$:** Максимальный угол стягивания для использования в расчетах ретинальной тепловой опасности.

Значение угла приемника может варьироваться между $\alpha_{min}$ и $\alpha_{max}$ [см. 8.3, перечисление d); 9.3.2, перечисление b), 2)].

3.52 **ограничивающая апертура:** Круглая площадь, по которой проводят усреднение энергетической освещенности и экспозиции излучения.

3.53 **текущий ремонт:** Выполнение регулировок и методик, оговоренных в информации для потребителя производителем лазерной аппаратуры, которые должен выполнять потребитель для обеспечения установленных характеристик аппаратуры.

Это не относится к эксплуатации и обслуживанию.

3.54 **максимальный стягиваемый угол $\alpha_{max}$:** Значение угла стягивания видимого источника, свыше которого МДЭ и ДПИ не зависят от размера источника.

Примечание — $\alpha_{max}$ = 100 мрад.

3.55 **максимальный выход:** Максимальная мощность излучения или, где это применимо, максимальная энергия излучения в импульсе полного доступного лазерного излучения, создаваемого лазерным изделием в любом направлении во всем диапазоне рабочих характеристик в любой момент после изготовления.

Примечание — Максимальный выход — максимально достижимая эмиссия, которая используется для определения класса лазерной аппаратуры. Так как определение достижимой эмиссии включает другие условия работы и расчет погрешности (см. 9.2), то максимальный выход может превышать наибольший выход аппаратуры в течение нормального функционирования.

3.56 **максимально возможная экспозиция;** МВЭ: Уровень лазерного облучения, до которого при нормальных условиях может облучиться персонал без вредных последствий.

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

3.57 **медицинская лазерная аппаратура:** Любое лазерное изделие, разработанное, изготовленное или используемое в целях воздействия на человеческий организм при диагностике, хирургии или терапевтического лазерного облучения любой части тела человека.

3.58 **минимальный стягиваемый угол $\alpha_{min}$:** Значение стягиваемого угла видимым источником, свыше которого источник считается протяженным. МВЭ и ДПИ не зависят от размера источника со стягиваемым углом меньше, чем $\alpha_{min}$.

Примечание — $\alpha_{min}$ = 1,5 мрад.

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

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

3.60 **положение наибольшего ограничения:** Положение в пучке, в котором отношение допустимой эмиссии к ДПИ — максимальное.

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

3.61 **номинальная опасная для глаз зона;** НОГЗ: Зона, внутри которой энергетическая освещенность или экспозиция излучения превышает предполагаемое значение максимально возможной экспозиции (МВЭ), учитывая возможность случайного изменения направления лазерного пучка.

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

3.62 **номинальное опасное для глаз расстояние;** НОГР: Расстояние от выходной апертуры, на котором энергетическая освещенность или экспозиция излучения равна предполагаемому значению МВЭ.

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

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

В это понятие не включается текущий ремонт или обслуживание.

3.64 **фотохимический опасный предел:** МВЭ или ДПИ, которые были получены для защиты персонала против фотохимических эффектов.

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

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

3.66 **защитный кожух:** Те части лазерной аппаратуры (включая изделия, содержащие встроенные лазеры), которые сконструированы для предотвращения доступа человека к лазерному излучению, предписанного ДПИ (обычно устанавливается изготовителем).

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

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

Длительность импульса меньше, чем 0,25 с.

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

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

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

$\mathrm{d}A$ — площадь элемента пучка, содержащего данную точку;

$\theta$ — угол между нормалью к элементу и направлением луча.

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

3.70 **энергия излучения** *Q*, Дж: Интеграл по времени от потока излучения $\Phi$ за данную длительность $\Delta$t:

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

[МЭК 60050 — 845-01-27]

3.71 **энергетическая экспозиция излучения** (в точке поверхности для данной длительности) *H*, Дж·м$^{-2}$: Отношение энергии излучения d*Q*, падающей на элемент поверхности, содержащий данную точку, в течении данной длительности к площади d*A* этого элемента.

*Эквивалентное определение.* Интеграл по времени от $E_e$ облученности в данной точке за данную длительность d*t*.

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

[МЭК 60050 — 845-01-42]

3.72 **мощность излучения, поток излучения** $\Phi$, *P*, Вт: Мощность эмиссии, испускаемая, передаваемая или принимаемая в виде излучения.

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

[МЭК 60050 — 845-01-24]

3.73 **коэффициент отражения** $\rho$: Отношение отраженного потока излучения к падающему потоку при данных условиях.

[МЭС 845-04-58, модифицировано]

3.74 **соединитель дистанционной блокировки:** Соединитель, который позволяет подсоединять внешние устройства управления, расположенные вдали от других узлов лазерного изделия (см. 4.4).

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

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

3.77 **обслуживание:** Выполнение описанных в эксплуатационных инструкциях изготовителя методик и регулировок, которые могут влиять на какой-либо аспект работы изделия.

В это понятие не входит текущий ремонт или функционирование.

3.78 **панель для обслуживания:** Панель доступа к лазерному излучению, которая снимается или сдвигается при обслуживании.

3.79 **условие случайной ошибки:** Любая случайная ошибка, которая может повлиять на аппаратуру, и прямое последствие этой ошибки.

3.80 **малый источник:** Источник, стягивающий угол которого $\alpha$ не более минимального стягивающего угла $\alpha_{min}$.

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

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

3.82 **предел тепловой опасности:** МВЭ или ДПИ, которые были установлены для защиты персонала против тепловых эффектов как противопоставление фотохимического повреждения.

3.83 **временная база:** Длительность эмиссии, которую используют для классификации лазерной аппаратуры [см. 8.3, перечисление е)].

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

3.85 **пропускание** $\tau$: Отношение прошедшего потока излучения к падающему потоку в данных условиях.

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

3.86 **оптическая плотность по пропусканию** $D$: Десятичный логарифм величины, обратной коэффициенту пропускания $\tau$.

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

[МЭК 60050 — 845-04-66]

3.87 **видимое излучение:** Оптическое излучение, которое может непосредственно вызвать зрительное ощущение.

[МЭС 60050 — 845-01-03]

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

3.88 **обрабатываемая деталь:** Объект, предназначенный для обработки лазерным излучением.

## 4 Технические характеристики

### 4.1 Общие замечания

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

Модификация

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

### 4.2 Защитный корпус

#### 4.2.1 Общие положения

Каждое лазерное изделие должно иметь защитный корпус, который, будучи установленным в определенном месте, предотвращает доступ человека к лазерному излучению (включая встроенные лазеры), ДПИ для класса 1, за исключением, когда доступ человека является необходимым для выполнения функционирования аппаратуры.

Когда классификация лазерной аппаратуры базируется на предотвращении доступа человека к уровню энергии, эквивалентной классу 4 (например, для процесса лазерной механики), защитный корпус должен противостоять разумно предвиденным условиям случайной ошибки (см. 9.1) без удаления человека.

Текущий ремонт лазерной аппаратуры классов 1, 1М, 2, 2М или 3R не должен позволять человеческого доступа к уровням лазерного излучения класса 3В или класса 4. Текущий ремонт лазерной аппаратуры класса 3В не должен позволять человеческого доступа к уровням лазерного излучения класса 4.

#### 4.2.2 Обслуживание

Закрепление любых частей корпуса или кожуха лазерного изделия (включая встроенные лазерные изделия), которые при обслуживании могут сниматься, открывая доступ к лазерному излучению, превышающему ДПИ, и которые не имеют блокировки (см. 4.3), таким образом, чтобы для их снятия или смещения требовалось применение инструментов.

**4.2.3 Съемная лазерная система**

Если лазерная система может выниматься из защитного корпуса или кожуха и работать без изменения, то лазерная система должна быть исполнена в соответствии с требованиями классов 4 и 5 применительно к классу лазера.

**4.3 Панель доступа и защитные блокировки**

4.3.1 Защитная блокировка должна быть предусмотрена для панелей доступа защитных корпусов при следующих двух условиях:

а) панель доступа снимается или сдвигается в течение технического обслуживания или работы и

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

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

Таблица 1 — Требования защитной блокировки

| Класс аппаратуры | Достижимое излучение в течение или после перемещения панели доступа | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1,1М | 2,2М | 3R | 3В | 4 |
| 1,1М | — | — | X | X | X |
| 2,2М | — | — | X | X | X |
| 3R | — | — | — | X | X |
| 3В | — | — | — | X | X |
| 4 | — | — | — | X | X |

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

Защитная блокировка должна препятствовать доступу к допустимому уровню эмиссии, превышающему принимаемому ДПИ в таблице 1 в случае снятия панели. Неумышленное нарушение блокировки не должно привести к распространению эмиссии, превышающей ДПИ в таблице 1. Эти блокировки должны быть согласованы с требованиями, применяемыми в стандарте МЭК по безопасности аппаратуры (см. класс 1).

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

4.3.2 Если предусмотрен механизм намеренного отключения блокировки, изготовитель должен обеспечить наличие инструкций по безопасным методам работы. Предполагается, что нормальная работа при отключении блокировки не будет восстановлена, когда панель доступа к лазерному излучению возвратится в свое обычное положение. Блокировка должна быть промаркирована в соответствии с 5.9.2. Намеренное отключение блокировки должно сопровождаться четким визуальным или звуковым сигналом тревоги, если лазер включен или батареи конденсаторов не полностью разряжены, если панель снята или сдвинута. Визуальные сигналы тревоги должны быть хорошо видны через защитные очки, специально рассчитанные на длину(ы) волны доступного лазерного излучения.

**4.4 Соединитель дистанционной блокировки**

Каждая лазерная система классов 3В и 4 должна иметь соединитель дистанционной блокировки. Когда контакты соединителя разомкнуты, излучение, к которому имеется доступ, не должно превышать ДПИ для класса 1М или класса 2М.

**4.5 Ручное переключение**

Каждая лазерная система класса 4 должна иметь возможность ручного переключения для возобновления допустимой эмиссии излучения класса 4 после перерыва, связанного включением блокировки, или перерыва более 5 с в подаче электрической мощности.

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

**4.6 Управление с помощью ключа**

Каждое лазерное изделие классов 3А, 3В и 4 должно управляться с помощью ключа. Ключ должен быть разомкнут, и тогда к лазерному излучению не будет доступа.

**4.7 Предупреждение эмиссии лазерного излучения**

4.7.1 Каждая лазерная система класса 3R в диапазоне длин волн ниже 400 нм и выше 700 нм и каждая лазерная система классов 3В и 4 должны иметь следующие меры безопасности.

4.7.2 Любое лазерное изделие класса 3R в диапазоне длин волн ниже 400 нм и выше 700 нм, а также лазерные изделия классов 3В и 4 при включении должны давать визуальное и звуковое предупреждения, когда конденсаторы импульсного лазера заряжены или не проведено их надежное разряжение. Устройство предупреждения должно быть надежным или дублироваться. Визуальный предупредительный сигнал должен быть хорошо виден через защитные очки, рассчитанные на длину(ы) волны лазерного излучения. Приборы визуальной сигнализации должны быть расположены так, чтобы наблюдение за ними не было сопряжено с опасностью облучения лазерным излучением выше ДПИ для классов 1М и 2М.

4.7.3 При проведении оперативного контроля, а также, если лазерные апертуры работают на расстоянии не менее 2 м от устройства предупреждения об излучении, необходимо наличие прибора звуковой или визуальной предупредительной сигнализации. Приборы звуковой или визуальной предупредительной сигнализации должны быть ясно видны или хорошо слышимы персоналом в месте оперативного контроля или лазерной апертуры.

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

**4.8 Прерыватель пучка или аттенюатор**

Каждая лазерная система классов 3В и 4 должна иметь одно или более постоянно подсоединенных средств (такие как прерыватель пучка, аттенюатор, выключатель). Прерыватель пучка или аттенюатор должен предотвращать, если необходимо, доступ человека к лазерному излучению, превышающему ДПИ для класса 1М или класса 2М.

**4.9 Устройства контроля**

Любое лазерное изделие должно иметь устройства управления, расположенные так, чтобы при регулировке и работе не вызывало экспозицию лазерного излучения для классов 3R, 3В или 4.

**4.10 Оптические системы наблюдения**

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

а) для предотвращения доступа человека к лазерному излучению выше ДПИ для класса 1М, когда прерыватель открыт или изменяется ослабление;

б) для предотвращения открывания прерывателя или изменения ослабления аттенюатора, когда возможно облучение лазерным излучением выше ДПИ для класса 1М.

**4.11 Предосторожность при сканировании**

В лазерных изделиях, предназначенных для генерирования сканирующего излучения и классифицированных на этой основе, при отказе сканирующего устройства или при изменении скорости или амплитуды сканирования обеспечивается невозможность доступа человека к лазерному излучению, превышающему ДПИ для определенного класса, если экспозиция людей в течение временного интервала между предвидимой эмиссией и сканированием не уменьшается ниже уровня ПДИ для данного класса аппаратуры (см. также 9.1).

**4.12 Отдельный доступ**

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

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

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

c) когда имеется отдельный доступ в момент работы или заранее предвидится эмиссия лазерного излучения, принимается эквивалент класса 3В или 4, в то время при огороженном месте доступа для аппаратуры классов 1, 2 или 3R должны применяться технические меры.

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

### 4.13 Условия окружающей среды

Лазерное изделие должно соответствовать требованиям безопасности, определяемым настоящим стандартом, всем ожидаемым условиям работы в соответствии с предполагаемым использованием лазера. Необходимо учитывать следующие факторы:

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

Если лазерное изделие не было оснащено в соответствии со стандартами по безопасности, руководствуются соответствующим пунктом МЭК 61010-1.

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

### 4.14 Защита против других вредных факторов

#### 4.14.1 Неоптические опасности

Требования по соответствию лазерного изделия стандартам безопасности должны выполняться в течение всего периода эксплуатации, и возможные одиночные отказы определяются следующим:

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

Если лазерное изделие не было оснащено в соответствии со стандартами по безопасности, руководствуются соответствующим пунктом МЭК 61010-1.

Примечание — Во многих странах регулируется контроль за вредными веществами. По этим вопросам следует контактировать с соответствующими национальными агентствами.

#### 4.14.2 Побочное излучение

Защитный кожух лазерного изделия должен защищать от опасных факторов побочного излучения (например, ультрафиолетового, видимого, инфракрасного). Однако, если возможный уровень сопутствующего побочного излучения может быть опасным, практическое значение ПДИ определяют с учетом этой опасности.

## 5 Знаки

### 5.1 Общие положения

Каждая лазерная аппаратура должна иметь знак(знаки) в соответствии с нижеприведенными требованиями. Знаки должны быть надежно укрепленными, четкими и хорошо видимыми во время работы, текущего ремонта или обслуживания в соответствии с их назначением. Они должны быть расположены так, чтобы их можно было прочитать, не подвергая персонал облучению лазерным излучением выше ДПИ для класса 1. Рамки текста и обозначения должны быть черными на желтом фоне за исключением класса 1, где комбинацию этих цветов не используют.

Формулировка знаков, показанная в классе 5, является рекомендованной, а не обязательной. Другие редакции могут быть использованы для замещения в связи с назначением.

Если размеры или конструкция изделия не позволяют прикрепить к нему знак, то этот знак должен быть включен в информацию для потребителя или нанесен на упаковку.

Примечание — Допускается применение напечатанных или гравированных предупреждающих знаков на лазерной аппаратуре или панелях.



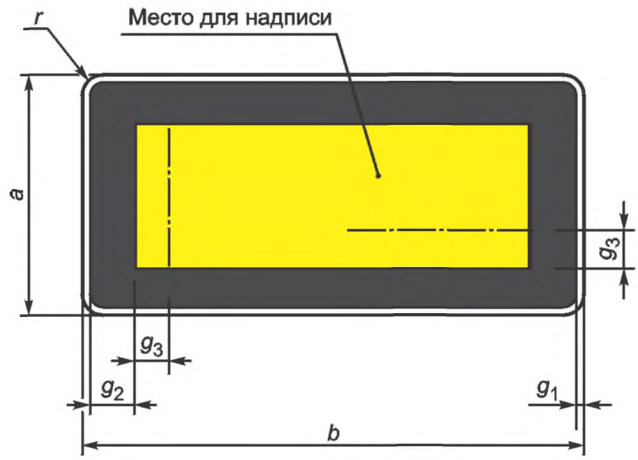

В миллиметрах

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

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

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

Рисунок 1 — Предупреждающий знак — обозначение опасности




В миллиметрах

| $a \times b$ | $g_1$ | $g_2$ | $g_3$ | $r$ | Минимальная высота букв |
|---|---|---|---|---|---|
| 26 × 52 | 1 | 4 | 4 | 2 | Буквы должны иметь достаточный размер, чтобы быть читаемыми |
| 52 × 105 | 1,6 | 5 | 5 | 3,2 | |
| 84 × 148 | 2 | 6 | 7,5 | 4 | |
| 100 × 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 $g_1$ — рекомендуемый. | | | | | |

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

Примечание 2 — Значения размеров — рекомендуемые. Пояснительный знак может быть любого размера, необходимого для помещения требуемых букв и окантовок. Минимальный размер каждой окантовки по ширине $g_2$ и $g_3$ должен составлять 0,06 длины короткой части знака.

Рисунок 2 — Пояснительный знак

**5.2 Классы 1 и 1М**

Кроме случаев, указанных в классе 1, каждая лазерная аппаратура класса 1 должна иметь прикрепленный пояснительный знак (см. рисунок 2) с надписью:

ЛАЗЕРНАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 1

Любое лазерное изделие класса 1М должно иметь прикрепленный пояснительный знак (см. рисунок 2) с надписью:

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

Совместно с вышеприведенными знаками по решению производителя в некоторых случаях применяют информацию для пользователя.

Тип оптического инструмента, который в результате использования может повысить опасный фактор, может быть внесен в пояснительный текст после слова «инструменты». Добавленный текст для лазерной аппаратуры с коллимированным пучком большого диаметра может в отдельных случаях быть таким: «(БИНОКЛИ ИЛИ ТЕЛЕСКОПЫ)» при соответствии классу 1М, пока изделие соответствует условию 1 (см. раздел 9) , или «(УВЕЛИЧИТЕЛЬНОЕ СТЕКЛО)» для лазерного изделия, которое соответствует классу 1М, пока оно соответствует условию 2 (см. раздел 9) (сильно расходящийся пучок).

Как альтернатива второму случаю класса 1М, знак может гласить «НЕ ПРОВОДИТЬ ЭКСПОЗИЦИЮ ЧЕРЕЗ БИНОКЛИ И ТЕЛЕСКОПЫ».

ЕСЛИ ДОПУСТИМАЯ ЭМИССИЯ ПРЕВЫШАЕТ ДПИ класса 3В, определенного с диаметром апертуры 3,5 мм, размещенной в закрытой точке доступа человека, то должно быть добавочное предупреждение об уровне аппаратуры и информации для пользователя:

Примечание — Применяется в условии 2 при использовании определения ДПИ.

**5.3 Классы 2 и 2М**

Каждая лазерная аппаратура класса 2 должна иметь прикрепленный предупреждающий знак (см.рисунок 1) и пояснительный знак (см. рисунок 2) с надписью:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

НЕ СМОТРИТЕ В ПУЧОК

ЛАЗЕРНАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 2

Каждая лазерная аппаратура класса 2М должна иметь прикрепленный предупреждающий знак (см.рисунок 1) и пояснительный знак (см.рисунок 2) с надписью:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

НЕ СМОТРИТЕ В ПУЧОК ИЛИ НЕ НАБЛЮДАЙТЕ С ПОМОЩЬЮ

ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

ЛАЗЕРНАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 2М

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

Если допустимая эмиссия превышает ДПИ класса 3В, определенного с диаметром апертуры 3,5 мм, размещенной в закрытой точке доступа человека, то должно быть добавочное предупреждение об уровне аппаратуры и информации для пользователя:

ЭКСПОЗИЦИЯ КОЖИ ВБЛИЗИ АПЕРТУРЫ МОЖЕТ ВЫЗВАТЬ ОЖОГИ

**5.4 Класс 3R**

Каждая лазерная аппаратура класса 3R должна иметь прикрепленный предупреждающий знак (см. рисунок 1) и поясняющий знак (см. рисунок 2) с надписью:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

ИЗБЕГАЙТЕ ПРЯМОЙ ЭКСПОЗИЦИИ ГЛАЗ

ЛАЗЕРНАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 3R

Примечание — Допускается также применять знаки второго варианта: ИЗБЕГАЙТЕ ЭКСПОЗИЦИИ ПУЧКОМ.

**5.5 Класс 3В**

Каждая лазерная аппаратура класса 3В должна иметь прикрепленный предупреждающий знак (см. рисунок 1) и поясняющий знак (см. рисунок 2) с надписью:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

ИЗБЕГАЙТЕ ЭКСПОЗИЦИИ ПУЧКОМ

ЛАЗЕРНАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 3В

**5.6 Класс 4**

Каждая лазерная аппаратура класса 4 должна иметь прикрепленный предупреждающий знак (см. рисунок 1) и поясняющий знак (см. рисунок 2) с надписью:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

ИЗБЕГАЙТЕ ОБЛУЧЕНИЯ ГЛАЗ ИЛИ КОЖИ ПРЯМЫМ ИЛИ РАССЕЯННЫМ

ИЗЛУЧЕНИЕМ

ЛАЗЕРНАЯ АППАРАТУРА КЛАССА 4

**5.7 Апертурный знак**

Каждая лазерная аппаратура классов 3R, 3В и 4 должна иметь прикрепленный знак вблизи каждой апертуры, через которую испускается лазерное излучение выше ДПИ для класса 1 или класса 2. На знаке(ах) должна быть надпись:

ЛАЗЕРНАЯ АПЕРТУРА или

АПЕРТУРА ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, или

ИЗБЕГАЙТЕ ЭКСПОЗИЦИИ — ИЗ ЭТОЙ АПЕРТУРЫ ИСПУСКАЕТСЯ

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

**5.8 Выходное излучение и стандартная информация**

Наименование и дата публикации стандарта, на который классифицируется аппаратура, должны включать объяснительный знак, или он должен находиться вблизи аппаратуры где-нибудь в другом месте. Каждая лазерная аппаратура, исключая класс 1, должна иметь на пояснительном знаке (см. рисунок 2) информацию о максимальной выходной мощности лазерного излучения (см. статью 3.55), длительности импульса (при необходимости) и испускаемых длинах волн. Для класса 1 или класса 1М вместо знаков на аппаратуре информацию допускается размещать в информации для пользователя.

**5.9 Знаки на панелях доступа**

**5.9.1 Знаки на панелях**

Каждый соединитель, каждая панель защитного корпуса или защитного кожуха, при снятии или смещении которых возможен доступ человека к лазерному излучению, превышающему ДПИ для класса 1, должны иметь прикрепленные знаки с надписью (в случае встроенного лазера класса 1М вместо знака информацию допускается помещать в информации для пользователя):

a) ВНИМАНИЕ — ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 1М

ПРИ ОТКРЫВАНИИ НЕ ПРОВОДИТЕ ПРЯМЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С

ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

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

b) ВНИМАНИЕ — ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 2

ПРИ ОТКРЫВАНИИ НЕ СМОТРИТЕ В ПУЧОК

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

c) ВНИМАНИЕ — ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 2М

ПРИ ОТКРЫВАНИИ НЕ СМОТРИТЕ В ПУЧОК ИЛИ НЕ НАБЛЮДАЙТЕ

С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

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

d) ВНИМАНИЕ — ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 3R

ПРИ ОТКРЫВАНИИ ИЗБЕГАЙТЕ ПРЯМОЙ ЭКСПОЗИЦИИ ГЛАЗ

если допустимое излучение не превышает ДПИ для класса 3R

Примечание — Могут также применяться знаки второго варианта: ИЗБЕГАЙТЕ ЭКСПОЗИЦИИ ПУЧКОМ.

e) ВНИМАНИЕ — ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 3B

ПРИ ОТКРЫВАНИИ ИЗБЕГАЙТЕ ЭКСПОЗИЦИИ ПУЧКОМ

если допустимое излучение не превышает ДПИ для класса 3B

f) ВНИМАНИЕ — ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 4,

ПРИ ОТКРЫВАНИИ ИЗБЕГАЙТЕ ЭКСПОЗИЦИИ ГЛАЗ ИЛИ КОЖИ ПРЯМЫМ

ИЛИ РАССЕЯННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

если допустимое излучение не превышает пределов для класса 3B

Эта информация может быть приведена во многих других знаках на аппаратуре.

**5.9.2 Знаки на панелях с защитной блокировкой**

Соответствующие знаки должны быть четко связаны с каждой защитной блокировкой, которую можно легко отключить и которая будет в этом случае открывать человеку доступ к лазерному излучению, превышающему ДПИ для класса 1. Такие знаки должны быть хорошо заметны до и во время намеренного отключения блокировки и располагаться вблизи отверстия, открывающегося при снятии защитного корпуса, кроме того на знаках должны быть надписи перечислений a) — f) 5.9.1 с предупреждением на отдельной строке, расположенной после первой строки такого содержания:

ПРЕКРАЩЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ БЛОКИРОВОК

**5.10 Предупреждение о невидимом лазерном излучении**

Во многих случаях формулировки на пояснительных знаках в соответствии с разделом 5 включают надпись «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ». Если выходное излучение лазера находится вне диапазона длин волн от 400 до 700 нм, то эта надпись должна быть изменена на «НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ», а если в выходном излучении есть длины волн как в указанном диапазоне, так и вне его, то необходима надпись «ВИДИМОЕ И НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ».

Если аппаратура классифицируется на основе уровня видимого лазерного излучения и превышает ДПИ класса 1 невидимых длин волн, знак вместо «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ» должен содержать слова «ВИДИМОЕ И НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ».

**5.11 Предупреждение о видимом лазерном излучении**

Надпись «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ» для знаков раздела 5 можно изменить на «ЛАЗЕРНЫЙ СВЕТ», если выход лазерной аппаратуры происходит в диапазоне волн от 400 до 700 нм.

## 6 Другие информационные требования

**6.1 Информация для пользователей**

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

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

Должна быть обеспечена следующая информация:

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

b) дополнительные предупреждения для лазеров классов 1M и 2M. Для расходящихся пучков это предупреждение должно содержать формулировку о том, что наблюдение выхода лазера с соответству-

ющими оптическими инструментами (например, лупами для глаз, увеличительными стеклами и микроскопами) в пределах расстояния 100 мм может представлять опасность для глаз. Для коллимированных пучков это предупреждение должно содержать формулировку, что наблюдение выхода лазера с соответствующими оптическими инструментами, сконструированными для использования на расстоянии (например, для телескопов или биноклей), может представлять опасность для глаз;

c) описание любого вредного излучения от защитных корпусов в течение полезного действия и процедур технического обслуживания для уровней лазерного излучения свыше ДПИ класса 1. Где это применяется, они должны быть включены в соответствующих единицах:

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

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

d) подобная информация должна содержаться в описании лазера [см. перечисление c)] для встроенной лазерной аппаратуры и другой присоединенной лазерной аппаратуры. Информация должна также содержать соответствующие инструкции по безопасности для потребителей, чтобы избежать неумышленного облучения опасным лазерным излучением. Это особенно важно для встроенной лазерной аппаратуры, классифицированной как класс 1, класс 1М, класс 2 или класс 2М, где внутри пучка наблюдается допустимый уровень эмиссии, превышающий ДПИ этих классов в течение возможного ремонта. В этом случае производитель должен обеспечить применение предупреждения о превышении излучения лазера внутри пучка;

e) применяются МВЭ и НОГР для лазерной аппаратуры классов 3 и 4, где необходимо и оправдано. Так как НОГР сильно зависит от системы прохождения пучка и оптических элементов, расположенных в пучке, когда это необходимо, рекомендуются разные значения НОГР для различных компонент пучка. Если пучок расходящийся, то НОГР дается для выборных значений расходимости. Когда значения МВЭ и НОГР установлены, следует установить допустимую экспозицию излучения. Для параллельного лазерного пучка классов 1М и 2М должна быть установлена расширенная НОГР (РНОГР), где необходимо и оправдано.

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

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

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

g) четкие копии (необязательно цветные) всех необходимых знаков и предупреждений об опасности, прикрепляемых к лазерному изделию или поставляемых вместе с ним. Для каждого знака должно быть указано место его прикрепления к изделию или, если знак поставляется вместе с изделием, необходима запись о том, что эти знаки не могли быть прикреплены к аппаратуре, однако могут быть установлены по форме и местоположению, которые рекомендованы;

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

i) перечень устройств управления, регулировок и методик работы и технического обслуживания, в том числе предупреждение: «Внимание — Использование устройств управления, регулировок и других процедур может привести к опасной экспозиции излучения» (как альтернатива — эквивалентные соответствующие предупреждения);

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

**6.2 Информация, необходимая при поставке и обслуживании**

Изготовители лазерной аппаратуры должны принимать меры, чтобы обеспечить следующее:

a) во всех каталогах, справочных листах и брошюрах с описаниями, относящимися к любому лазерному изделию, давать классификацию лазерной аппаратуры и всех предупреждающих знаков, включая спецификацию 6.1, перечисление b), если необходимо;

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

- четкие предупреждения и меры предосторожности, позволяющие избежать возможную экспозицию лазерного излучения свыше 1-го класса и другие опасности;
- перечень мероприятий по техническому обслуживанию, необходимых для поддержания изделия в рабочем состоянии;
- перечень таких контрольных операций и процедур, которые могли бы использовать другие лица, кроме изготовителей и поставщиков для увеличения доступных уровней излучения;
- четкое описание расположения смещаемых частей защитного корпуса, которые могут открыть доступ к лазерному излучению выше допустимых пределов, указанных в таблицах 4 — 9;
- процедуры защиты обслуживающего персонала и
- разборчивые копии (необязательно цветные) требования знаков и предупреждений об опасности.

## 7 Дополнительные требования для специфической лазерной аппаратуры

**7.1 Другие части стандарта серии МЭК 60825**

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

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

В дальнейшем информацию можно найти в:

- МЭК/ТО 60825-3 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 3. Руководящие указания по применению лазеров для зрелищных мероприятий»;
- МЭК/ТО 69825-5 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 5. Контрольный перечень к IEC 60825-1 для изготовителей» (ситуации, используемые в докладе по безопасности);
- МЭК/ТО 60825-8 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 3. Руководящие указания по применению лазеров для зрелищных мероприятий»;
- МЭК/ТО 60825-9 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 9. Компиляция максимально допустимой экспозиции некогерентного оптического излучения» (широкополосные источники);
- МЭК/ТО 60825-10 «Безопасность лазерных устройств. Часть 10. Руководство по применению и пояснительные замечания к IEC 60825-1»
- МЭК/ТО 60825-13 «Безопасность лазерных устройств. Часть 13. Измерения, проводимые для классификации лазерных устройств»
- МЭК/ТО 60825-14 «Безопасность лазерных устройств. Часть 14. Руководство для пользователя»
- МЭК 62427 (CIE S009), «Железные дороги. Совместимость подвижного состава с системами определения поезда».

**7.2 Медицинская лазерная аппаратура**

Любой медицинский лазерный аппарат должен соответствовать всем требованиям, предъявляемым к лазерному изделию соответствующего класса. Дополнительно любой медицинский лазер класса 3B или 4 должен укомплектовываться в соответствии с МЭК 60601-2-22.

**7.3 Лазерные обрабатывающие устройства**

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

**7.4 Электрические игрушки**

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

**7.5 Потребительская электронная аппаратура**

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

## 8 Классификация

**8.1 Введение**

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

**8.2 Классификация ответственности**

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

Аппаратура должна быть классифицирована на основе комбинации выходной мощности и длин волн допустимого лазерного излучения в полном диапазоне и в любое время после изготовления, что результируется распределением по высочайшим подходящим классам.

При проектировании лазерной аппаратуры, когда только назначается особый класс, следует ознакомиться с требованиями настоящего стандарта для предполагаемого класса, например разделы по контрольным операциям, маркированию и информации для пользователя.

**8.3 Правила классификации**

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

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

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

a) излучение на одной длине волны:

лазерное изделие, излучающее на одной длине волны, относится к определенному классу, если его излучение, измеренное при условиях, соответствующих данному классу, превышает ДПИ для всех более низких классов, но не превышает ДПИ для класса, к которому его отнесли;

b) излучение на многих длинах волн:

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

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

c) излучение от протяженных источников:

окулярная опасность от лазерного источника в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм зависит от угла, стягиваемого видимым источником $\alpha$.

Примечание — Протяженным является источник, когда стягиваемый им угол больше $\alpha_{min}$ ($\alpha_{min}$ = 1,5 мрад). Термическую опасность для сетчатки глаза оценивают в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм. ДПИ для протяженного источника изменяется прямо пропорционально стягиваемому углу. Фотохимическую опасность для сетчатки глаза оценивают в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм. При экспозиции более 1 с ДПИ для протяженного источника не изменяется прямо пропорционально стягиваемому углу, но зависит от длительности экспозиции [см. 9.3, перечисления в) и и)]. Предельный угол приема $\gamma_p \geq 11$ мрад используют для измерений, а его отношения к стягиваемому источником углу $\alpha$ может влиять на результат измерения.

Для источников с углом стягивания не более $\alpha_{min}$ значения ДПИ и МВЭ не зависят от угла стягивания видимого источник $\alpha$.

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

| Спектральный диапазон[a] | УФ-С и УФ-В 180 — 315 нм | УФ-А 315 — 400 нм | Видимый и ИК-А 400 — 1400 нм | ИК-В и ИК-С 1400 — $10^6$ нм |
|---|---|---|---|---|
| УФ-С и УФ-В 180 – 315 нм | o<br>s | | | |
| УФ-А 315 – 400 нм | | o<br>s | | o<br>s |
| Видимый и ИК-А 400 – 1400 нм | | s | o [b]<br>s | s |
| ИК-В и ИК-С 1400 – $10^6$ нм | | o<br>s | s | o<br>s |

o — глаз;
s — кожа.

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

[b] Если ДПИ и окулярная МВЭ, рассчитаны за базовое время или длительность экспозиции не менее чем 1 с, аддитивные фотохимические эффекты (400 — 600 нм) и аддитивные тепловые эффекты должны быть ограничены независимо и более всего ограничиваются используемым значением.

Для протяженного источника измеренное значение энергетической характеристики должно быть ниже пределов допуска для ДПИ мощности или энергии в зависимости от угла стягивания $\alpha$ для конкретного класса.

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

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

Примечание 3 — При условии устранения неисправностей, когда $C_6 = 1$, упрощенная таблица 4 показывает обеспечение классов 1 и 1М.

Для источников с углом стягивания не более $\alpha_{min}$ значения ДПИ и МВЭ не зависят от угла стягивания $\alpha$ видимого источника.

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

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

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

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

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

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

Классификация должна базироваться на случае, когда отношение между неполной доступной эмиссией внутри неполной площади выше угла стягивания $\alpha$ и соответствующим ДПИ максимальное.

Угол стягивания прямоугольного или линейного источника определяют среднеарифметическим значением двух угловых размеров источника. Любой угол, измеренное значение которого больше $\alpha_{max}$ или меньше $\alpha_{min}$, лимитируется как $\alpha_{max}$ или $\alpha_{min}$ соответственно и таким принимается в расчетах.

Фотохимические пределы (400 — 600 нм) не зависят от угла стягивания источника, и источник рассматривается с предельным углом приемника, указанным в 9.3.3, перечисление b).

Для источников, превышающим предельный угол приемника, допустимую эмиссию определяют для неполного видимого источника, который производит максимальную эмиссию;

e) временные базы

Для классификации в стандарте используют следующие временные базы:

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

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

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

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

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

f) повторяющиеся импульсы или модулированные лазеры

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

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

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

1) облученность от одного импульса из последовательности не должна превышать ДПИ для одного импульса,

2) средняя мощность для цуга импульсов с длительностью эмиссии $T$ ДПИ$_T$ не должна превышать мощность соответствующего ДПИ для одного импульса длительности $T$.

Примечание — Для сравнения предела одиночного импульса ДПИ$_{одиночн.}$ или предела последовательности импульсов ДПИ$_{последн.}$ предел цуга импульсов должен делиться на $N$, и ему присвоено обозначение ДПИ$_{последн.\ T}$,

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

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

$$\text{ДПИ}_{\text{последн.}} = \text{ДПИ}_{\text{одиночн.}} \cdot C_5,$$

где ДПИ$_{последн.}$ — ДПИ одного импульса в последовательности импульсов;

ДПИ$_{одиночн.}$ — ДПИ одного отдельного импульса (см. таблицы 4 — 9);

$N$ — эффективное число импульсов в цуге импульсов, ограниченное длительностью эмиссии [когда импульсы находятся вблизи $T_i$ (см. таблицу 3), $N$ меньше числа действительных импульсов, см. ниже]. Максимальную длительность эмиссии необходимо ограничивать для длин волн от 400 до 1400 нм значением $T_2$ (см. таблицу 10) или применяемой временной базой, какой угодно короткой. Для длин волн более 1400 нм максимальную длительность считают 10 с.

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

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

Если имеется множество импульсов в пределах периода $T_i$ (см. таблицу 3), то при определении $N$ и энергии их считают одиночным импульсом, которые суммируют, чтобы сравнивать с ДПИ по $T_i$.

Энергия любой группы импульсов (или подгруппы импульсов в последовательности импульсов), полученная за любое определенное время, не должна превышать ДПИ за это время.

Таблица 3 — Отрезки времени, в которых группы импульсов суммируются

| Длина волны, нм | $T_i$, с |
|---|---|
| $400 \le \lambda < 1050$ | $18 \cdot 10^{-6}$ |
| $1050 \le \lambda < 1400$ | $50 \cdot 10^{-6}$ |
| $1400 \le \lambda < 1500$ | $10^{-3}$ |
| $1500 \le \lambda < 1800$ | 10 |
| $1800 \le \lambda < 2\,600$ | $10^{-3}$ |
| $2600 \le \lambda < 10^6$ | $10^{-7}$ |

3) b) для импульсов различной ширины и разных интервалов между импульсами необходимо использовать метод полновременных импульсов (ТОТР). ДПИ определяется длительностью ТОТР, которая есть сумма длительностей всех импульсов внутри длительности излучения или длительности, которая меньше $T_2$. Импульсы с длительностью менее чем $T_i$ принимаются за импульсы с длительностью $T_i$. Если оказывается два или больше импульсов в длительности $T_i$, то длительность такой группы импульсов принимается за длительность $T_i$. Для сравнения с ДПИ, соответствующей длительности, все отдельные импульсы устройств складываются.

## 9 Определение уровня ограничения эмиссии

### 9.1 Испытания

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

Испытания во время работы используют, для того чтобы осуществить классификацию аппаратуры. Соответствующие испытания во время эксплуатации, технического обслуживания и ремонта также используют для определения требований к предохранительным блокировкам, знакам и информации для пользо-

вателя. Вышеупомянутые испытания проводят при каждом обоснованно ожидаемом событии появления отказа. Однако, если эмиссия уменьшается до уровня ниже ДПИ автоматическим ослаблением, нет необходимости предсказывать доступ человека.

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

Примечание 2 — Например, безопасное сканирование достаточно надежно предохранить от эмиссии выше ДПИ при наличии неисправностей; однако это может быть допустимо для аппаратуры, у которой экспозиция людей маловероятна.

Примечание 3 — Приемлемые способы анализа вероятности и риска касательно неисправностей изложено в FMEA (модель неисправности и эффективный анализ), а также (см., например, МЭК 61508). Вероятностный анализ может быть использован как помощь в определении «разумные условия случайной ошибки».

Примечание 4 — Классификацию устанавливают в течение работы, а ограничения на текущий ремонт зависят от классификации аппаратуры.

Когда оценена пригодность защитных кожухов для предотвращения доступа человека к уровню энергии, эквивалентной классу 4, можно рассчитать изменение направления пучка для всех возможных событий. Анализ должен включать как случайные ошибки результата деградации энергии, так и конструктивные нарушения защитного кожуха. Например, если в течение работы или случайной ошибки, введенной робототехникой или другим управляющим механизмом, или при использовании оптики, или направления энергии непосредственно от поверхности защитного кожуха, то:

- случайная ошибка должна быть исключена инженерным усреднением или
- материал кожуха должен выдерживать без деградации его защитных свойств опасную экспозицию лазерной энергии, или
- недостаток приема и эмиссии лазерного излучения через защитный кожух

должен быть предотвращен, прежде чем произойдет деградация.

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

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

Примечание 2 — Оценка защитных возможностей, которая проводится человеком или без его вмешательства, используется для установления уровней безопасности или для регистрации потенциальной деградации кожуха, которая является результатом случайного события или многих событий независимо от классификации аппаратуры.

Допускаются эквивалентные испытания или процедуры.

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

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

**9.2 Измерение лазерного излучения**

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

a) при условиях и методиках, при которых существуют максимальные уровни доступного излучения, в том числе при включении, стабилизировавшемся излучении и при выключении лазерного изделия;

b) при всех устройствах управления и регулировках, перечисленных в инструкциях по эксплуатации и техническому обслуживанию в таком сочетании, когда создается максимальный уровень доступного излучения; измеряют также используемые принадлежности, которые могут повысить опасность облучения (например, коллиматоры, которые поставляются или предлагаются изготовителем для использования с аппаратурой).

Примечание — Это подразумевает любую конфигурацию аппаратуры, которая достигается без использования инструмента или установки блокировки, включая регулировку в процессе работы или текущего ремонта и

установку предупреждений. Например, когда оптические элементы, такие как фильтры, диффузные отражатели или линзы в оптической части лазерного пучка, могут перемещаться без применения инструментов, аппаратура должна испытываться в конфигурации наиболее опасного уровня. Рекомендация производителя не перемещать оптические элементы не означает понижение класса принятой классификации. Классификация базируется на инженерной конструкции аппаратуры и не может основываться на соответствующем образе действия пользователя;

c) для лазерной аппаратуры, не являющейся лазерной системой, при подключении к источнику лазерной энергии, который рекомендуется изготовителем лазерного изделия и который вызывает максимально возможное излучение аппаратуры;

d) в точках пространства, к которым возможен доступ персонала при измерении уровней излучения (например, если при работе может потребоваться удаление частей защитного корпуса и отключение защитной блокировки, измерения следует проводить в точках, доступных для данной конструкции изделия);

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

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

g) классы 1 и 1М.

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

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

Если достижимая эмиссия:

- более чем ДПИ класса 1 при условии 1 или 2 и
- менее чем ДПИ класса 3В при условии 1 или 2, и
- менее чем ДПИ класса 1 при условии 3,

то лазерную аппаратуру относят к классу 1М.

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

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

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

Примечание 3 — Если лазерная аппаратура класса 1М с сильно расходящимся пучком в итоге будет выше уровня энергетической освещенности или будет осуществляться контакт с источником (установкой волокна), то возможен кожный ожог.

h) классы 2 и 2М

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

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

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

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

- более чем ДПИ класса 2 при условиях 1 и 2 и
- менее чем ДПИ класса 2 при условии 3,

то лазерную аппаратуру относят к классу 2М.

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

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

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

Примечание 3 — Если лазерная аппаратура класса 2М с сильно расходящимся пучком в итоге будет выше уровня энергетической освещенности или будет осуществляться контакт с источником (установкой волокна), то возможен кожный ожог;

i) классы 3R и 3В

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

j) класс 4

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

Таблица 4 — Допустимые пределы излучения для лазерной аппаратуры классов 1 и 1М при условии $C_6 = 1$ [a, b]

| Длина волны $\lambda$, нм | Длительность эмиссии $t$, с | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | от $10^{-13}$ до $10^{-11}$ | от $10^{-11}$ до $10^{-9}$ | от $10^{-9}$ до $10^{-7}$ | от $10^{-7}$ до $1{,}8\cdot10^{-5}$ | от $1{,}8\cdot10^{-5}$ до $10^{-5}$ | от $5\cdot10^{-5}$ до $1\cdot10^{-3}$ | от $1\cdot10^{-3}$ до 0,35 | от 0,35 до 10 | от 10 до $10^2$ | от $10^2$ до $10^3$ | от $10^3$ до $10^4$ |
| 180 — 302,5 | $3\cdot10^{10}$ Вт·м$^{-2}$ | | 30 Дж·м$^{-2}$ | | | | | | | | |
| 302,5 — 315 | $2.4\cdot10^4$ Вт | | Тепловая опасность ($t \le T_1$) $7{,}9\cdot10^{-7}$ $C_1$ Дж / Фотохимическая опасность $7{,}9\cdot10^{-7}$ $C_2$ Дж ($t > T_1$) | | | | | | $7.9\cdot10^{-7}$ $C_2$ Дж | | |
| 315 — 400 | | | $7{,}9\cdot10^{-7}$ $C_1$ Дж | | | | | | $7{,}9\cdot10^{-3}$ Дж | | $7{,}9\cdot10^{-6}$ Вт |
| 400 — 450 | $5{,}8\cdot10^{-9}C_6$ Дж | $1{,}0\cdot t^{0,75}$ $C_6$ Дж | $2\cdot10^{-7}$ $C_6$ Дж | $7\cdot10^{-4}\cdot t^{0,75}$ $C_6$ Дж | | | | | $3{,}9\cdot10^{-3}$ Дж | $3{,}9\cdot10^{-5}$ $C_3$ Вт | |
| 450 — 500 | | | | | | | | | $3{,}9\cdot10^{-3}C_3$ Дж и [c] $3{,}9\cdot10^{-4}$ Вт | | |
| 500 — 700 | | | | | | | | | $3{,}9\cdot10^{-4}$ Вт | | |
| 700 — 1050 | $5{,}8\cdot10^{-9}$ $C_4C_6$ Дж | $1{,}0\cdot t^{0,75}$ $C_4$ $C_6$ Дж | $2\cdot10^{-7}$ $C_4$ $C_6$ Дж | $7\cdot10^{-4}\cdot t^{0,75}$ $C_4C_6$ Дж | | | | | $3{,}9\cdot10^{-4}$ $C_4$ $C_7$ Вт | | |
| 1050 —1400 | $5{,}8\cdot10^{-8}$ $C_7$ Дж | $10{,}4\cdot t^{0,75}$ $C_7$ Дж | $2\cdot10^{-6}$ $C_6$ $C_7$ Дж | | | $3{,}5\cdot10^{-3}\cdot t^{0,75}$ $C_6$ $C_7$ Дж | | | | | |
| 1400 — 1500 | $8\cdot10^5$ Вт | | $8\cdot10^{-4}$ Дж | | | $4{,}4\cdot10^{-3}\cdot t^{0,25}$ Дж | $10^{-2}$ $t$ Дж | | $1{,}0\cdot10^{-2}$ Вт | | |
| 1500 — 1800 | $8\cdot10^6$ Вт | | $8\cdot10^{-3}$ Дж | | | | $11{,}8\cdot10^{-2}\cdot t^{0,75}$ Дж | | | | |
| 1800 — 2600 | $8\cdot10^5$ Вт | | $8\cdot10^{-4}$ Дж | | | $4{,}4\cdot10^{-3}\cdot t^{0,25}$ Дж | $10^{-2}$ $t$ Дж | | | | |
| 2600 — 4000 | $8\cdot10^4$ Вт | | $8\cdot10^{-5}$ Дж | $4{,}4\cdot10^{-3}\cdot t^{0,25}$ Дж | | | | | | | |
| 4000 — $10^6$ | $10^{11}$ Вт· м$^{-2}$ | | 100 Дж·м$^{-2}$ | $5600t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$ | | | | | 1000 Вт· м$^{-2}$ | | |

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

[b] ДПИ для длительности излучения менее $10^{-13}$ с устанавливают равным эквивалентной мощности или значению энергетической освещенности ДПИ при $10^{-13}$ с.

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

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

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

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

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

[b] ДПИ для длительности излучения менее $10^{-13}$ с устанавливают равным эквивалентной мощности или значению энергетической освещенности ДПИ при $10^{-13}$ с.

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

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

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

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

Таблица 6 — Допустимые пределы излучения для лазерной аппаратуры классов 2 и 2М

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

Таблица 7 — Допустимые пределы излучения для лазерной аппаратуры класса 3R и $C_6 = 1$ [a, b,c]

<table>
<tr><th rowspan="2">Длина волны<br>λ, нм</th><th colspan="10">Длительность эмиссии $t$, с</th></tr>
<tr><th>от $10^{-13}$ до $10^{-11}$</th><th>от $10^{-11}$ до $10^{-9}$</th><th>от $10^{-9}$ до $10^{-7}$</th><th>от $10^{-7}$ до $1{,}8\cdot10^{-5}$</th><th>от $1{,}8\cdot10^{-5}$ до $5\cdot10^{-5}$</th><th>от $5\cdot10^{-5}$ до $1\cdot10^{-3}$</th><th>от $1\cdot10^{-3}$ до 0,35</th><th>от 0,35 до 10</th><th>от 10 до $10^3$</th><th>от $10^3$ до $3\cdot10^4$</th></tr>
<tr><td>180 — 302,5</td><td colspan="2">$1{,}5\cdot10^{11}$ Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="8">150 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>302,5 — 315</td><td colspan="2" rowspan="2">$1.2\cdot10^5$ Вт</td><td colspan="6">Фотохимическая опасность $4{,}0\cdot10^{-6}$ $C_2$ Дж ($t > T_1$)[c]<br>Тепловая опасность ($t \le T_1$)[c] $4{,}0\cdot10^{-6}$ $C_1$ Дж</td><td colspan="2">$4{,}0\cdot10^{-6}$ $C_2$ Дж</td></tr>
<tr><td>315 — 400</td><td colspan="6">$4{,}0\cdot10^{-6}$ $C_1$ Дж</td><td>$4{,}0\cdot10^{-2}$ Дж</td><td>$4{,}0\cdot10^{-5}$ Вт</td></tr>
<tr><td>400 — 700</td><td>$2{,}9\cdot10^{-8}$ Дж</td><td>$5{,}0\,t^{0{,}75}$ Дж</td><td colspan="2">$1\cdot10^{-6}$ Дж</td><td colspan="3">$5{,}0\cdot10^{-3}$ Вт ($t \ge 0{,}25$ с)<br>($t < 0{,}25$ с) $3{,}5\cdot10^{-3}\,t^{0{,}75}$ Дж</td><td colspan="2">$5{,}0\cdot10^{-3}$ Вт</td></tr>
<tr><td>700 — 1050</td><td>$2{,}9\cdot10^{-8}$ $C_4$ Дж</td><td>$5{,}0\cdot t^{0{,}75}$ $C_4$ Дж</td><td colspan="2">$1\cdot10^{-6}$ $C_4$ Дж</td><td colspan="3">$3{,}5\cdot10^{-3}\cdot t^{0{,}75}$ $C_4$ Дж</td><td colspan="2" rowspan="2">$2{,}0\cdot10^{-3}$ $C_4$ $C_7$ Вт</td></tr>
<tr><td>1050 —1400</td><td>$2{,}9\cdot10^{-7}$ $C_7$ Дж</td><td>$52\cdot t^{0{,}75}$ $C_7$ Дж</td><td colspan="3">$1\cdot10^{-5}$ $C_7$ Дж</td><td colspan="2">$1{,}8\cdot10^{-2}\cdot t^{0{,}75}$ $C_7$ Дж</td></tr>
<tr><td>1400 — 1500</td><td colspan="2">$4\cdot10^6$ Вт</td><td colspan="3">$4\cdot10^{-3}$ Дж</td><td>$2{,}2\cdot10^{-2}\cdot t^{0{,}25}$ Дж</td><td>$5\cdot10^{-2}\,t$ Дж</td><td colspan="2" rowspan="4">$5{,}0\cdot10^{-2}$ Вт</td></tr>
<tr><td>1500 — 1800</td><td colspan="2">$4\cdot10^7$ Вт</td><td colspan="4">$4\cdot10^{-2}$ Дж</td><td>$9\cdot10^{-2}\cdot t^{0{,}75}$ Дж</td></tr>
<tr><td>1800 — 2600</td><td colspan="2">$4\cdot10^6$ Вт</td><td colspan="3">$4\cdot10^{-3}$ Дж</td><td>$2{,}2\cdot10^{-2}\cdot t^{0{,}25}$ Дж</td><td rowspan="2">$5\cdot10^{-2}$ $t$ Дж</td></tr>
<tr><td>2600 — 4000</td><td colspan="2">$4\cdot10^5$ Вт</td><td>$4\cdot10^{-4}$ Дж</td><td colspan="4">$2{,}2\cdot10^{-2}\cdot t^{0{,}25}$ Дж</td></tr>
<tr><td>4000 — $10^6$</td><td colspan="2">$5\cdot10^{11}$ Вт· м$^{-2}$</td><td>500 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="5">$2{,}8\cdot10^4\cdot t^{0{,}25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">5000 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
</table>

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

[b] ДПИ для длительности излучения менее $10^{-13}$ с устанавливают равным эквивалентной мощности или значению энергетической освещенности ДПИ при $10^{-13}$ с.

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

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

<table>
<tr><td rowspan="2">Длина волны $\lambda$, нм</td><td colspan="10">Длительность эмиссии $t$, 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 $1{,}8\cdot10^{-5}$</td><td>от $1{,}8\cdot10^{-5}$ до $5\cdot10^{-5}$</td><td>от $5\cdot10^{-5}$ до $1\cdot10^{-3}$</td><td>от $1\cdot10^{-3}$ до 0,35</td><td>от 0,35 до 10</td><td>от 10 до $10^{3}$</td><td>от $10^{3}$ до $3\cdot10^{4}$</td></tr>
<tr><td>400 — 700</td><td>$2{,}9\cdot10^{-8}\ C_6$ Дж</td><td>$5{,}0\ t^{0{,}75}\ C_6$ Дж</td><td colspan="2">$1\cdot10^{-6}\ C_6$ Дж</td><td colspan="3">($t$ < 0,25 с) $3{,}5\cdot10^{-3}\ t^{0{,}75}\ C_6$ Дж<br>$5{,}0\cdot10^{-3}\ C_6$ Вт ($t$ ≥ 0,25 с)</td><td colspan="3">$5{,}0\cdot10^{-3}\ C_6$ Вт</td></tr>
<tr><td>700 — 1050</td><td>$2{,}9\cdot10^{-8}\ C_4\ C_6$ Дж</td><td>$5{,}0\ t^{0{,}75}\ C_4\ C_6$ Дж</td><td colspan="2">$1\cdot10^{-6}\ C_4\ C_6$ Дж</td><td colspan="3">$3{,}5\cdot10^{-3}\ t^{0{,}75}\ C_4\ C_6$ Дж</td><td colspan="2">($t \le T_2$) $3{,}5\cdot10^{-3}\ t^{0{,}75}\ C_4\ C_6\ C_7$ Дж<br>$3{,}5\cdot10^{-3}\ C_4\ C_6\ C_7\ T_2^{-0{,}25}$ Вт ($t > T_2$)</td></tr>
<tr><td>1050 —1400</td><td>$2{,}9\cdot10^{-7}\ C_6\ C_7$ Дж</td><td>$52\ t^{0{,}75}\ C_6\ C_7$ Дж</td><td colspan="3">$1\cdot10^{-5}\ C_6\ C_7$ Дж</td><td colspan="3">$1{,}8\cdot10^{-2}\ t^{0{,}75}\ C_6\ C_7$ Дж</td><td>$5{,}0\cdot10^{-2}$ Вт</td></tr>
</table>

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

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

Таблица 9 — Допустимые пределы эмиссии лазерной аппаратуры класса 3В

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

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

Таблица 10 — Поправочные коэффициенты и точки прерывания для использования расчетов ДПИ и МВЭ

| Параметр | Спектральный диапазон, нм |
|---|---|
| $C_1 = 5{,}6 \cdot 10^3 \cdot t^{0{,}25}$ | От 180 до 400 |
| $T_1 = 10^{0{,}8(\lambda - 295)} \cdot 10^{-15}$ с | От 302,5 до 315 |
| $C_2 = 30$ | От 180 до 302,5 |
| $C_2 = 10^{0{,}2(\lambda - 295)}$ | От 302,5 до 315 |
| $T_2 = 10 \cdot 10^{[(\alpha - \alpha\ \min)/98{,}5]}$ с[a] | От 400 до 1400 |
| $T_2 = 10$ с для $\alpha < 1{,}5$ мрад | |
| $T_2 = 100$ с для $\alpha < 100$ мрад | |
| $C_3 = 1{,}0$ | От 400 до 450 |
| $C_3 = 10^{0{,}02(\lambda - 450)}$ | От 450 до 600 |
| $C_4 = 10^{0{,}002(\lambda - 700)}$ | От 700 до 1050 |
| $C_4 = 5{,}0$ | От 1050 до 1400 |
| $C_5 = N^{-1/4}$ [a] | От 400 до $10^6$ |
| $C_6 = 1$ | От 180 до 400 и от 400 до $10^6$ |
| $C_6 = 1$ для $\alpha \leq \alpha_{max}$ [b] | От 400 до 1400 |
| $C_6 = \alpha / \alpha_{min}$ для $\alpha_{min} < \alpha \leq \alpha_{max}$ [b] | |
| $C_6 = \alpha_{max} / \alpha_{min} = 66{,}7$ для $\alpha > \alpha_{max}$ [b, c] | |
| $C_7 = 1{,}0$ | От 700 до 1150 |
| $C_7 = 10^{0{,}018(\lambda - 1150)}$ | От 1150 до 1200 |
| $C_7 = 8{,}0$ | От 1200 до 1400 |
| $\alpha_{min} = 1{,}5$ мрад.<br>$\alpha_{max} = 100$ мрад.<br>$N$ — число импульсов, содержащихся между принимаемыми длительностями [см. 8.3, перечисление f и пункт А 3, приложения А). | |

[a] $C_5$ применяют только при длительности импульсов короче 0,25 с.
[b] $C_6$ применяют только к импульсным лазерам и СВ лазерам для тепловых ретинальных пределов.
[c] Максимальное ограничение угла приемника $\gamma_{th}$ должно быть равно $\alpha_{max}$ [но см. 8.4, перечисление d)].

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

Примечание 2 — См. таблицу 11 для конечных апертур и таблицу А.4 (приложение А) для ограничивающих апертур.

Примечание 3 — В формулах таблиц 4 — 9 и в примечаниях длины волн следует выражать в нанометрах, длительность эмиссии $t$ в секундах и $\alpha$ — в миллирадианах.

Примечание 4 — Для длительностей эмиссии, которая падает на барьерный элемент (например, 10с) принимаются значения не более чем указанные в таблицах 4 — 9.

### 9.3 Геометрия измерений

#### 9.3.1 Общее

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

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

Применяют следующие схемы вычислений.

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

b) Для излучения с длинами волн в диапазоне ретинальной опасности от 400 до 1400 нм, когда ДПИ умножают на параметр $C_6$ с другим диаметром, чем 1 для протяженного источника. Это необходимо, чтобы оценить класс аппаратуры (т. е. сравнить значение достижимой эмиссии с соответствующим ДПИ) в выбранном месте пучка. Второй метод для протяженного источника более усложненный, чем неполный метод расчета в перечислении a), что позволяет точнее определить значение достижимой эмиссии.

Примечание — В большинстве случаев наибольшее предельное расстояние принимается 100 мм, которое становится базой для вычислений, но в дальнейшем отбрасывается. Рассчитанное значение угла стягивания на расстоянии 100 мм от выбранной точки будет в этом случае исходным для ДПИ, который превосходит ДПИ на большем расстоянии.

При упрощенных (неполных) вычислениях требовании классификации нет необходимости выполнять усложненные расчеты для протяженного источника (см. 9.3.2) даже не смотря на то, что действительный источник может быть протяженным и действующий коэффициент $C_6$ будет больше 1, и предельное расстояние отличается от расстояния, указанного в таблице 11.

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

#### 9.3.2 Неполные (приближенные) вычисления

Неполные, упрощенные измерения расстояний применяют:

- для источников с длинами волн менее 400 нм и более 1400 нм или
- если множитель $C_6$ равен 1, или
- для фотохимического ретинального предела при значении временной базы длиннее 100 с, когда измеряемый угол приемника не ограничивается (т. е., по крайней мере, больше угла стягивания видимого источника),

- для других пределов, которые не являются ни фотохимическими, ни тепловыми (т. е. не зависят от $C_6$) ретинальными пределами (такие как ДПИ класса 3В).

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

Таблица 11 — Измеряемые диметры апертур и измеряемые расстояния при неполных (упрощенных) вычислениях

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

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

Таблица 12 — Выбранные точки

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

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

### 9.3.3 Условия расчета протяженных источников

Для длин волн диапазона ретинальной опасности (400 — 1400 нм) достижимую эмиссию и ДПИ при классификации следует определять в более ограничивающих положениях:

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

Доступную эмиссию и ДПИ определяют совместно (т. е. они являются парными значениями) в разных положениях внутри пучка, и значения, полученные в ограничительных положениях, используются для

установления класса аппаратуры. Это предполагает, что доступную эмиссию (которую сравнивают с ДПИ) и ДПИ определяют в некотором положении внутри пучка, т. е. угол стягивания видимого источника $\alpha$ (и следовательно $C_6$) определяют в положении конечной диафрагмы, что используется, чтобы установить доступную эмиссию.

Примечание 1 — В случае, где расходимость лазерного пучка менее чем 1,5 мрад, угол стягивания видимого источника $\alpha$ есть $\alpha_{min}$ и определение доступной эмиссии может быть выполнено согласно условиям, указанным в 9.3.1.

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

Примечание 3 — В некоторых более сложных сочетаниях с множеством источников или множеством фокальных точек возможно применять более тщательную технику, такую как построения лучей.

а) Апертурные диаметры

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

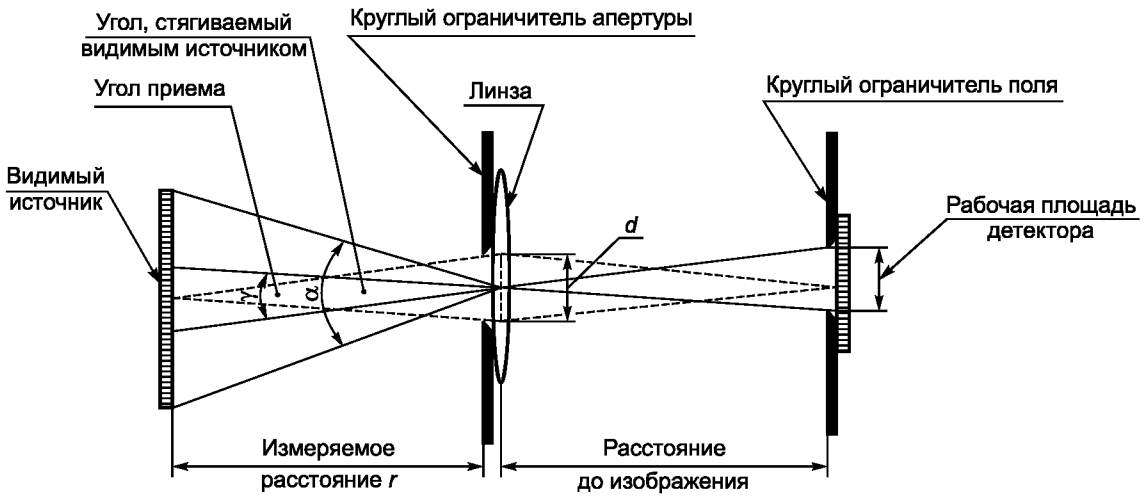
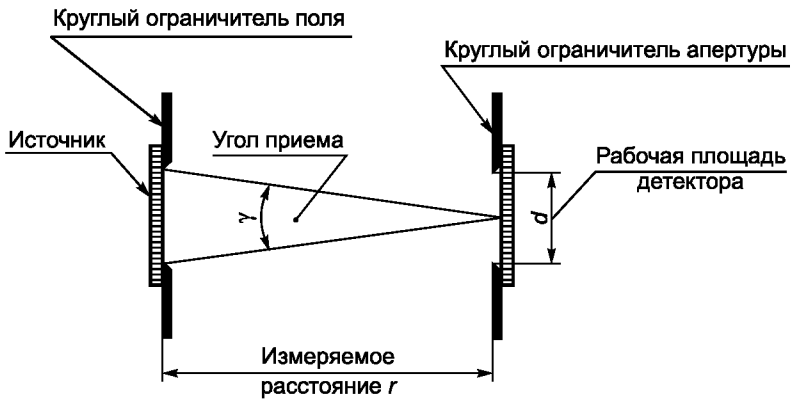



Рисунок 3 — Измерение строго определенного приемного угла воспроизведением изображения видимого источника в плоскости полевой диафрагмы




Примечание — Установка не применяется, когда видимый источник недоступен.

Рисунок 4 — Измерение строго определенного приемного угла размещением круглой апертуры или маски (служит в качестве полевой диафрагмы) рядом с источником

Для условия 2 определение доступной эмиссии, а также угла стягивания видимого источника применяют положительную линзу *L*1 с фокусным расстоянием 35 мм и апертуру диаметром 7 мм, размещенную (см. рисунок 5) на расстоянии 35 мм от выбранной точки, данной в таблице 12. Конечная диафрагма для определения доступной эмиссии, равно как и для определения угла стягивания видимого источника, должна быть размещена на расстоянии 10 мм от линзы *L*1, и диаметр этой диафрагмы должен быть 3,5 мм.

Примечание — Линза *L*1 представляет собой увеличительное стекло с увеличением 7×. Когда расходящийся источник помещен в фокальную точку линзы, излучение становится параллельным, и такое превращение воздействует как на допустимую эмиссию, определяемую с конечной диафрагмой, так и угол стягивания видимого источника. Так как все расстояния фиксированы, то для условия 2 необходимо идентифицировать наиболее ограниченное положение.

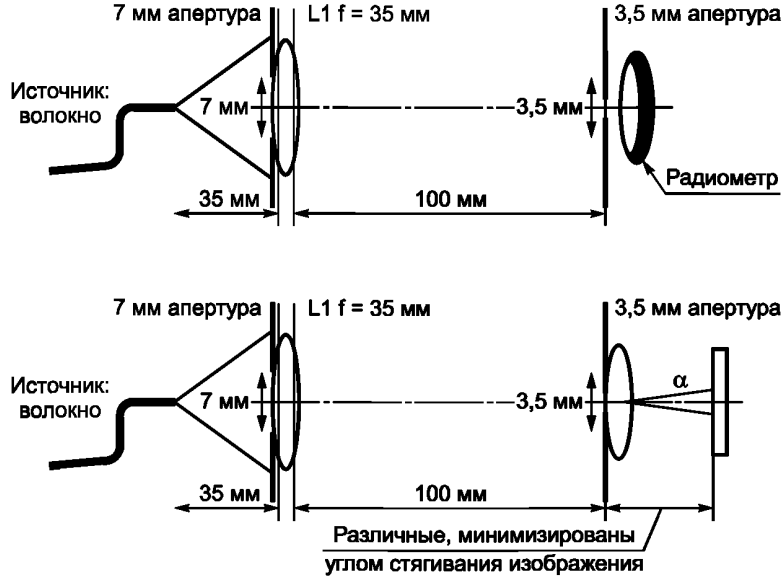



Рисунок 5 — Экспериментальная установка для определения доступной эмиссии (сверху) и угла стягивания видимого источника (внизу) при условии 2, когда источник считается протяженным (т. е. не используют неполный, упрощенный метод)

b) Угол приемника

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

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

1) Фотохимические ретинальные пределы

Для измерения источников и дальнейших вычислений фотохимических пределов (400 — 600 нм) ограничиваются углом приемника $\gamma_{ph}$, данным в таблице 13.

Таблица 13 — Предельный угол приемника $\gamma_{ph}$.

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

Если угол стягивания источника $\alpha$ больше, чем указанный предельный угол приемника $\gamma_{ph}$, то угол приемника будет не больше, чем значение, указанное для $\gamma_{ph}$. Если угол стягивания источника $\alpha$ меньше, чем указанный предельный угол приемника $\gamma_{ph}$, то угол приемника будет полностью охватывать источник, и нет необходимости принимать его во внимание (т. е. угол приемника не будет ограничиваться значением $\gamma_{ph}$).

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

2) Все другие ретинальные пределы

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

**Приложение А**
**(справочное)**

## Значения максимально возможной экспозиции

### А.1 Общие положения

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

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

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

Принимается, что излучения на нескольких длинах волн имеют аддитивный эффект на пропорциональной основе спектральной эффективности в соответствии с МВЭ в таблицах 1—3 при условии, что спектральные области показаны как добавленные символами (o) для глазного и (s) для облучения кожи в матрице (см. таблицу 2). Там, где излучаемые длины волны не показаны как аддитивный эффект, опасности должны быть оценены отдельно.

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

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

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

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

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

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

Таблица А.2 — Максимально возможная экспозиция (МВЭ) сетчатки при прямом воздействии лазерного излучения

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

[a] Угол $\gamma_{ph}$ — ограниченный при измерениях угол приема.

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

Таблица А.3 — Максимально допустимый уровень облучения (МВЭ) кожи лазерным излучением [a,b]

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

**А.2 Ограничивающие апертуры**

При всех измерениях и вычислениях значений экспозиции необходимо использовать соответствующие апертуры. Ограничивающие апертуры — это апертуры, определяемые диаметром круга, в котором осуществляют усреднение облученности или энергетической экспозиции. Значения ограничивающих апертур приведены в таблице А.4.

Для лазеров с повторяющимися импульсами экспозиция в пределах спектрального диапазона от 1400 до $10^5$ нм апертуру 1 мм используют для оценки опасности от одиночного импульса; апертуры 3,5 мм применяют для оценки МВЭ при экспозиции более 10 с.

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

Таблица А.4 — Диаметр апертуры, применяемой для измерения лазерного излучения и энергетической экспозиции

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

**А.3 Лазеры с повторяющимися импульсами и модулируемые лазеры**

При оценке МВЭ для повторяющегося облучения следует применять нижеприведенные методы.

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

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

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

a) облучение от любого одиночного импульса в последовательности импульсов не должно превышать МВЭ для одиночного импульса;

b) средняя облученность для последовательности импульсов длительностью $T$ не должна превышать МВЭ, приведенные в таблицах А.1 — А.3 (приложение А) для одиночного импульса длительностью $T$;

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

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

$$\text{МВЭ}_{\text{последн. имп}} = \text{МВЭ}_{\text{одиночн.}} \cdot C_5.$$

Примечание — Коэффициент $C_5$ применяют только к отдельному импульсу длительностью менее 0,25 с,

где $\text{МВЭ}_{\text{одиночн.}}$ = МВЭ для одиночного импульса,

$\text{МВЭ}_{\text{последн. имп}}$ = МВЭ для любого одиночного импульса в последовательности импульсов,

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

где $N$ — эффективное количество импульсов в последовательности импульсов в пределах границ длительности облучения (когда импульсы проходят в пределах периода $T_i$ (см. таблицу 3); $N$ меньше фактического числа импульсов (см. ниже).

МВЭ, применяемая по требованиям для оценки в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм, равна $T_2$ (см. таблицу 10) или применяют более короткую временную базу. Для длин волн более 1400 нм МВЭ, применяемая по требованиям для оценки, определяется временем 10 с.

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

2) В случаях переменной длительности импульса или интервалов между импульсами

В случаях переменной длительности импульса или интервалов между импульсами применяют метод общего числа импульсов за определенное время. В этом случае МВЭ определяют методом общего количества импульсов за определенное время, когда длительности всех импульсов суммируют за все время экспозиции или $T_2$, как бы мало оно не было. Импульсы длительностью менее $T_i$ устанавливаются длительностью $T_i$. Если в пределах $T_i$ проходят два или больше импульсов, эта группа импульса устанавливается длительностью $T_i$. Для сравнения с МВЭ для определенной длительности суммируют все одиночные импульсы энергетической экспозиции.

### А.4 Условия измерения

#### А.4.1 Общее

Для оценки фактической облученности применяют следующие условия измерений.

#### А.4.2 Ограничивающая апертура

Значения энергетической экспозиции или облученности для сравнения с соответствующим МВЭ усредняют с помощью круглой апертурной диафрагмы. Данные об ограничивающих апертурах см. в таблице А.4. Для облученности глаза в диапазоне волн от 400 до 1400 нм используют минимальное расстояние 100 мм.

#### А.4.3 Угол приема

a) Фотохимические ограничения, относящиеся к сетчатке глаза

Для измерений источников и оценки фотохимических ограничений, относящихся к сетчатке глаза (400 до 600 нм), предельный угол приема $\gamma_{ph}$ равен

$\gamma_{ph}$ =11 мрад для 10 с < $t \le$ 100 с,

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

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

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

Примечание — Для измерений одиночных малых источников, когда $\alpha < \gamma_{ph}$, нет необходимости в точных измерениях. Чтобы получить определенный приемный угол можно не пользоваться другими изображениями источника вне полевой диафрагмы или наложением источника на полевую диафрагму (см. рисунки 3 и 4 соответственно).

b) Все другие ограничения

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

Для определения МВЭ для некруглых источников излучения значение приемного угла ортогонального или линейного источника определяют как среднеарифметическое двух угловых размеров источника. Любой угловой размер, больший $\alpha_{max}$ или меньший $\alpha_{min}$, должен быть ограничен перед вычислениями до $\alpha_{max}$ или $\alpha_{min}$ соответственно. Относящиеся к сетчатке глаза пределы фотохимической опасности не зависят от стягиваемого источником угла, а источник измеряют с углом приема, как определено выше.

**А.5 Лазеры с протяженным источником**

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

Для протяженных источников лазерного излучения (например, при наблюдении диффузного отражения) в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм МВЭ тепловой опасности для глаз увеличивают на поправочный коэффициент $C_6$ при условии, что угол, стягиваемый источником (измеряют в глазу наблюдателя), больше $\alpha_{min}$ ($\alpha_{min}$ = = 1,5 мрад).

Поправочный коэффициент $C_6$ определяют следующим образом:

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

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

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

**Приложение В**
**(справочное)**

## Примеры расчетов

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

| Символ | Единица величины | Определение |
|---|---|---|
| a | м | Диаметр выходящего лазерного пучка |
| ДПИ | Вт, Дж, $Вт·м^{-2}$ или $Дж·м^{-2}$ | Допустимый предел излучения |
| $\alpha$ | рад | Угол, стягиваемый мнимым источником (или диффузное отражение), который видим как точка в пространстве |
| $\alpha_{min}$ | рад | Минимальный угол, стягиваемый источником, для которого применим критерий протяженного источника |
| $C_1, C_2, ..., C_7$ | 1 | Поправочные коэффициенты (см. примечания в таблице 10) |
| PRF | ЧПИ | Частота повторения импульсов, Гц |
| $H$ | $Дж·м^{-2}$ | Энергетическая экспозиция |
| $E$ | $Вт·м^{-2}$ | Интенсивность излучения на определенном расстоянии $r$ от мнимого источника |
| $H_0$ | $Дж·м^{-2}$ | Энергетическая экспозиция для выходного пучка на нулевом расстоянии от мнимого источника |
| $E_0$ | $Вт·м^{-2}$ | Интенсивность излучения для выходного пучка на нулевом расстоянии от мнимого источника |
| $\lambda$ | нм | Длина волны излучения лазера |
| $N$ | 1 | Число импульсов, содержащихся в пределах длительности облучения |
| $P_0$ | Вт | Полная мощность излучения (или поток излучения) на выходе непрерывного лазера или средняя мощность излучения для лазера с повторяющимися импульсами |
| $P_p$ | Вт | Выходная мощность излучения импульса импульсного лазера |
| $\varphi$ | рад | Угол расхождения выходящего лазерного пучка |
| $\pi$ | 1 | Численная константа 3,142 |
| $Q$ | Дж | Полная выходная энергия излучения импульсного лазера |
| $t$ | с | Длительность одиночного лазерного импульса |
| $T$ | с | Общая длительность облучения для последовательности импульсов |
| $T_1, T_2$ | с | Контрольные точки времени (см. таблицу 10) |

**В.2 Классификация лазерных изделий**

**Введение**

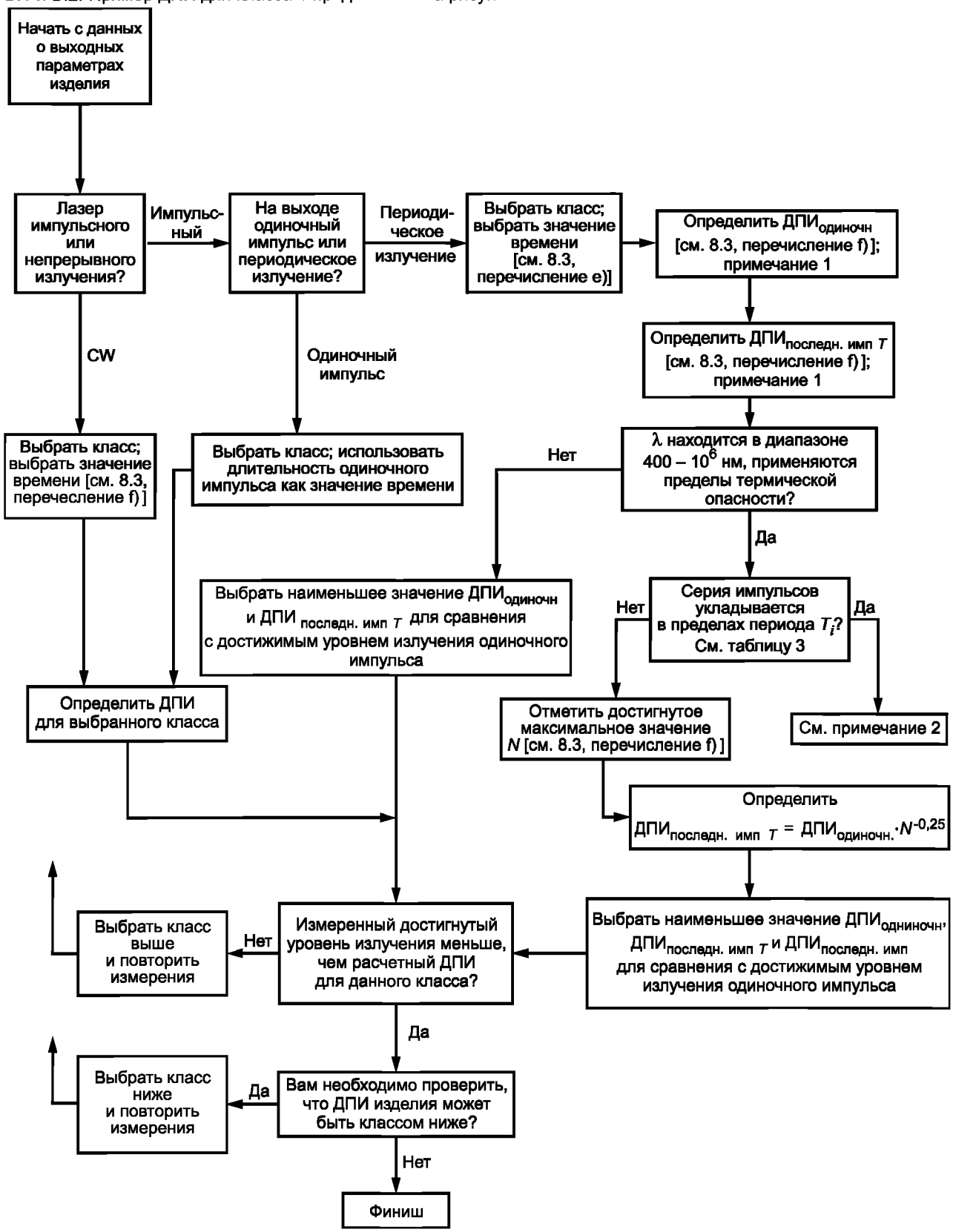
Примеры, представленные в данном приложении, иллюстрируют вычислительные процедуры для классификации лазерных изделий, основываясь на измеряемых параметрах, получаемых при выполнении условий измерений, определенных в настоящем стандарте. Блок-схемы приведены в данном приложении для иллюстрации основных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

Как определено в 8.2 и 8.3, обязанностью изготовителя или уполномоченного им лица является определение класса лазерного изделия. Изделие после изготовления следует классифицировать на основании такого сочетания выходной мощности (мощностей) и длины (длин) волны доступного лазерного излучения во всем диапазоне рабочих режимов и в любой момент времени, которое позволяет отнести изделие к самому высокому соответствующему классу. ДПИ для классов 1 и 1М, 2 и 2М, 3R и 3В (перечисленные в порядке возрастания опасности) приведены в таблицах 4 — 9 соответственно.

Значения четырех используемых поправочных коэффициентов даны в примечаниях к таблице 10 в качестве функций длины волны, длительности излучения, числа импульсов и стягиваемого угла.

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

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



Примечание 1 — $ДПИ_{одиночн.}$ определяют по длительности одиночного импульса.

$ДПИ_{последн. имп\ T}$ вычисляют из $ДПИ_T$, определенного по выбранному значению времени.

Если $ДПИ_T$ выражен в Дж или Дж·м$^{-2}$, то $ДПИ_{последн. имп\ T} = ДПИ_T/N_T$ (в Дж или Дж·м$^{-2}$).

Если $ДПИ_T$ выражен в Вт или Вт·м$^{-2}$, то $ДПИ_{последн. имп\ T}$ = ДПИ $_T$/частоту повторения импульсов, в Гц (Дж или Дж·м$^{-2}$),

где $T$ — выбранное значение времени;

$N_T$ — число импульсов за время $T$.

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

Рисунок В.1 — Справочная блок-схема для классификации лазерных изделий по выдаваемым выходным характеристикам

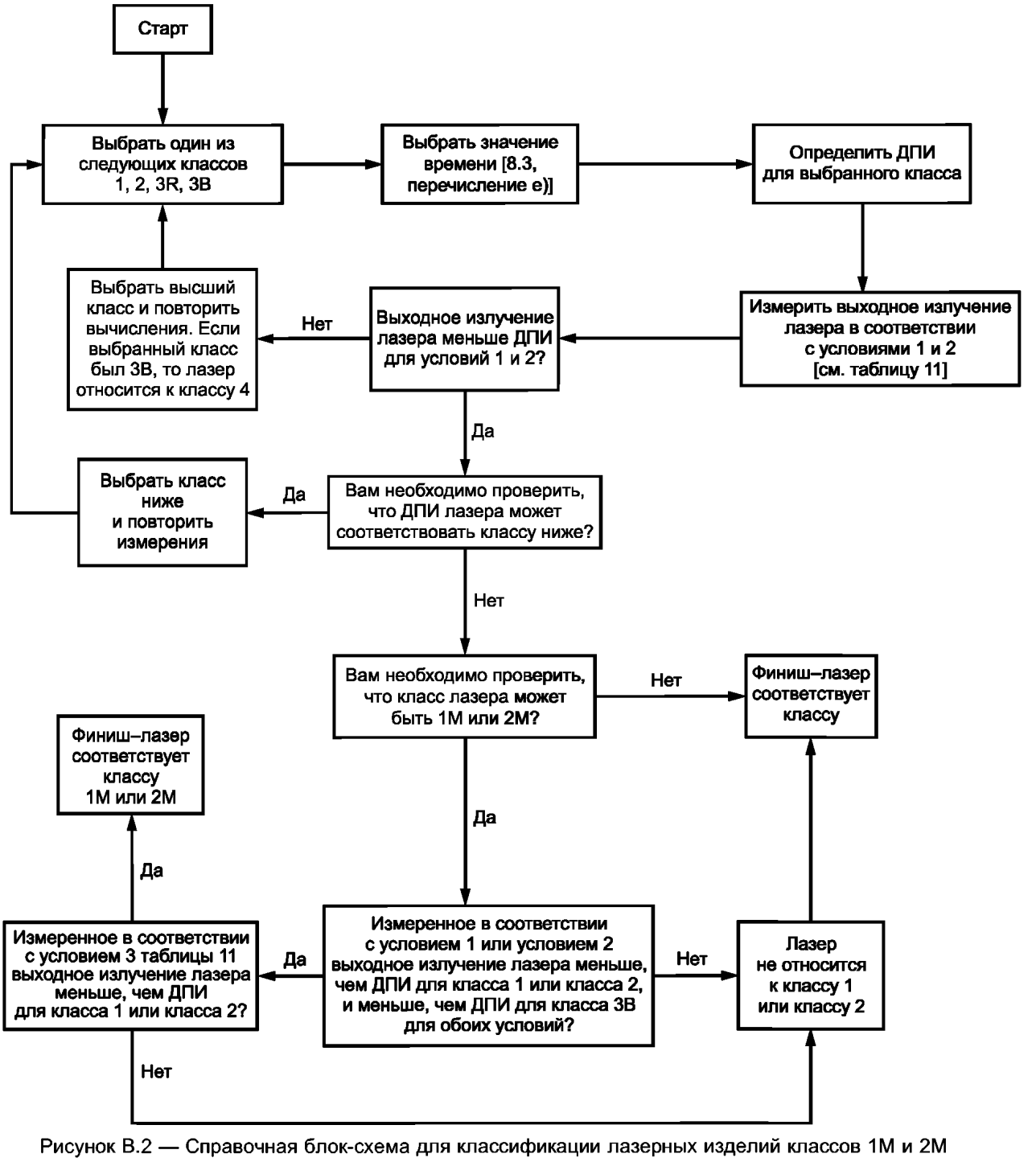



Рисунок В.2 — Справочная блок-схема для классификации лазерных изделий классов 1M и 2M

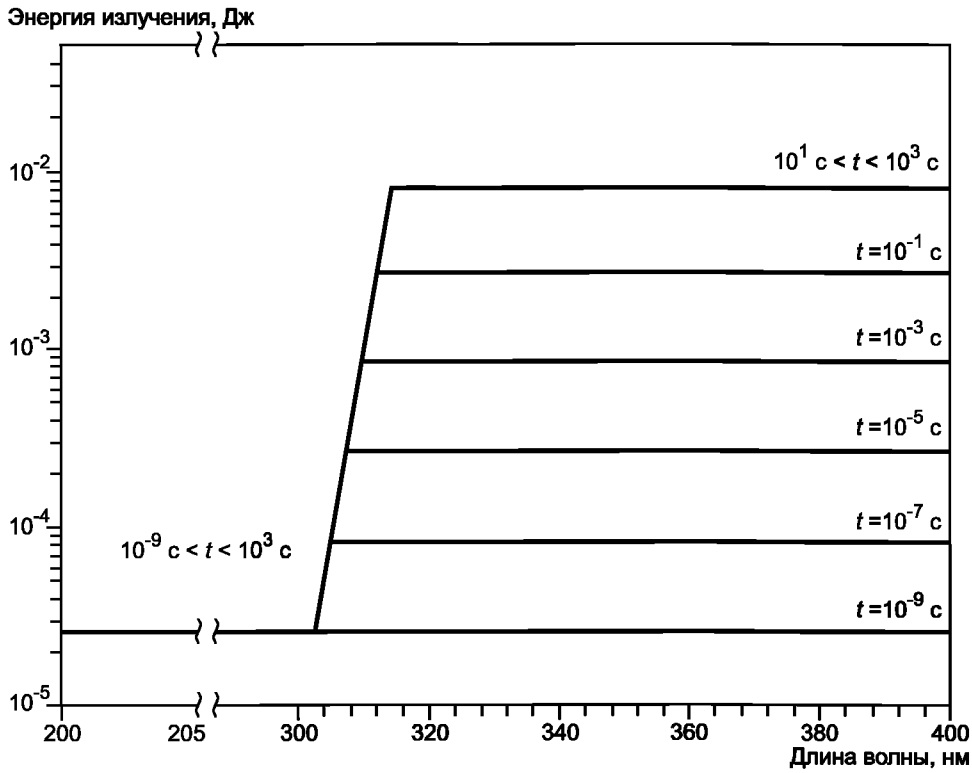



Рисунок В.3 — ДПИ для ультрафиолетового лазера класса 1 для длительностей излучения во временном диапазоне от $10^{-9}$ до $10^{3}$.

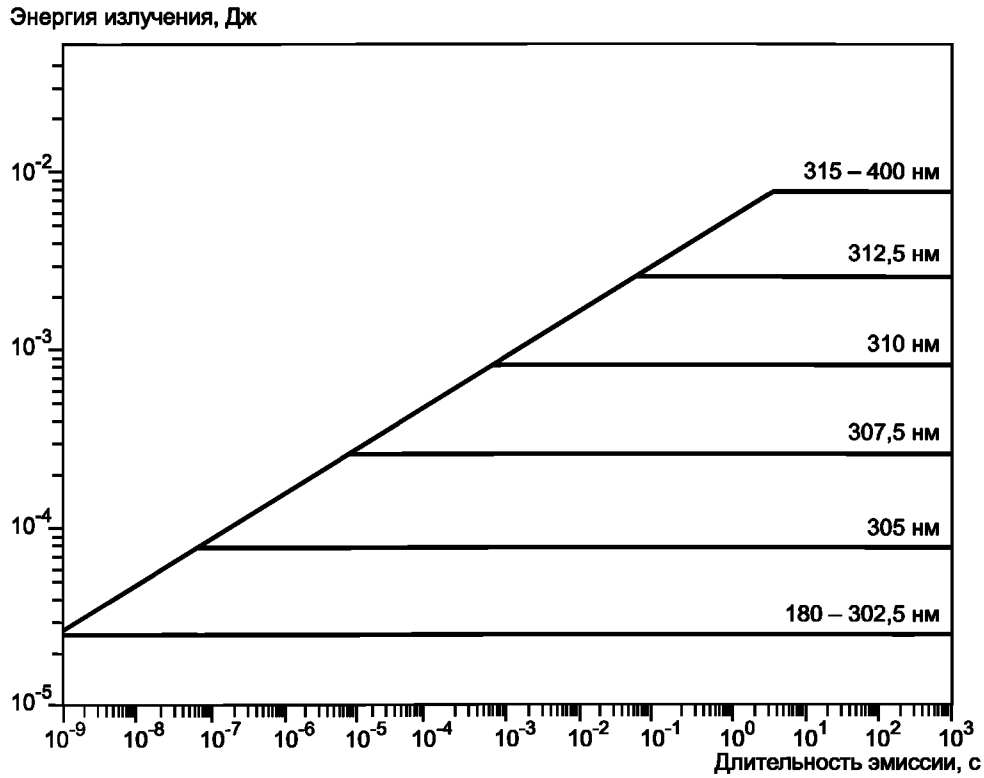



Рисунок В.4 — ДПИ для излучающего ультрафиолетового лазера класса 1 во временном диапазоне от $10^{-9}$ до $10^{3}$ с для определенных длин волн

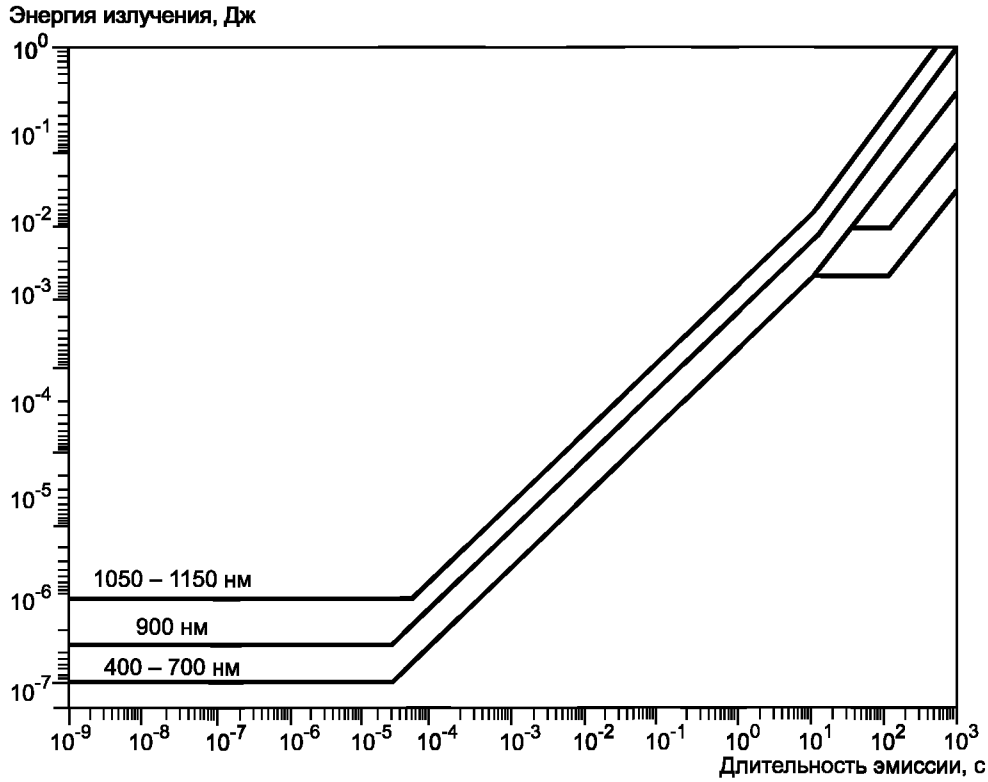



Рисунок В.5 — ДПИ для лазера класса 1, излучающего в видимом спектре и в установленном инфракрасном диапазоне (для случая $C_6 = 1$).

В.3 Примеры

Пример В.3.1

Классифицировать гелиево-неоновый лазер непрерывного излучения ($\lambda$ = 633 нм) с выходной мощностью 50 мВт, диаметром пучка 3 мм и расходимостью пучка

1 мрад.

Решение

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

Выбираем лазер класса 3В и время 100 с, не смотря на то, что выходное излучение лазера находится в видимом диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, а временной интервал 0,25 с не относится к классу 3В и преднамеренное наблюдение невозможно. Для класса 3В в таблице 9 находим, что ДПИ = 0,5 Вт.

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

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

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

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

Пример В.3.2

Лазер непрерывного излучения на светодиоде мощностью 12 мВт ($\lambda$ = 900 нм) без коллимирующих линз имеет расходимость пучка 0,5 рад и имеет следующие параметры для измерений по условиям, указанным в таблице 11. Принимаем, что стягиваемый источником угол на расстоянии 100 мм менее чем $\alpha_{min}$.

Условие 1: < 20 мкВт через ограничивающую апертуру 50 мм и 2 м от диодного ЧИПа.

Условие 2: 1,4 мВт через ограничивающую апертуру 7 мм и 70 мм от диодного ЧИПа.

Условие 3: 0,7 мВт через ограничивающую апертуру 7 мм и 100 мм от диодного ЧИПа.

Решение

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

Выбираем лазер класса 1 и время 100 с [см. 8.3 перечисление e)]; поэтому для лазера с $\alpha \le 1{,}5$ мрад и $t > T_2$ [$T_2$ = 10 с для $\alpha \le 1{,}5$ мрад (см. таблицу 10)] ДПИ определяют по таблице 4 следующим образом:

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

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

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

Пока лазер удовлетворяет требованиям для класса 1, классификация для условий 1 и 3, но не соответствует условию 2 для класса 1, без превышения ДПИ для класса 3В он соответствует классу 1М.

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

Пример В.3.3

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

Энергия выходного импульса составляет 100 мДж для $\lambda$ = 1, 060 нм.

Энергия выходного импульса составляет 25 мДж для $\lambda$ = 530 нм.

Длительность импульса — 25 нс.

Выходной диаметр апертуры — 5 мм.

Угол расходимости пучка на каждой длине волны < 1 мрад.

Решение

Принимаем, что лазер эмитирует один импульс за принятый временно́й интервал 100 с, тогда длительность импульса можно использовать как длительность излучения. Выбираем лазер класса 3В. В таблице 9 установлен ДПИ:

для $\lambda$ = 1, 060 нм $\quad$ $\text{ДПИ}_{1060}$ = 0,15 Дж = 150 мДж;

для $\lambda$ = 530 нм $\quad$ $\text{ДПИ}_{530}$ = 0,03 Дж = 30 мДж.

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

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

получаем:

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

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

Пример В.3.4

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

Решение

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

В таблице 7 ДПИ для класса 3R равен 5, 000 Вт·м$^{-2}$. Заметим, что в таблице 11 дано ограничение апертуры для 100 с излучения в 3,5 мм, но диаметр пучка лазера составляет только 2 мм. Для порядка вычисляем излучение пучка ($E_0 = P_0$ / площадь), можно использовать диаметр пучка больше действующего или ограничить апертуру, тогда

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

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

Пример В.3.5

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

В перечислении f) 8.3 подробно изложены условия измерений для лазеров с повторяющимися импульсами, которые приведены ниже.

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

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

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

$ДПИ_{одиночн.} = 0{,}03$ Дж;

b) В таблице 9 для $T = 100$ с $ДПИ_T = 0{,}5$ Вт.

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

$$ДПИ_{последн.имп\,T} = \frac{ДПИ_T}{ЧПИ} = \frac{0{,}5}{500} = 1 \cdot 10^{-3}\ Дж;$$

c) $ДПИ_{последн.\ имп} = ДПИ_{одиночн.} \cdot C_5 = ДПИ_{одиночн.} \cdot N^{-0{,}25}$, но $N$ ограничено числом импульсов, проходящих за период $T_2 = 10$ с для $\alpha \le \alpha_{min}$ (см. таблицу 10).

Поэтому:

$$ДПИ_{последн.\ имп} = 0{,}03\ \ (10 \cdot 500)^{-0{,}25}\ Дж,$$

$$ДПИ_{последн.\ имп} = 3{,}57 \cdot 10^{-3}\ Дж.$$

Наибольшее ограничение для трех значений составляет

$$ДПИ_{последн.\ имп\ T} = 1 \cdot 10^{-3}\ Дж.$$

Энергию лазера за импульс, $Q$, вычисляют по формуле

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

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

Достигаемая энергия излучения за импульс превышает $ДПИ_{последн.\ имп\ T}$, лазер превышает ДПИ для класса 3B, поэтому он должен быть отнесен к классу 4.

**Приложение С**
**(справочное)**

## Описание классов и соответствующих потенциальных опасностей

**С.0 Общие замечания**

Данное приложение содержит описание классов, которым соответствуют потенциальные опасности.

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

**С.1 Введение**

Классификация развивалась так, чтобы исключить опасности для пользователей лазерными изделиями и определить необходимые контрольные измерения. Классификация лазеров относит к потенциальным опасностям возможное излучение лазера и соответствующее повреждение кожи и глаз и не относится к другим потенциальным опасностям, таким как электрические, механические или химические или опасности от вторичного оптического излучения. Основой классификации является повышение риска поражения с повышением мощности, превышающей базис — класс 1, и более точное описание риска от потенциального облучения на малых расстояниях от лазера. Опасная зона может сильно отличаться для разных лазеров одного класса. Потенциальная опасность может значительно снижаться дополнительными защитными мерами, включая дополнительный инженерный контроль, такой как ограждения.

**С.2 Описание классов лазеров**

Класс 1

Лазеры, безопасные при любых обоснованно предсказуемых условиях работы, включая использование оптических инструментальных средств для прямого наблюдения пучка как невооруженным глазом, так и с использованием оптических инструментов (лупы или бинокля). К классу 1 также относятся лазеры большой мощности, полностью закрытые так, что исключаются потенциальные опасности излучения при длительном использовании (закрытый лазер). Непосредственное наблюдение пучка лазера класса 1, который излучает энергию в видимом диапазоне, может вызвать эффект потери или притупления зрения при низкой освещенности внешней среды.

Класс 1М

Лазерное изделие является безопасным при длительном использовании, включая непосредственное наблюдение пучка как невооруженным глазом, так и с использованием оптических инструментов (лупы или бинокля). МВЭ может быть превышен, облучение может вызвать повреждение глаз с одним или несколькими оптическими инструментами (глазные лупы или бинокли) при следующих условиях:

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

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

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

Класс 2

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

Следующие факторы способствуют предотвращению повреждений при корректно предсказуемых условиях:

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

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

Однако причиной мгновенного ослепления или остаточного изображения может быть пучок лазера класса 2 особенно при низкой освещенности внешней среды. Это может быть непрямая общая опасность последствий в результате временных нарушений зрения из-за раздражающих реакций. Такое нарушение зрения может быть особенно связано с исполнением критических операций, работой с машинами или с высоким напряжением или в движении.

Пользователь предупреждается маркировкой не смотреть пристально в пучок, т.е. применить активные предупреждающие реакции движением головы или закрыванием глаз, и исключить продолжительное непосредственное наблюдение пучка.

Класс 2М

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

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

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

Однако пучок лазера класса 2М может быть мгновенного ослепления и остаточного изображения особенно при низкой освещенности внешней среды. Это может быть непрямая общая опасность последствий отказа в результате временных нарушений зрения из-за раздражающих реакций. Такое нарушение зрения может быть особенно связано с исполнением критических операций, работой с машинами или с высоким напряжением, или в движении.

Пользователь предупреждается маркировкой не смотреть пристально в пучок, т.е. применить активные предупреждающие реакции движением головы или закрыванием глаз, и исключить продолжительное непосредственное наблюдение пучка.

Класс 3R

Лазеры, излучение которых может превысить МВЭ при непосредственном наблюдении пучка, однако риск повреждения в большинстве случаев ниже, поскольку ДПИ для лазеров класса 3R только в пять раз выше, чем ДПИ для лазеров класса 2 (в видимом диапазоне) или лазеров класса 1 для других длин волн. Риск повреждения повышается с длительностью облучения, и облучение опаснее при преднамеренном облучении глаз. Поскольку риск незначителен, некоторые производители применяют требования и контрольные измерения класса 3В.

Следующие факторы способствуют предотвращению повреждений при корректно предсказуемых условиях:

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

Класс 3В

Лазеры, непосредственное наблюдение пучка которых вызывает облучение (например, в пределах НОГЗ), включая кратковременное облучение. Непосредственное наблюдение диффузного отражения неопасно.

Лазеры класса 3В, излучение которых приближается к ДПИ для класса 3В, могут вызвать незначительное поражение кожи и даже вызвать воспламенение пожароопасных материалов.

Однако это вероятно в том случае, если пучок малого диаметра или сфокусирован.

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

Класс 4

Лазеры, излучение которых при непосредственном наблюдении может предоставлять опасность или вызывать поражение кожи. Излучение таких лазеров может создать опасность пожара.

Замечание по номенклатуре

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

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

Классификационные тесты определяют или «наихудший случай», или «нижний класс» (т.е. класс 1) и ограничивают применение лазеров так, что нет опасности для глаз или кожи даже при обоснованно ожидаемых

событиях. Поэтому лазеры класса 3В или класса 4 могут оформляться таким образом, что их обычное использование и эксплуатация безопасны, а опасность может стать возможной в наихудшем случае. Для случая, когда лазер имеет защитный корпус (который соответствует МЭК 60825-4), но не достигает уровня класса 1:

- корпус не соответствует требованиям настоящего стандарта на длительный период (меняется для машин в соответствии с МЭК 60825-4 и на небольшое время может быть использован);

- не полностью обеспечивается безопасность для окружающей среды, где может быть человек;

- не обеспечивается автоматическая проверка при прохождении людей в огражденную зону. (Однако в контролируемой окружающей среде это возможно заменить на организационные меры безопасности, индивидуальные ключи, которые предотвращают открывание дверей, когда кто-либо находится позади кожуха, который не влияет на классификацию, но является процедурой, которая увеличивает уровень безопасности пользователя.)

В случаях, когда опасность связана с лазерами классов 3В и 4, организационные меры безопасности вблизи кожуха могут быть достаточными. Обычно для лазерных систем, не находящихся под крышей или в ситуациях, когда возможен ожог тела, могут оказаться достаточными организационные меры.

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

**С.3 Ограничения схемы классификации**

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

a) ДПИ различных классов;

b) требования к измерениям на больших расстояниях измерения, диаметр апертуры и угол приема, отражающие излучения. Эти требования к измерениям для имеющихся лазерных изделий определяются допустимой эмиссией, которую сравнивают с ДПИ при определении класса;

c) условия тестирования, в соответствии с которыми определяют ДПИ и достигнутое излучение. Сюда можно включать принимаемые во внимание обоснованно допустимые случаи, т.е. эксплуатация, обслуживание требуют четкости. Использование принадлежностей и различных приспособлений, которые можно использовать без согласования.

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

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

- большой диаметр коллимированного пучка лазеров классов 1, 2 или класса 3R, который наблюдают в большие телескопы;

- сильно расходящийся пучок лазеров классов 1, 2 или класса 3R, который наблюдают с лупами с большим усилением;

- бинокль или телескопы с усилением меньше, чем $7^{\times}$. В этом случае для условия 1 усиление источника с углом $\alpha$, который может быть применен [см. 8.3 c)], или, альтернативно, уменьшение приемного угла [см. 9.3.2 b)] должно соответствовать реальному фактору усиления, меньше, чем $7^{\times}$;

- наблюдение пучков с телескопами;

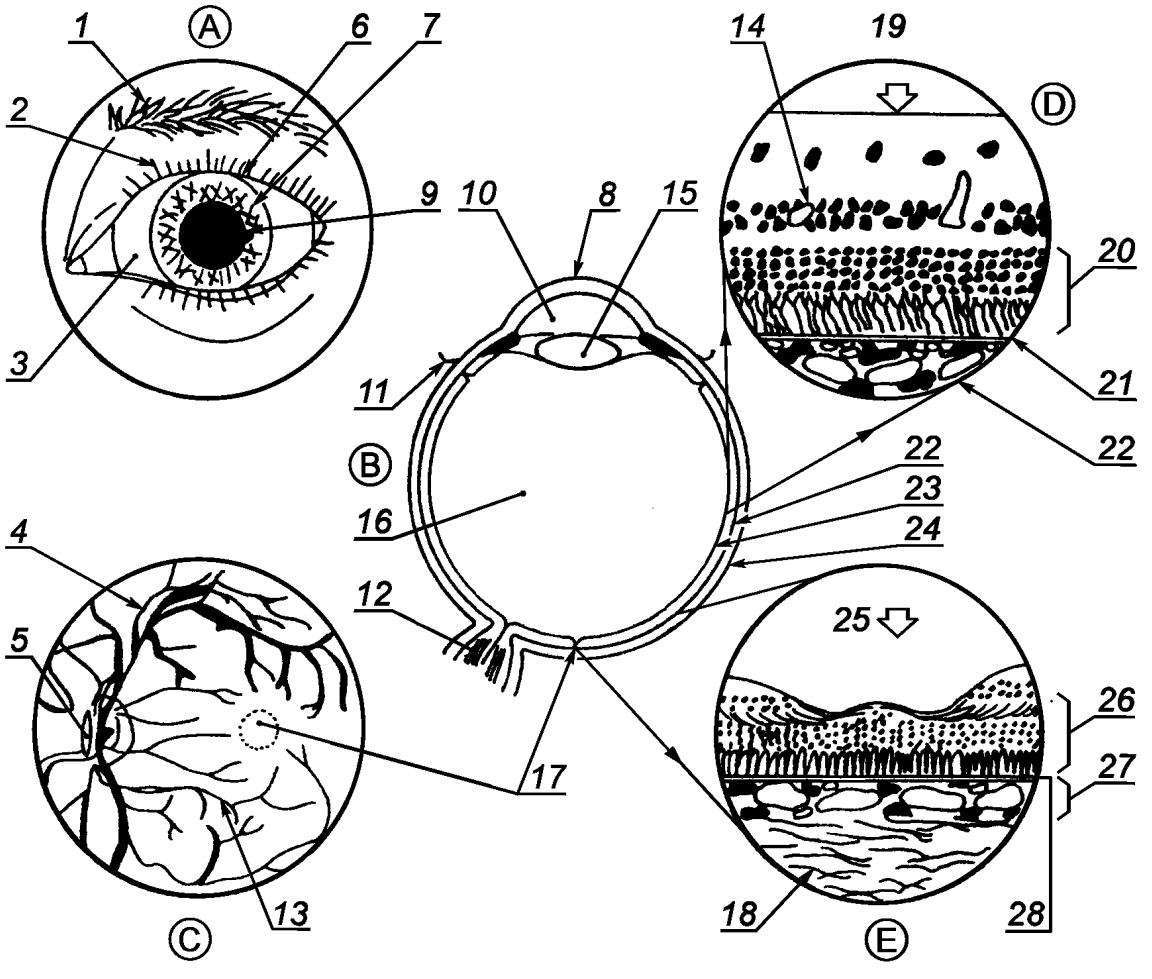
- двух условий, которые могут быть вероятны, т.е. каждое условие в отдельности не должно дать излучение выше ДПИ, но оба могут быть в одно время. Когда эти условия, как ожидается, произойдут с относительно высокой вероятностью, тогда вероятность для двойной ошибки могла бы быть достаточно высока, и это необходимо рассмотреть в процессе проектирования.

**Приложение D**
**(справочное)**

## Медицинские аспекты

### D.1 Анатомия глаза

На рисунке D.1 показаны анатомические части строения человеческого глаза




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

Рисунок D.1 — Анатомия глаза

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

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

В области C показана внутренняя полость неповрежденного глаза, видимая через офтальмоскоп. Этот прибор направляет пучок света через зрачок и освещает внутреннюю полость глаза, позволяя видеть глазное дно. Оно имеет красноватый оттенок, однако хорошо видны главные сосуды сетчатки. Другими важными частями являются беловатый оптический диск и центральная ямка. Центральная ямка представляет собой небольшое углубле-

ние в сетчатке, которое может быть более интенсивно окрашено, чем окружающая сетчатка; она является областью наиболее острого зрения.

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

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

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

**D.2 Влияние лазерного излучения на биологическую ткань**

**D.2.1 Общие положения**

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

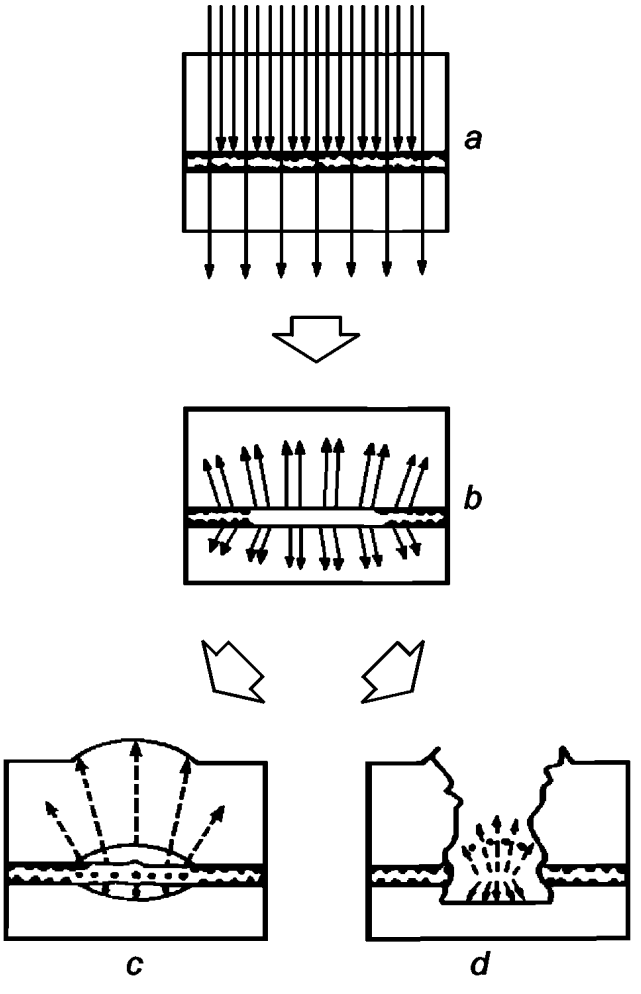
При экспозициях, выше пороговых, доминирующее воздействие связано с длительностью импульса облучения. Так при увеличении длительности импульса основными эффектами при следующих длительностях воздействия являются:

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

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

Тепловые эффекты

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




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

Рисунок D.2 — Схема повреждения биологических структур лазером

Фотохимические эффекты

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

Нелинейные эффекты

Лазеры с короткими импульсами, характеризующиеся высокой пиковой мощностью (например, с модулированной добротностью или с синхронизацией мод), могут вызывать повреждение ткани при различных комбинациях механизмов передачи энергии. Энергия воздействует на биологическую мишень в течение очень короткого времени, и поэтому создается высокая облученность. Ткани мишени нагреваются так быстро, что жидкие компоненты клеток преобразуются в газ. В большинстве случаев эти фазовые изменения происходят так быстро и имеют такой взрывной характер, что клетки разрываются. Возникшие перепады давления создают вокруг ожогового центра круглую зону разрыва. Подобные перепады давления могут создаваться тепловым расширением и приводить к травмам тканей, удаленных от поглощающих слоев, в результате объемного физического смещения.

При облучении с субнаносекундной длительностью приблизительно от 10 пс до 1 нс вследствие самофокусировки глаз в них концентрируется энергия коллимированного пучка лазера, что приводит к понижению порога безопасной экспозиции. Также проявляются другие нелинейные оптические механизмы, которые играют роль в повреждении сетчатки глаза в субнаносекундном диапазоне.

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

**D.2. 2 Опасность повреждения глаза**

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

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

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

<table>
<tr><th>Спектральный диапазон МКО [a]</th><th>Глаз</th><th>Кожа</th></tr>
<tr><td>Ультрафиолетовый С<br>(180 — 280 нм)</td><td rowspan="2">Фотокератит</td><td rowspan="2">Эритема<br>(солнечный ожог).<br>Процессы ускоренного старения кожи.<br>Увеличение пигментации</td></tr>
<tr><td>Ультрафиолетовый В<br>(280 — 315 нм)</td></tr>
<tr><td>Ультрафиолетовый А<br>(315 — 400 нм)</td><td>Фотохимическая катаракта</td><td rowspan="2">Потемнение пигмента.<br>Фоточувствительные реакции</td></tr>
<tr><td>Видимый<br>(400 — 780 нм)</td><td>Фотохимическое и тепловое повреждение сетчатки</td></tr>
<tr><td>Инфракрасный А<br>(730 — 1400 нм)</td><td>Катаракта, ожог сетчатки</td><td rowspan="3">Ожог кожи</td></tr>
<tr><td>Инфракрасный В<br>(1,4 — 3,0 мкм)</td><td>Отек, катаракта,<br>ожог роговой оболочки</td></tr>
<tr><td>Инфракрасный С<br>(3,0 мкм — 1 мм)</td><td>Только ожог роговой оболочки</td></tr>
<tr><td colspan="3">[a] Спектральные диапазоны, определенные МКО, следует использовать для описания биологических изменений, при этом надо учитывать, что они могут не полностью соответствовать спектральным диапазонам в таблицах значений МВЭ.</td></tr>
</table>

Если предположить, что возрастание составляет $5 \cdot 10^5$, то пучок, дающий на роговой оболочке освещенность 50 Вт·м$^{-2}$, создает на сетчатке освещенность $1 \cdot 10^7$ Вт·м$^{-2}$. В настоящем стандарте предполагается, что зрачок диаметром 7 мм представляет собой предельную апертуру, что при облучении глаз является самым плохим случаем, при этом зрачок измерялся у людей молодого возраста.

Как исключение, допускается, что при определении предела экспозиции для защитных ограничений против фоторетинита при наблюдении яркого видимого света (400 — 700 нм) лазера за период, превышающий 10 с, применяют 7-мм зрачок. В этом случае 3-мм зрачок принят как условие наихудшего случая; однако усреднение измерений энергетической освещенности до апертуры 7 мм считается приемлемым для физиологических движений зрачка в пространстве.

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

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

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

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

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

Данные исследований движения глаз, относящихся к сетчатке, и исследований тепловых повреждений были объединены для получения контрольной точки времени $T_2$, за которое движения глаз компенсируют увеличенный теоретический риск теплового повреждения при повышенной облученности сетчатки глаза в сравнении с неподвижным глазом. Так как тепловой порог повреждения, выраженный как мощность излучения, проникающего в глаза, понижается при увеличении длительности воздействия $t$ при повышении мощности до уровня 0,25 (т. е. понижение только на 44 % при десятикратном увеличении длительности), то только умеренное увеличение воздействия на сетчатку глаза может компенсировать увеличение риска для бóльшего времени наблюдения. Постоянно увеличивающаяся область воздействия излучения на сетчатке глаза, как результат значительных движений глаз при увеличении времени наблюдения, увеличивает компенсационное время, необходимое для уменьшения воздействия тепловой диффузии в больших протяженных источниках.

Таким образом, для увеличения стягиваемого угла $\alpha$ контрольная точка $T_2$ увеличивается с 10 с для малых источников до 100 с для больших источников. При времени более 100 с не происходит дальнейшего увеличения

риска теплового поражения при малых и средних размерах изображения. При определении пределов и условий измерения учитывают эти переменные с некоторым упрощением, приводящим к консервативному определению риска. Предполагается, что относящиеся к сетчатке глаза тепловые пороги повреждения изменяются обратно пропорционально размеру изображения (стабилизированному) приблизительно от 25 мкм до 1 мм (1 мкм соответствует угловому размеру 59 мрад); при размере изображения свыше 1,7 мм (соответствует угловому размеру свыше 100 мрад) зависимости нет.

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

Расстояние наблюдения

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

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

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

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

**D.2.3 Опасность повреждения кожи**

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

Пигментация, изъязвление кожи, появление на ней шрамов и повреждение расположенных под кожей органов могут происходить при чрезвычайно высокой облученности. Установлено, что скрытые или кумулятивные воздействия лазерного излучения не являются преобладающими. Однако отдельные исследования показали,

что при определенных условиях небольшие участки тканей человека могут приобрести повышенную чувствительность к повторяющимся местным облучениям, в результате чего уровень облучения для минимальных реакций изменяется, а реакции тканей при таком низком уровне облучения становятся более сильными.

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

**D.3 Максимально возможная экспозиция и усредненная облученность**

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

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

| Спектральный диапазон, $\lambda$ | Время экспозиции | Диаметр апертуры | Комментарии и обоснование для диаметра апертуры |
|---|---|---|---|
| 180 — 400 нм | $t < 3 \cdot 10^4$ с | 1 мм | Разброс в эпителии роговицы и в слое роговой оболочки до 1 мм; предположение о неподвижности облучаемой ткани для условия непрерывного облучения приемлемо для МЭК. Однако из-за движения глаз при продолжительной экспозиции рекомендуется 3,5 нм |
| 400 — 600 нм фотохимический | $t > 10$ с | 3 мм для определения МВЭ, но для измерений используют 7 нм | Боковое движение зрачка диаметром 3 мм в пространстве воспроизводит 7-мм апертуру, усредненную для непрерывного излучения лазера, применимо для механизма фотохимического повреждения |
| 400 — 1400 нм термический | Любое время $t$ | 7 мм | Диаметр расширенного зрачка и боковое движение зрачка для непрерывного излучения лазера |
| $\lambda > 1400$ нм | $t < 0{,}35$ с | 1 мм | Тепловая диффузия в слое роговицы глаза и тканях эпителия |
| $\lambda > 1400$ нм | 0,35 с $< t <$ 10 с<br>$t > 10$ с | $1{,}5\, t^{3/8}$ мм<br>3,5 мм | Большая тепловая диффузия и движение «ткани-мишени» (при облучении) относительно пучка после 0,35 с |
| $10^5 \le \lambda \le 10^6$ нм | Любое время $t$ | 11 мм | Апертура больше, чем предел дифракции (т. е., ~$10^{\times}$) для точных измерений |

**D.4 Ссылочные документы**

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

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

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

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

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

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

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

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

**Приложение Е**
**(справочное)**

## Максимально возможная экспозиция и допустимый предел излучения, выраженные как излучение

### Е.1 Основные положения

Для больших протяженных источников анализ потенциальных опасностей воздействия излучения на сетчатку глаза легче при использовании излучения источника. Это приложение обеспечивает пользователей отдельными таблицами и графиками максимально допустимого излучения, основанного на ДПИ для классов 1 и 1М и соответствующих значениях МВЭ, относящихся к сетчатке глаза в диапазоне длин волн 400 — 1400 нм для того, чтобы рассмотреть условия, когда стягиваемый угол мнимого источника достигнет значения большего, чем $\alpha_{max}$. Согласно закону сохранения энергии все протяженные диффузные источники с уровнем излучения ниже уровня, указанного в таблице Е.1 или на рисунке Е. 1, не могут превысить ДПИ класса 1 независимо от оптики, размещенной перед диффузным источником.

### Е.2 Значения излучения

Значения излучения в таблице Е.1 базируются на МЭК/ICNIRP МВЭ уровнях. Поскольку значения МВЭ обычно выражают в единицах энергетической экспозиции (Дж·м$^{-2}$) или излучения (Вт·м$^{-2}$), было необходимо преобразовать значения МВЭ к излучению (Вт·м$^{-2}$·ср$^{-1}$). Тогда значения излучения рассматривают как функцию длины волны (см. Е.3).

В таблице Е.1 представлены допустимые значения излучения как функция длины волны для времени воздействия 100 с, где стягиваемый угол $\alpha$ не менее 100 мрад. Показаны наиболее ограничивающие пределы (фотохимические или тепловые).

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

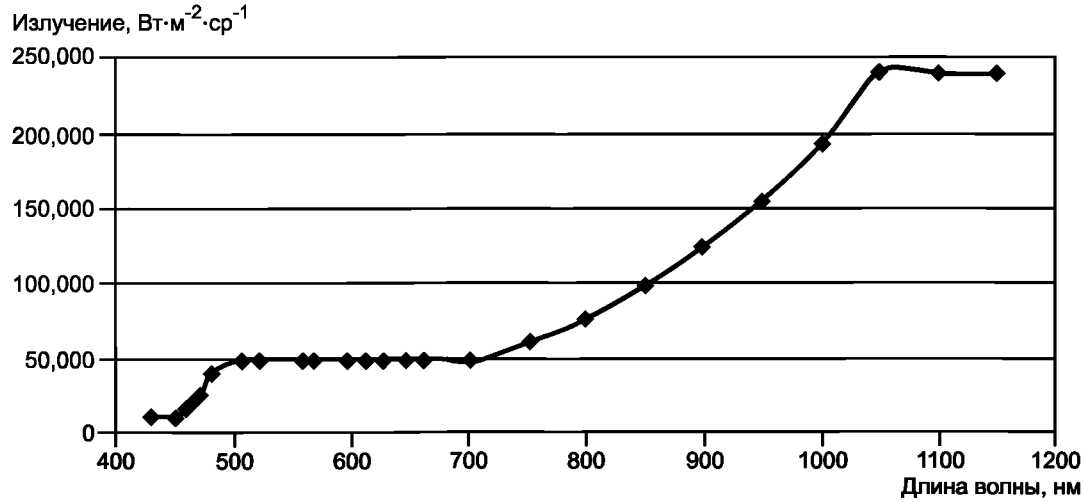



Рисунок Е.1 — Излучение как функция от длины волны

Таблица Е.1 — Максимальные значения излучения диффузного источника для лазера класса 1

| Длина волны, нм | Излучение, Вт · м$^{-2}$ ·ср$^{-1}$ | Излучение, Вт · см$^{-2}$ ·ср$^{-1}$ | Длина волны, нм | Излучение, Вт · м$^{-2}$ ·ср$^{-1}$ | Излучение, Вт · см$^{-2}$ ·ср$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 430 | *10 000* | 7,00 | 505 | 48 316 | 4,83 |
| 450 | *10 000* | 7,00 | 520 | 48 316 | 4,83 |
| 460 | *15 848* | 7,58 | 555 | 48 316 | 4,83 |
| 465 | *19 952* | 2,00 | 565 | 48 316 | 4,80 |
| 470 | *25 119* | 2,57 | 595 | 48 316 | 4,83 |
| 480 | *39 811* | 3,98 | 610 | 48 316 | 4,83 |

*Окончание таблицы Е.1*

| Длина волны, нм | Излучение, Вт · м$^{-2}$ ·ср$^{-1}$ | Излучение, Вт · см$^{-2}$ ·ср$^{-1}$ | Длина волны, нм | Излучение, Вт · м$^{-2}$ ·ср$^{-1}$ | Излучение, Вт · см$^{-2}$ ·ср$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 625 | 48 316 | 4,83 | 850 | 96 403 | 9,64 |
| 645 | 48 316 | 4,83 | 900 | 121 365 | 12,13 |
| 660 | 48 316 | 4,83 | 950 | 152 789 | 15,28 |
| 660 | 48 316 | 4,83 | 1 000 | 192 350 | 19,24 |
| 700 | 48 316 | 4.83 | 1 050 | 241 580 | 24,16 |
| 750 | 60 826 | 6,08 | 1 100 | 241 580 | 24,16 |
| 800 | 76 576 | 7,66 | 1 150 | 241 580 | 24,16 |
| Примечание — Относящиеся к сетчатке глаза фотохимические пределы опасности показаны курсивом. | | | | | |

**Е.3 Обоснование**

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

Излучение вычисляют по формуле

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

где $\Phi$ — мощность излучения,

$\Omega$ — телесный угол,

$A$ — размер источника.

МВЭ часто выражают в единицах интенсивности излучения, которое вычисляют по формуле

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

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

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

Вычисляем телесный угол $\Omega$ по формуле

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

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

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

Для МВЭ, выраженной как энергетическая экспозиция, несущественно различие в использованном методе. Энергетическую экспозицию вычисляют по формуле

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

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

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

Выражаем мощность излучения как

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

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

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

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

$$L = \frac{dH}{d\Omega \cdot dt \cdot \cos\theta}. \qquad (E10)$$

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

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

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

**Приложение F**
**(справочное)**

## Сводные таблицы

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

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

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

Таблица F.2 — Сводная таблица требований к изготовителям

| Требование | Классификация | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Класс 1 | Класс 1М | Класс 2 | Класс 2М | Класс 3R | Класс 3В | Класс 4 |
| Описание класса опасности (см. приложение С) | Инженерно-технические меры защиты | Аналогично классу 1. Непосредственное наблюдение пучка с помощью оптических средств может быть опасным | Низкая мощность; защита глаз обычно достигается за счет рефлекса мигания | Аналогично классу 2. Непосредственное наблюдение пучка с помощью оптических средств может быть опасным | Непосредственное наблюдение пучка может быть опасным | Непосредственное наблюдение пучка обычно опасно | Высокая мощность; диффузное отражение может быть опасным |
| Защитный корпус (см. 4.2) | | Требуется для каждого лазерного изделия; ограничивает доступ, необходимый для выполнения изделиями своих функций | | | | | |
| Защитная блокировка в защитном корпусе (см. 4.3) | Предназначена для предотвращения удаления панели до тех пор, пока значение излучения не станет меньше, чем для класса 3R | | | | Предназначена для предотвращения удаления панели до тех пор, пока значение излучения не станет меньше, чем для лазеров класса 3В или 3R | | |
| Дистанционное управление (см. 4.4) | Не требуется | | | | | При установке лазера позволяет простую установку внешней блокировки | |
| Возврат вручную (см. 4.5) | Не требуется | | | | | | Требуется возврат вручную, если мощность прерывается или работает дистанционное управление |
| Управление с помощью ключа (см. 4.6) | Не требуется | | | | | Лазер не работает, если ключ вынут | |
| Индикатор наличия излучения (см. 4.7) | Не требуется | | | | Даст звуковой или визуальный сигнал, если лазер включен или если конденсаторные батареи импульсного лазера заряжены. Относится только к классу 3R в случае невидимого излучения | | |
| Аттенюатор (см. 4.8) | Не требуется | | | | | Позволяет временно блокировать пучок | |
| Контроль положения (см. 4.9) | Не требуется | | | | Органы управления расположены так, что при юстировке не требуется экспозиция выше ДПИ для класса 1 или 2 | | |

*Окончание таблицы F.2*

<table>
<tr><th rowspan="2">Требование</th><th colspan="7">Классификация</th></tr>
<tr><th>Класс 1</th><th>Класс 1М</th><th>Класс 2</th><th>Класс 2М</th><th>Класс 3R</th><th>Класс 3В</th><th>Класс 4</th></tr>
<tr><td>Оптические инструменты для наблюдения (см. 4.10)</td><td colspan="2">Не требуется</td><td colspan="5">Излучение от всех систем наблюдения должно быть ниже значений ДПИ для класса 1 М</td></tr>
<tr><td>Сканирование (см. 4.11)</td><td colspan="7">При нарушении в сканировании класс изделия не должен быть выше указанного в классификации</td></tr>
<tr><td>Знак класса (см. 5.1 — 5.6)</td><td colspan="2">Требуется надпись</td><td colspan="5">Рисунки 1 и 2 и специальная надпись</td></tr>
<tr><td>Знак на апертуре (см. 5.7)</td><td colspan="4">Не требуется</td><td colspan="3">Требуется специальная надпись</td></tr>
<tr><td>Знак возможности доступа при обслуживании (см. 5.9.1)</td><td>Не требуется</td><td colspan="6">Требуется при доступе к излучению изделий соответствующего класса</td></tr>
<tr><td>Знак отключения блокировки (см. 5.9.2)</td><td colspan="7">Требуется при определенных условиях, установленных для лазера соответствующего класса</td></tr>
<tr><td>Знак диапазона волн (см 5.10 и 5.11)</td><td colspan="7">Требуется для установленных диапазонов длин волн</td></tr>
<tr><td>Информация для потребителей (см. 6.1)</td><td colspan="7">Инструкции для потребителей должны содержать правила безопасного применения. Дополнительные требования для классов 1М и 2М.</td></tr>
<tr><td>Информация, необходимая при поставке и обслуживании (см. 6.2)</td><td colspan="7">В предлагаемых брошюрах должны быть репродукции знаков классификации; инструкции по обслуживанию должны содержать правила безопасного применения</td></tr>
<tr><td>Медицинские лазеры (см. 7.2)</td><td colspan="5">Не требуется</td><td colspan="2">По безопасности медицинских лазеров применяют МЭК 60601–2–22</td></tr>
<tr><td colspan="8">Примечание — В данной таблице приведены основные требования в удобном виде. Более полные требования приведены в тексте стандарта.</td></tr>
</table>

**Приложение G**
**(справочное)**

## Обзор связанных частей стандарта МЭК 60825

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

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

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

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

**Приложение ДА**
**(обязательное)**

## Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА. 1

| Обозначение ссылочного международного стандарта | Степень соответствия | Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта |
|---|---|---|
| МЭК 60027-1 | | * |
| МЭК 60065 | IDT | ГОСТ Р МЭК 60065—2009 «Аудио-, видео- и аналогичная электронная аппаратура. Требования безопасности» |
| МЭК 60825-2 | IDT | ГОСТ Р МЭК 60825-2—2009 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 2. Безопасность волоконно-оптических систем связи» |
| МЭК 60825-3 | | * |
| МЭК 60825-4 | | * |
| МЭК 60825-5 | | * |
| МЭК 60825-8 | | * |
| МЭК 60825-9 | IDT | ГОСТ Р МЭК 60825-9—2009 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 9. Компиляция максимально допустимого экспонирования некогерентного видимого излучения» |
| МЭК 60825-10 | | * |
| МЭК 60825-12 | IDT | ГОСТ Р МЭК 60825-12—2009 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 12. Безопасность систем оптической связи в свободном пространстве, используемых для передачи информации» |
| МЭК 60825-13 | | * |
| МЭК 60825-14 | | * |
| МЭК 60950 (все части) | IDT | ГОСТ Р МЭК 60950-1—2005 «Оборудования информационных технологий. Требование безопасности. Часть 1.Общие требования»<br>ГОСТ Р МЭК 60950-21—2005 «Оборудования информационных технологий. Требование безопасности. Часть 21.Удаленное электропитание» |
| МЭК 61040 | | * |

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов.

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты.

## Библиография


| | |
|---|---|
| [1] МЭК 60027-1 | Обозначения буквенные, применяемые в электротехнике. Часть 1. Основные положения |
| IEC 60027-1 | (Letter symbols to be used in electrical technology — Part 1: General) |
| [2] МЭК 60065 | Аудио-, видеоаппаратура и аналогичная электронная аппаратура. Требования техники безопасности |
| (IEC 60065) | (Audio, video and similar apparatus — Safety requirements) |
| [2] МЭК 60079 (все части) | Оборудование электрическое для взрывоопасных газовых сред |
| [IEC 60079 (all parts)] | (Electrical apparatus for explosive gas atmospheres) |
| [4] МЭК 60079-0:2004 | Оборудование электрическое для взрывоопасных газовых сред. Часть 0. Общие требования |
| (IEC 60079-0:2004) | (Electrical apparatus for explosive gas atmospheres — Part 0: General requirements) |
| [5] МЭК 60204-1 | Безопасность машин и механизмов. Электрооборудование промышленных машин. Часть 1. Общие требования |
| (IEC 60204-1) | (Safety of machinery — Electrical equipment of machines — Part 1: General requirements) |
| [6] МЭК 60825-2 | Безопасность лазерных устройств. Часть 2. Безопасность волоконно-оптических систем связи |
| (IEC 60825-2) | (Safety of laser products — Part 2: Safety of optical fiber communication systems (OFCS)) |
| [7] МЭК/ТО 60825-3 | Безопасность лазерных устройств. Часть 3. Руководящие указания по применению лазеров для зрелищных мероприятий |
| (IEC /TR 60825-3) | (Safety of laser products — Part 3: Guidance for laser displays and shows) |
| [8] МЭК 60825-4 | Безопасность лазерных устройств. Часть 4. Устройства защиты от лазерного воздействия |
| (IEC 60825-4) | (Safety of laser products — Part 4:Laser guards) |
| [9] МЭК/ТО 60825-5 | Безопасность лазерных устройств. Часть 5. Контрольный перечень к IEC 60825-1 для изготовителей |
| (IEC /TR 60825-5) | (Safety of laser products — Part 5: Manufacturers checklist for IEC 60825-1) |
| [10] МЭК/ТО 60825-8 | Безопасность лазерных устройств. Часть 8. Руководящие указания по безопасному использованию лазерных лучей для людей |
| (IEC /TR 60825-8) | ( Safety of laser products — Part 8: Guidelines for the safe use of laser beams on humans) |
| [11] МЭК/ТО 60825-9 | Безопасность лазерных устройств. Часть 9. Максимально допустимое воздействие некогерентного оптического излучения |
| (IEC /TR 60825-9) | (Safety of laser products — Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation) |
| [12] МЭК/ТО 60825-10 | Безопасность лазерных устройств. Часть 10. Руководство по применению и пояснительные замечания к МЭК 60825-1 |
| (IEC /TR 60825-10) | (Safety of laser products — Part 10: Application guidelines and explanatory notes to IEC 60825-1) |
| [13] МЭК 60825-12 | Безопасность лазерных устройств. Часть 12. Безопасность нестационарных оптических систем связи, применяемых для передачи информации |
| (IEC 60825-12) | (Safety of laser products — Part 12: Safety of free space optical communication systems used for transmission of information) |
| [14] МЭК/ТО 60825-12 | Безопасность лазерных устройств. Часть 13. Измерения, проводимые для классификации лазерных устройств |
| (IEC /TR 60825-13) | (Safety of laser products — Part 13: Measurements for classification of laser products) |
| [15] МЭК/ТО 60825-14 | Безопасность лазерных устройств. Часть 14. Руководство для пользователя |
| (IEC /TR 60825-14) | (Safety of laser products — Part 14: A user's guide) |
| [16] МЭК 60950 (все части) | Оборудование информационных технологий. Безопасность |
| [IEC 60950(all parts)] | (Information technology equipment — Safety) |
| [17] МЭК 61040 | Детекторы, контрольно-измерительные приборы и оборудование для измерения мощности и энергии лазерного излучения |
| (IEC 61040) | (Power and energy measuring detectors, instruments and equipment for laser radiation) |
| [18] МЭК 61508 (все части) | Системы электрические/электронные/программируемые электронные, связанные с функциональной безопасностью |
| IEC [61508(all parts)] | (Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety — related systems) |

| | |
|---|---|
| [19] МЭЕ 62115 | Игрушки электрические. Безопасность |
| (IEC 62115) | (Electric toys — Safety) |
| [20] МЭК 62471:2006 | Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем |
| [IEC 62471:2006 (CIE S009:2002)] | (Photobiological safety of lamps and lamp systems) |
| [21] ИСО 1000 | Единицы СИ и рекомендации по применению кратных и дольных от них и некоторых других единиц |
| ISO 1000 | (SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units) |
| [22] ИСО 11146-1 | 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 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) |
| [23] МЭК/ИСО 11553-1 | Безопасность машин. Станки лазерной обработки. Часть 1. Общие требования безопасности |
| (IEC/ISO 11553-1) | (Safety of machinery — Laser processing machines — Part 1: General safety requirements) |
| [24] ИСО 12100-1 | Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы расчета. Часть 1. Основная терминология, методология |
| (ISO 12100-1) | (Safety of machinery — Basic concepts, general principles for design — Part 1: Basic terminology, methodology) |
| [25] ИСО 12100-2 | Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы расчета. Часть 2. Технические принципы |
| (ISO 12100-2) | (Safety of machinery — Basic concepts, general principles for design — Part 2: Technical principles) |
| [26] ИСО 13694 | Оптика и оптические приборы. Лазеры и лазерное оборудование. Методы испытания распределения плотности энергии лазерного луча |
| (ISO 13694) | (Optics and optical instruments — Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam power (energy) density distribution) |

УДК 681.3:331.4:006.354 ОКС 13.180 Э65 ОКП 40 0000

Ключевые слова: видеосплейные терминалы, эргономические требования, требования к дисплеям

Редактор *Р. Г. Говердовская*
Технический редактор *В. Н. Прусакова*
Корректор *Н. И. Гаврищук*
Компьютерная верстка *З. И. Мартыновой*

Сдано в набор 30.08.2010. Подписано в печать 04.10.2010. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,84. Уч.-изд. л. 7,90. Тираж 116 экз. Зак. 1281

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.

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

Набрано и отпечатано в Калужской типографии стандартов, 248021 Калуга, ул. Московская, 256.

gost.e-ecolog.ru