ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

СТБ IEC 60825-1-2011

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.375.826-027.45(083.74)(476) МКС 13.110; **31.260** КП 02 IDT

Ключевые слова: классификация, лазерное изделие, лазерная безопасность, предельная интенсивность, доступное излучение, предельно допустимый уровень

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

1 ПОДГОТОВЛЕН государственным научным учреждением «Институт физики имени Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси»

ВНЕСЕН техническим комитетом ТК 6 «Стандартизация в области метрологии»

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 10 января 2011 г. № 1

3 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 60825-1:2007 Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements (Безопасность лазерных изделий. Часть 1. Классификация оборудования и требования), включая техническую поправку к нему Cor. 1:2008.

Международный стандарт разработан техническим комитетом по стандартизации IEC/TC 76 «Безопасность оптического излучения и лазерного оборудования» Международной электротехнической комиссии (IEC).

Перевод с английского языка (en).

Официальные экземпляры международного стандарта, на основе которого подготовлен настоящий государственный стандарт, и международных стандартов, на которые даны ссылки, имеются в Национальном фонде ТНПА.

В разделе «Нормативные ссылки» и тексте стандарта ссылки на международные стандарты актуализированы.

Степень соответствия – идентичная (IDT)

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© Госстандарт, 2011

Настоящий стандарт не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта Республики Беларусь

Издан на русском языке

Содержание

1 Область применения и цель 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины и определения 3
4 Технические требования 11
4.1 Общие замечания 11
4.2 Защитный кожух 11
4.3 Панели доступа и блокировки, обеспечивающие безопасность 12
4.4 Дистанционный блокировочный соединитель 12
4.5 Ручной перезапуск 12
4.6 Ключ управления 13
4.7 Предупреждение о лазерном излучении 13
4.8 Блокиратор излучения или ослабитель 13
4.9 Панель управления 13
4.10 Оптические элементы наблюдения 13
4.11 Меры безопасности при сканировании 14
4.12 Доступ внутрь 14
4.13 Условия окружающей среды 14
4.14 Защита от других опасных факторов 14
5 Маркировка 15
5.1 Общие положения 15
5.2 Класс 1 и класс 1M 16
5.3 Класс 2 и класс 2M 17
5.4 Класс 3R 18
5.5 Класс 3B 18
5.6 Класс 4 18
5.7 Апертурная этикетка 18
5.8 Информация о выходящем излучении и стандартах 18
5.9 Этикетки на панелях доступа 19
5.10 Предупреждение о невидимом лазерном излучении 20
5.11 Предупреждение о видимом лазерном излучении 20
6 Другие требования к информации 20
6.1 Информация для пользователя 20
6.2 Информация для покупателя и сервисного обслуживания 21
7 Дополнительные требования для специальных лазерных изделий 22
7.1 Другие части IEC серии 60825 22
7.2 Медицинские лазерные изделия 22
7.3 Машины для лазерной обработки 22
7.4 Электрические игрушки 22
7.5 Потребительские электронные изделия 22

8 Классифицирование 23
8.1 Введение 23
8.2 Ответственность за классификацию 23
8.3 Правила классифицирования 23
9 Определение уровней интенсивности доступного излучения 26
9.1 Испытания 26
9.2 Измерение интенсивности лазерного излучения 27
9.3 Геометрические условия измерений 35
Приложение A (справочное) Значения предельно допустимых уровней 41
Приложение B (справочное) Примеры расчетов 47
Приложение C (справочное) Описание классов и связанных с ними потенциальных опасностей 55
Приложение D (справочное) Биофизические факторы, которые необходимо учитывать 60
Приложение E (справочное) Представление предельно допустимых уровней и пределов интенсивности доступного излучения через энергетическую яркость 68
Приложение F (справочное) Сводные таблицы 71
Приложение G (справочное) Обзор взаимосвязанных частей IEC 60825 74
Библиография 77

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛАЗЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ
Часть 1
Классификация оборудования и требования

БЯСПЕКА ЛАЗЕРНЫХ ВЫРАБАЎ
Частка 1
Класіфікацыя абсталявання і патрабаванні

Safety of laser products
Part 1
Equipment classification and requirements

Дата введения 2011-07-01

1 Область применения и цель

Настоящий стандарт устанавливает требования к безопасной эксплуатации лазерных изделий, генерирующих лазерное излучение в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм.

Лазерное изделие может состоять из отдельного лазера с отдельным источником питания или без него, содержать один или более лазеров в комплексе с оптической, электрической или механической системой. Обычно лазерные изделия используют для демонстрации физических и оптических явлений, обработки материалов, считывания и хранения данных, передачи и отображения информации и т. п. Такие системы нашли применение в промышленности, бизнесе, индустрии развлечений, исследованиях, образовании, медицине и товарах широкого потребления.

Настоящий стандарт не распространяется на лазерные изделия, которые продаются другим изготовителям, которые используют их в качестве компонентов какой-либо системы для последующей продажи, так как само конечное изделие будет подпадать под действие настоящего стандарта. Однако если лазерная система, входящая в лазерное изделие, пригодна к эксплуатации, когда она извлечена из него, то требования настоящего стандарта распространяются на извлекаемое устройство.

Примечание 1 – Пригодное к эксплуатации оборудование не нуждается в применении дополнительного инструмента для начала работы.

Любое лазерное изделие освобождается от выполнения дальнейших требований настоящего стандарта, если классифицирование, выполненное изготовителем этого изделия в соответствии с разделами 3, 8 и 9, показывает, что уровень излучения не превышает предела интенсивности доступного излучения для класса 1 при всех условиях эксплуатации, технического и сервисного обслуживания и при возникновении неисправности.

Примечание 2 – Вышеупомянутое освобождение гарантирует, что действие настоящего стандарта не распространяется на безопасные по своей сущности лазерные изделия.

В дополнение к опасностям, возникающим вследствие непосредственного действия лазерного излучения, лазерное оборудование может приводить к возникновению таких опасностей, как возгорание и поражение электрическим током.

Примечание 3 – Классификация и другие требования настоящего стандарта адресуются только к опасностям, вызванным непосредственно лазерным излучением при его воздействии на глаза и кожу. Другие опасности не рассматриваются в настоящем стандарте.

В настоящем стандарте описаны минимальные требования. Соответствие требованиям настоящего стандарта может быть недостаточным для обеспечения требуемого уровня безопасности лазерного изделия. Лазерные изделия должны удовлетворять соответствующим эксплуатационным и испытательным требованиям действующих стандартов по безопасности изделий.

Примечание 4 – Другие стандарты могут содержать дополнительные требования. Следует учитывать предполагаемое применение и группу пользователей. Например, лазерное изделие класса 3B или класса 4 не может применяться как потребительское изделие.

В случае, когда лазерная система является частью оборудования, на которое распространяется другой стандарт IEC по безопасности изделий [например, медицинского оборудования

Издание официальное

(IEC 60601-2-22), оборудования для информационных технологий (IEC 60950), аудио- и видеооборудования (IEC 60065), оборудования для использования в опасных окружающих условиях (IEC 60079), электрических игрушек (IEC 62115)], настоящий стандарт применяется в соответствии с указаниями IEC Guide 104 [1] относительно опасностей, возникающих при работе с лазерным излучением. Если ни один из стандартов по безопасности изделий не применим, то применяют IEC 61010-1.

В предыдущих изданиях IEC 60825-1 в сферу его действия были включены светодиоды, и они все еще могут быть включены в другие части серии IEC 60825. Однако с развитием стандартов по безопасности осветительных ламп более подходящие требования относительно безопасности оптического излучения светодиодов в общем случае установлены в этих стандартах. Исключение светодиодов из сферы действия настоящего стандарта не препятствует другим стандартам, относящимся к лазерам, включать в свою область применения светодиоды. CIE S009 можно применять для определения класса опасности группы светодиодов или изделия, содержащего один или более светодиодов.

Значения предельно допустимых уровней в настоящем стандарте были установлены для лазерного излучения и неприменимы для сопутствующего излучения. Однако если есть опасение, что доступное сопутствующее излучение может быть опасным, то для оценки степени потенциальной опасности этого излучения могут быть применены значения лазерных предельно допустимых уровней.

Значения предельно допустимых уровней облучения неприменимы для случаев преднамеренного воздействия на человека лазерным излучением в целях терапевтического или косметического/эстетического лечения.

Примечание 5 – Приложения А – Н включены в целях предоставления общего руководства и для иллюстрации многих типичных случаев. Однако приложения не должны рассматриваться как определяющие и исчерпывающие, следует всегда ссылаться на соответствующие разделы в основной части настоящего стандарта.

Цели настоящего стандарта:

– введение системы классификации лазеров и лазерных изделий в соответствии со степенью опасности их оптического излучения, для того чтобы помочь пользователю в оценивании степени опасности и определении мер контроля;

– установление требований для изготовителя в обеспечении полной информацией об опасности лазерного излучения для принятия надлежащих мер предосторожности;

– обеспечение посредством этикеток и инструкций адекватного предупреждения лиц об опасности, связанной с доступным излучением, исходящим от лазерных изделий;

– снижение вероятности травмирования путем минимизации излишней интенсивности доступного излучения, усовершенствование контроля степени опасности лазерного излучения с применением защитных средств.

2 Нормативные ссылки

Следующие документы, на которые приведены ссылки, являются обязательными для применения настоящего стандарта.

Для датированных ссылок применимы только указанные издания. Для недатированных ссылок применяют последнее издание документа (включая все изменения), на который дана ссылка.

IEC 60050-845:1987 Международный электротехнический словарь. Глава 845. Освещение

IEC 60601-2-22:2007 Оборудование медицинское электрическое. Часть 2-22. Дополнительные требования к безопасности и основным характеристикам хирургического, косметического, терапевтического и диагностического лазерного оборудования

IEC 61010-1:2010 Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования. Часть 1. Общие требования

[1] IEC Guide 104:2010 The preparation of safety publication and the use of basic publications and group safety publications (Подготовка публикаций по безопасности и применение основополагающих и групповых публикаций по безопасности).

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применяют термины, установленные в IEC 60050-845, а также следующие термины с соответствующими определениями.

Примечание – Термины приведены в порядке, при котором соответствующие им эквиваленты на английском языке расположены в алфавитном порядке. Отступления от IEC 60050-845 сделаны преднамеренно, они оговорены. В таких случаях в квадратных скобках сделаны ссылки на определение в IEC 60050-845 с пометкой «изменено».

3.1 панель доступа (access panel): Часть защитного кожуха или ограждения, через которую, когда она снята или открыта, возможен доступ к лазерному излучению.

3.2 интенсивность доступного излучения (accessible emission): Уровень излучения, определенный в некотором положении с применением апертурных диафрагм (когда предел интенсивности доступного излучения выражен в ваттах или джоулях) или ограничивающих диафрагм (когда предел интенсивности доступного излучения выражен в ваттах на квадратный метр или джоулях на квадратный метр), как описано в разделе 9.

Интенсивность доступного излучения определяется в том месте, где предполагается возможным доступ человека, как установлено в 3.37. Интенсивность доступного излучения сравнивается с пределом интенсивности доступного излучения (3.3), для того чтобы определить класс лазерного изделия. В тексте стандарта в случаях, когда употребляется термин «уровень излучения», его следует понимать как интенсивность доступного излучения.

Примечание – Когда диаметр пучка больше, чем диаметр апертурной диафрагмы, интенсивность доступного излучения, выраженная в ваттах или джоулях, меньше, чем полная мощность или энергия излучения, испущенного лазерным изделием. Когда диаметр пучка меньше, чем диаметр ограничивающей апертуры, то интенсивность доступного излучения, выраженная в ваттах на квадратный метр или джоулях на квадратный метр, т. е. облученность или энергетическая экспозиция, усредненные по ограничивающей апертуре, меньше, чем действительная облученность или энергетическая экспозиция. Определения терминов «апертурная диафрагма» и «ограничивающая апертура» содержатся в 3.9 и 3.52 соответственно.

3.3 предел интенсивности доступного излучения; ПИДИ (accessible emission limit; AEL): Максимальный уровень интенсивности доступного излучения, разрешенный для определенного класса лазерного изделия.

Примечание – В случаях, когда в тексте употребляется выражение «уровень излучения, не превышающий ПИДИ» или другие подобные выражения, подразумевается, что интенсивность доступного излучения определяется в соответствии с критериями, установленными в разделе 9.

3.4 административный контроль (administrative control): Меры безопасности нетехнического типа, такие как надзор, обучение персонала обеспечению безопасности, предупреждающие надписи, голосовое предупреждение об опасности, использование безопасных диапазонов.

3.5 альфа мин. α_{min} (alpha min α_{min}): См. «угловой размер» и «минимальный угловой размер» (3.7 и 3.58).

3.6 угол восприятия (angle of acceptance): Плоский угол, обычно измеряемый в радианах, внутри которого детектор воспринимает оптическое излучение.

Этот угол восприятия может задаваться апертурами или оптическими элементами перед детектором (см. рисунки 3 и 4). Угол восприятия иногда называется полем зрения.

Обозначение: γ.

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

Примечание 1 – Положение и угловой размер видимого источника зависят от места наблюдения в пучке (см. 3.11).

Примечание 2 – Угловой размер видимого источника применим в настоящем стандарте только в диапазоне длин волн от 400 до 1 400 нм, т. е. спектральной области повреждения сетчатки глаза.

Примечание 3 – Угловой размер источника не следует путать с углом расходимости пучка. Угловой размер источника не может быть больше угла расходимости пучка, и он обычно меньше угла расходимости пучка.

3.8 апертура (aperture): Отверстие в защитном кожухе или другом ограждении лазерного изделия, через которое выходит лазерное излучение, вследствие чего возможен доступ человека к этому излучению.

См. также «ограничивающая апертура» (3.52).

3.9 апертурная диафрагма (aperture stop): Отверстие, служащее для определения размера площадки, на которой измеряется интенсивность излучения.

3.10 видимый источник (apparent source): Действительный или мнимый объект, который формирует наименьшее возможное изображение на сетчатке глаза (учитывая диапазон аккомодации человеческого глаза), используемый для конкретного оцениваемого положения повреждения сетчатки.

Примечание 1 – Предполагается, что диапазон аккомодации глаза изменяется от 100 мм до бесконечности. Положение видимого источника для конкретного места наблюдения в пучке – это такое положение, на которое глаз аккомодируется, создавая наиболее опасное условие для облученности сетчатки.

Примечание 2 – Данное определение используется для нахождения конкретного оцениваемого положения источника видимого лазерного излучения в диапазоне длин волн от 400 до 1 400 нм. В пределе при стремлении угла расходимости к нулю, т. е. для хорошо коллимированного пучка, положение видимого источника стремится к бесконечности.

3.11 пучок (beam): Лазерное излучение, которое характеризуется направлением, углом расходимости, диаметром или параметрами, получаемыми при его сканировании.

Рассеянное излучение при диффузном отражении не считается пучком.

3.12 ослабитель пучка (beam attenuator): Устройство, которое уменьшает интенсивность лазерного излучения до установленного уровня или ниже него.

3.13 диаметр пучка (ширины пучка) [beam diameter (beam width)]: Диаметр пучка d_u в поперечном сечении, соответствующий диаметру наименьшего круга, в котором содержится u % от полной мощности (энергии) излучения лазера.

В настоящем стандарте используется d_{63}.

Примечание 1 – В гауссовом пучке d_{63} соответствует тому диаметру окружности, на которой облученность (энергетическая экспозиция) уменьшается до уровня 1/e от пикового значения в центре.

Примечание 2 – Определение диаметра пучка на основе второго момента (как описано в ISO 11146-1) не применяется для профилей пучков с высокими центральными пиками плотности потока излучения и низким уровнем фона, такими как те, которые создаются в дальней зоне лазерами с неустойчивыми резонаторами: мощность излучения, проходящего через апертуру, может быть значительно недооценена при использовании второго момента и вычислении мощности в предположении гауссова профиля пучка.

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

Если диаметры пучка (см. 3.13) в двух сечениях, отстоящих друг от друга на расстоянии r, равны d_{63} и d'_{63}, то угол расходимости вычисляют по формуле

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

Единица СИ: радиан.

Примечание – Определение угла расходимости на основе второго момента (как описано в ISO 11146-1) не применяется для профилей пучков с высокими центральными пиками плотности потока излучения и низким уровнем фона, такими как те, которые создаются в дальней зоне лазерами с неустойчивыми резонаторами, или для профилей пучков, которые проявляют дифракционную картину, обусловленную апертурами.

3.15 расширитель пучка (beam expander): Комбинация оптических элементов, которая приводит к увеличению диаметра лазерного пучка.

3.16 элемент на пути пучка (beam path component): Оптический элемент, расположенный в лазерном пучке на пути его распространения (например, зеркало, отклоняющее пучок, или фокусирующая линза).

3.17 блокиратор пучка (beam stop): Устройство, которое преграждает путь лазерного пучка.

3.18 лазерное изделие класса 1 (Class 1 laser product): Лазерное изделие, при работе которого человек не может подвергнуться лазерному облучению с интенсивностью, превышающей пределы интенсивности доступного излучения для класса 1 для соответствующих длин волн и длительностей излучения [см. 8.2 и 8.3, перечисление e)].

Примечание 1 – См. также ограничения в схеме классифицирования в приложении C.

Примечание 2 – Так как испытания для установления класса изделия ограничены испытаниями в рабочем режиме, то для некоторых встроенных лазерных изделий излучение с интенсивностью выше ПИДИ для класса 1 может стать доступным в режиме технического обслуживания, когда блокировка панели доступа отключена.

3.19 лазерное изделие класса 1M (Class 1M laser product): Лазерное изделие, генерирующее излучение в диапазоне длин волн от 302,5 до 4 000 нм, при работе которого человек не может подверг-

нуться лазерному облучению с интенсивностью, превышающей пределы интенсивности доступного излучения для класса 1 для соответствующих длин волн и длительностей излучения [см. 8.3, перечисление e)], причем интенсивность излучения измеряется в соответствии с 9.2, перечисление g).

Примечание 1 – См. также ограничения схемы классификации в приложении C.

Примечание 2 – Так как измерения выполняют с меньшей измерительной апертурой или на большем расстоянии от видимого источника, чем для лазерных изделий класса 1, то выходящее излучение лазерного изделия класса 1M потенциально более опасно при наблюдении с использованием оптических приборов (см. 8.2).

Примечание 3 – Так как испытания для установления класса изделия ограничены испытаниями в рабочем режиме, то для некоторых встроенных лазерных изделий излучение с интенсивностью выше ПИДИ для класса 1M может стать доступным в режиме технического обслуживания, когда блокировка панели доступа отключена.

3.20 лазерное изделие класса 2 (Class 2 laser product): Лазерное изделие, генерирующее излучение в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, при работе которого человек не может подвергнуться лазерному облучению с интенсивностью, превышающей пределы интенсивности доступного излучения для класса 2 для соответствующих длин волн и длительностей излучения [см. 8.2 и 8.3, перечисление e)].

Примечание 1 – См. также ограничения схемы классификации в приложении C.

Примечание 2 – Так как испытания для установления класса изделия ограничены испытаниями в рабочем режиме, то для некоторых встроенных лазерных изделий излучение с интенсивностью выше ПИДИ для класса 2 может стать доступным в режиме технического обслуживания, когда блокировка панели доступа отключена.

3.21 лазерное изделие класса 2M (Class 2M laser product): Лазерное изделие, генерирующее излучение в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, при работе которого человек не может подвергнуться лазерному облучению с интенсивностью, превышающей пределы интенсивности доступного излучения для класса 2 для соответствующих длин волн и длительностей излучения [см. 8.3, перечисление e)], причем интенсивность измеряется в соответствии с 9.2, перечисление h).

Примечание 1 – См. также ограничения схемы классификации в приложении C.

Примечание 2 – Так как измерения выполняют с меньшей измерительной апертурой или на большем расстоянии от видимого источника, чем для лазерных изделий класса 2, то выходящее излучение лазерного изделия класса 2M потенциально более опасно при наблюдении с использованием оптических приборов (см. 8.2).

Примечание 3 – Так как испытания для установления класса изделия ограничены испытаниями в рабочем режиме, то для некоторых встроенных лазерных изделий излучение с интенсивностью выше ПИДИ для класса 2M может стать доступным в режиме технического обслуживания, когда блокировка панели доступа отключена.

3.22 лазерное изделие класса 3R и класса 3B (Class 3R and Class 3B products): Лазерное изделие, при работе которого человек может подвергнуться лазерному облучению с интенсивностью, превышающей пределы интенсивности доступного излучения для класса 1 и класса 2 для соответствующих длин волн и длительностей излучения, но не может подвергнуться лазерному облучению с интенсивностью, превышающей пределы интенсивности доступного излучения для класса 3R и 3B (соответственно) для любых длительностей и длин волн излучения (см. 8.2).

Примечание 1 – См. также ограничения схемы классификации в приложении C.

Примечание 2 – Изделия класса 1M и класса 2M могут иметь интенсивность выходящего излучения выше или ниже ПИДИ для класса 3R в зависимости от их оптических характеристик.

3.23 лазерное изделие класса 4 (Class 4 laser product): Лазерное изделие, при работе которого человек может подвергнуться лазерному облучению с интенсивностью, превышающей пределы интенсивности доступного излучения для класса 3B (см. 8.2).

3.24 сопутствующее излучение (collateral radiation): Электромагнитное излучение в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм, за исключением лазерного излучения, испускаемое лазерным изделием в результате работы лазера или являющееся физически необходимым для его работы.

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

3.26 непрерывный лазер (continuous wave; CW): Лазер, испускающий непрерывное излучение продолжительностью 0,25 с или более.

3.27 предопределенный путь излучения (defined beam path): Намеченный путь лазерного излучения в пределах лазерного изделия.

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

Термин «демонстрационное лазерное изделие» неприменим к лазерным изделиям, которые сконструированы и предназначены для других применений, хотя и могут использоваться для демонстрации этих применений.

3.29 диффузное отражение (diffuse reflection): Изменение пространственного распределения интенсивности пучка излучения при рассеянии по многим направлениям поверхностью или средой.

Совершенный рассеиватель нарушает все корреляции между направлениями падающего и выходящего излучения.

[IEV 845-04-47, изменено]

3.30 встроенное лазерное изделие (embedded laser product): Лазерное изделие, которому вследствие конструктивных особенностей, ограничивающих интенсивность доступного излучения, установлен класс ниже, чем класс входящего в него лазера.

Примечание – Лазер, который входит в состав встроенного лазерного изделия, называется встроенным лазером.

3.31 длительность излучения (emission duration): Длительность импульса, серии импульсов или непрерывного излучения, в течение которого человек может подвергнуться воздействию лазерного излучения при работе лазерного изделия, его техническом или сервисном обслуживании.

Для одиночного импульса это промежуток времени между точкой, соответствующей половине пиковой интенсивности на фронте импульса, и аналогичной точкой на срезе импульса. Для серии импульсов (или части серии импульсов) это промежуток времени между точкой, соответствующей половине пиковой интенсивности на фронте первого импульса, и точкой, соответствующей половине пиковой интенсивности на срезе замыкающего импульса.

3.32 отклоненное лазерное излучение (errant laser radiation): Лазерное излучение, которое отклоняется от предопределенного пути излучения.

Такое излучение включает в себя нежелательное отраженное излучение от элементов на пути излучения, отведенное излучение вследствие разъюстировки или повреждения оптических элементов.

3.33 длительность облучения (exposure duration): Длительность импульса, серии импульсов или непрерывного лазерного излучения, попадающего на тело человека.

Для серии импульсов это отрезок времени между точкой, соответствующей половине пиковой интенсивности на фронте первого импульса, и точкой, соответствующей половине пиковой интенсивности на срезе замыкающего импульса.

3.34 наблюдение протяженного источника (extended source viewing): Условия наблюдения, когда видимый источник на расстоянии 100 мм или более стягивает угол с вершиной в месте расположения глаза больший, чем минимальный угловой размер α_{min}.

Согласно настоящему стандарту при рассмотрении опасности теплового повреждения сетчатки оперируют двумя вариантами протяженного источника: промежуточным источником и большим источником. Они введены, чтобы отличать источники с разными угловыми размерами α: от α_{min} до α_{max} (промежуточные источники) и больше α_{max} (большие источники) (см. также 3.80).

Примерами являются наблюдения некоторых диффузно излучающих лазерных источников, диффузных отражений и некоторых диодных матриц.

3.35 безопасность при отказе (fail safe): Конструкторское решение, при котором отказ какого-либо из компонентов не приводит к увеличению опасности.

При возникновении неисправности система переходит в безопасное или нерабочее состояние.

3.36 блокировка, обеспечивающая безопасность при отказе (fail safe safety interlock): Блокировка, которая при возникновении неисправности не нарушает функции блокировки, например блокировка, которая надежно переводит систему в положение «ВЫКЛ», как только начинают открывать навесную крышку, или перед тем, как отсоединяют съемную крышку, и которая надежно удерживает систему в положении «ВЫКЛ» до тех пор, пока навесную крышку не закроют или съемную крышку не поставят в закрытое положение.

3.37 доступ человека (human access):

a) возможность попадания тела человека под лазерное излучение, генерируемое лазерным изделием, т. е. под излучение, которое можно пересечь вне защитного кожуха;

b) возможность пересечения лазерного излучения изделия класса 3B и ниже цилиндрическим зондом диаметром 100 мм и длиной 100 мм;

c) возможность пересечения рукой человека лазерного излучения с интенсивностью выше ПИДИ для класса 3B;

d) для уровней лазерного излучения внутри кожуха, которые эквивалентны уровням излучения для лазерных изделий класса 3B или класса 4, возможность попадания какой-либо части тела человека под опасное лазерное излучение, которое вследствие отражения от любой плоской поверхности внутри изделия может выйти через любое отверстие в защитном кожухе.

Примечание – Для лазерных изделий, которые предусматривают доступ внутрь кожуха, необходимо рассматривать излучение как внутри защитного кожуха, так и вне его для определения возможности доступа человека. Доступ человека внутрь кожуха может быть предотвращен системами технического контроля, такими как, например, автоматические системы обнаружения.

3.38 интегральная энергетическая яркость (integrated radiance): Интеграл от энергетической яркости по времени за данную длительность облучения, выраженный как энергия излучения, приходящаяся на единицу площади излучающей поверхности в единице телесного угла излучения (обычно измеряется в Дж·м$^{-2}$·ср$^{-1}$).

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

3.40 облученность (irradiance): Частное от деления потока излучения $d\Phi$, падающего на элемент поверхности, на площадь этого элемента поверхности dA:

$$E = \frac{d\Phi}{d\mathrm{A}}.$$

Обозначение: E.

Единица СИ: ватт на квадратный метр (Вт/м^2).

3.41 лазер (laser): Устройство, которое может быть создано для генерации или усиления излучения в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм, главным образом посредством управляемого вынужденного испускания.

[IEV 845-04-39, изменено]

3.42 контролируемая лазерная зона (laser controlled area): Зона, нахождение и деятельность человека в которой являются объектами контроля и наблюдения с целью защиты от опасности излучения.

3.43 источник возбуждения лазера (накачка) (laser energy source): Устройство, предназначенное для использования вместе с лазером с целью обеспечения энергией возбуждения электронов, ионов или молекул.

Обычные источники энергии, такие как электрические сети питания или аккумуляторы, не рассматриваются как источники возбуждения лазера.

3.44 лазерная опасная зона; ЛОЗ (laser hazard area): См. «номинальная опасная зона для зрения» (3.61).

3.45 лазерное изделие (laser product): Сборка элементов или изделие, которое представляет собой лазер или предназначено для включения в него лазера или лазерной системы.

3.46 лазерное излучение (laser radiation): Электромагнитное излучение, генерируемое лазерным изделием в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм, которое возникает в результате вынужденного испускания.

3.47 ответственный за лазерную безопасность (laser safety officer): Лицо, обладающее достаточными знаниями в оценивании и контроле степени лазерной опасности и несущее ответственность за упущения в контроле степени лазерной опасности.

3.48 лазерная система (laser system): Лазер в сочетании с соответствующим источником возбуждения лазера с дополнительными включенными элементами или без них.

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

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

3.50 предельный угол восприятия при оценивании степени опасности фотохимического повреждения сетчатки (limiting angle of acceptance for evaluating retinal photochemical hazards): Для оценивания степени опасности фотохимического повреждения сетчатки установлен предельный угол восприятия γ_{ph} для конкретных условий измерения. Угол γ_{ph} связан с движениями глаз и не зависит от

углового размера источника. Если угловой размер источника больше, чем установленный предельный угол восприятия γ_{ph}, то угол восприятия γ ограничен γ_{ph} и источник сканируют для выявления горячих точек. Если угол восприятия γ при измерении не ограничен установленным уровнем, то степень опасности может быть переоценена.

Примечание – Если угловой размер видимого источника меньше, чем установленный предельный угол восприятия, то действительный угол восприятия при измерении не влияет на измерение и не должен быть ограничен, т. е. может быть использован обычный «открытый» угол восприятия радиометра установки.

Обозначение: γ_{ph}.

3.51 предельный угол восприятия при оценивании степени опасности теплового повреждения сетчатки (limiting angle of acceptance for evaluating thermal hazards): Максимальный угловой размер видимого источника, используемый при оценивании степени опасности теплового повреждения сетчатки.

Значение угла восприятия γ может изменяться от α_{min} до α_{max} [см. 8.3, перечисление d), 9.3.2, перечисление b)2)].

Обозначение: γ_{th}.

3.52 ограничивающая апертура (limiting aperture): Круглая площадка, по которой производят усреднение энергетической яркости и энергетической экспозиции.

3.53 техническое обслуживание (maintenance): Выполнение настроек или процедур, указанных в информации для пользователя, предоставленной изготовителем лазерного изделия, которые должны быть выполнены пользователем с целью обеспечения заявленных характеристик изделия.

Техническое обслуживание не включает функционирование и сервисное обслуживание.

3.54 максимальный угловой размер α_{max} (maximum angular subtense α_{max}): Значение углового размера видимого источника, выше которого предельно допустимый уровень и предел интенсивности доступного излучения не зависят от размера источника.

Примечание – α_{max} = 100 мрад.

3.55 максимальная интенсивность (maximum output): Максимальная мощность излучения и, где применимо, максимальная энергия излучения за импульс из всего доступного лазерного излучения, испущенного в любом направлении лазерным изделием во всем диапазоне возможностей функционирования в любое время после изготовления.

Примечание – Максимальная интенсивность – это наибольшая интенсивность доступного излучения, которая используется для определения класса лазерного изделия. Так как определение интенсивности доступного излучения включает, наряду с другими условиями, рассмотрение условий при разовой неисправности (см. 9.2), то максимальная интенсивность может превышать наибольшую интенсивность в рабочих условиях.

3.56 предельно допустимый уровень; ПДУ (maximum permissible exposure; MPE): Уровень лазерного излучения, до которого в нормальных условиях люди могут быть облучены без неблагоприятных последствий.

Уровни ПДУ представляют собой максимальные уровни, до которых глаза или кожа могут быть подвергнуты облучению без последующих повреждений непосредственно или спустя длительное время после воздействия. Эти уровни связаны с длиной волны лазерного излучения, длительностью импульса или длительностью облучения, типом подвергаемой риску биологической ткани, а также (для видимого и инфракрасного излучения в диапазоне от 400 до 1 400 нм) размером изображения на сетчатке глаза. Предельно допустимые уровни (по состоянию имеющихся знаний) приведены в приложении А.

3.57 медицинское лазерное изделие (medical laser product): Лазерное изделие, спроектированное, изготовленное, предназначенное или приспособленное для целей диагностики in vivo, хирургического или терапевтического лазерного облучения любой части тела человека.

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

ПДУ и ПИДИ не зависят от размера источника, если этот размер меньше α_{min}.

Примечание – α_{min} = 1,5 мрад.

3.59 синхронизация мод (mode-locking): Регулярный механизм или явление внутри лазерного резонатора, приводящие к образованию серии очень коротких (например, субнаносекундных) импульсов.

Помимо того, что синхронизация мод может быть осуществлена преднамеренно, это явление может также происходить спонтанно; в таком случае его называют «самосинхронизация мод» (self-mode-locking). В результате этого явления пиковая мощность может быть значительно больше, чем средняя мощность.

3.60 наиболее опасное положение (most restrictive position): Положение в пучке, где отношение интенсивности доступного излучения к пределу интенсивности доступного излучения максимально.

Примечание – И интенсивность доступного излучения, и ПИДИ могут зависеть от места определения относительно пучка.

3.61 номинальная опасная зона для зрения; НОЗЗ (nominal ocular hazard area; NOHA): Часть пространства, внутри которой облученность в пучке или энергетическая экспозиция превышают соответствующий предельно допустимый уровень на роговице, при этом учитывается возможность случайного отклонения лазерного пучка.

Если в номинальной опасной зоне для зрения имеется возможность наблюдения через оптические устройства, тогда ее называют «расширенная номинальная опасная зона для зрения».

3.62 номинальное опасное расстояние для зрения; НОРЗ (nominal ocular hazard distance; NOHD): Расстояние от выходной апертуры, на котором облученность в пучке или энергетическая экспозиция равны предельно допустимому уровню на роговице.

Если на НОРЗ возможно наблюдение с помощью оптических приборов, то этот термин называется «расширенное номинальное опасное расстояние для зрения; РНОРЗ» (extended nominal ocular hazard distance; NOHD).

3.63 функционирование (operation): Выполнение лазерным изделием предназначенных ему функций во всем предусмотренном диапазоне.

Функционирование не включает техническое и сервисное обслуживание.

3.64 предел фотохимической опасности (photochemical hazard limit): Предельно допустимый уровень или предел интенсивности доступного излучения, которые были установлены для защиты людей от неблагоприятных фотохимических эффектов.

В ультрафиолетовом диапазоне длин волн наличие предела фотохимической опасности позволяет защитить от вредных воздействий на роговицу и хрусталик, в то время как предел фотохимической опасности для сетчатки, определенный для диапазона длин волн от 400 до 600 нм, защищает сетчатку от фоторетинита – фотохимического повреждения сетчатки в результате воздействия излучения.

3.65 защитное ограждение (protective enclosure): Физическое средство для предотвращения попадания лазерного излучения на человека, за исключением случаев, когда доступ к лазерному излучению необходим для выполнения предусмотренных функций установки.

3.66 защитный кожух (protective housing): Части лазерного изделия (включая изделия, содержащие встроенный лазер), которые сконструированы для предотвращения попадания на человека лазерного излучения с интенсивностью, превышающей предписанный предел интенсивности доступного излучения (обычно установленный изготовителем).

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

3.68 импульсный лазер (pulsed laser): Лазер, который испускает излучение в форме одиночного импульса или серии импульсов.

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

3.69 энергетическая яркость (radiance): Величина, определяемая формулой

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

где $d\Phi$ – поток излучения, переносимый в элементарном пучке, проходящем через заданную точку и распространяющемся в телесном угле $d\Omega$, содержащем заданное направление;

dA – площадь сечения пучка, содержащего заданную точку;

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

Обозначение: L.

Единица СИ: $Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$.

[IEV 845-01-34, изменено]

Примечание – Данное определение является упрощенным вариантом определения IEV 845-01-34, достаточным для применения в настоящем стандарте. В случае возникновения сомнений следует применять определение, приведенное в IEV.

3.70 энергия излучения (radiant energy): Интеграл по времени от потока излучения за данный отрезок времени Δt:

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

[IEV 845-01-27]
Обозначение: Q.
Единица СИ: джоуль (Дж).

3.71 энергетическая экспозиция (radiant exposure): В точке на поверхности энергия излучения, падающего на элемент поверхности, деленная на площадь этого элемента:

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

Обозначение: H.
Единица СИ: джоуль на квадратный метр (Дж/м^2).

3.72 мощность излучения (поток излучения) [radiant power (radiant flux)]: Мощность испускаемого, передаваемого или принимаемого излучения:

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

[IEV 845-01-24]
Обозначение: Φ, P.
Единица СИ: ватт (Вт).

3.73 коэффициент отражения (reflectance): Отношение потока отраженного излучения к потоку падающего излучения при заданных условиях.

[IEV 845-04-58, изменено].
Обозначение: ρ.
Единица СИ: 1.

3.74 дистанционный блокировочный соединитель (remote interlock connector): Соединитель, который осуществляет соединение внешнего управления, размещенного вдали от компонентов лазерного изделия (см. 4.4).

3.75 защитная блокировка, обеспечивающая безопасность (safety interlock): Автоматическое устройство, связанное с каждой съемной частью защитного кожуха лазерного изделия, предотвращающее доступ человека к лазерному излучению класса 3R, класса 3B или класса 4, когда эта часть кожуха снимается, открывается или смещается (см. 4.3).

3.76 сканирующее лазерное излучение (scanning laser radiation): Лазерное излучение, место выхода, структура или направление распространения которого изменяются во времени по отношению к стационарной системе координат.

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

Сервисное обслуживание не включает в себя техническое обслуживание или функционирование.

3.78 сервисная панель (service panel): Панель доступа, которая предназначена для снятия или смещения во время сервисного обслуживания.

3.79 ситуация разовой неисправности (single fault condition): Любая разовая неисправность, которая может произойти в изделии, и прямые последствия этой неисправности.

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

3.81 зеркальное отражение (specular reflection): Отражение от поверхности, включая отражение от зеркал, при котором отраженное излучение может считаться пучком (см. 3.11).

Примечание – Это определение предназначено признать, что некоторые отражающие поверхности, такие как параболические отражатели, могут увеличить опасность от падающего излучения или по крайней мере оставить ее неизменной.

3.82 предел тепловой опасности (thermal hazard limit): Предельно допустимый уровень или предел интенсивности доступного излучения, который, в отличие от предела фотохимического повреждения, был установлен, чтобы защитить человека от неблагоприятных тепловых эффектов.

3.83 базовый промежуток времени (time base): Длительность излучения, принимаемая в качестве базовой при классифицировании лазерных изделий [см. 8.3, перечисление e)].

3.84 инструмент (tool): Отвертка, шестигранный ключ или другой предмет, который можно использовать для работы с винтами или другими средствами крепления.

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

[IEV 845-04-59, изменено]

Обозначение: τ.

Единица СИ: 1.

3.86 оптическая плотность (плотность пропускания) [transmittance (optical) density]: Десятичный логарифм величины, обратной коэффициенту пропускания τ:

[IEV 845-04-66]

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

Обозначение: D.

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

[IEV 845-01-03]

Примечание – В настоящем стандарте подразумевается электромагнитное излучение, длины волн монохроматических компонент которого лежат в диапазоне от 400 до 700 нм.

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

4 Технические требования

4.1 Общие замечания

В состав лазерных изделий должны входить некоторые характерные встроенные элементы безопасности, зависящие от класса, который установлен изготовителем. Требования к ним установлены в 4.2 – 4.12. Изготовитель должен гарантировать, что персонал, ответственный за классифицирование лазерных изделий и систем, прошел обучение соответствующего уровня, что позволяет ему понимать всю сущность схемы классифицирования.

Модификация

Если при модификации ранее классифицированного лазерного изделия изменяется какая-либо из его характеристик или предназначенных функций, относящихся к области применения настоящего стандарта, то сотрудник или организация, проводившие такую модификацию, ответственны за проведение нового классифицирования лазерного изделия и замену на нем соответствующих этикеток.

4.2 Защитный кожух

4.2.1 Общие положения

Каждое лазерное изделие должно иметь защитный кожух, который после его установки предотвращает доступ человека к лазерному излучению (включая отклоненное лазерное излучение) с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ для класса 1, за исключением случаев, когда доступ человека необходим для выполнения функции (функций) изделия.

Если классифицирование лазерного изделия основано на предотвращении доступа человека к излучению с уровнем интенсивности, эквивалентным классу 4 (например, для машин лазерной обработки изделий), то защитный кожух должен без вмешательства человека противостоять воздействию при разумно предвидимых ситуациях разовой неисправности (см. 9.1). Если размеры защитного кожуха позволяют войти человеку, применяются требования 4.12.

Техническое обслуживание лазерных изделий классов 1, 1M, 2, или 3R не должно давать возможности доступа человека к уровням интенсивности лазерного излучения класса 3B или класса 4. Техническое обслуживание лазерных изделий класса 3B не должно давать возможность доступа человека к уровням интенсивности лазерного излучения класса 4.

4.2.2 Сервисное обслуживание

Любые части кожуха или ограждения лазерного изделия (включая встроенные лазерные изделия), не имеющие блокировки (см. 4.3), которые могут быть сняты или смещены для проведения сервисного обслуживания и при этом откроется доступ к лазерному излучению, по интенсивности

превышающему установленный ПИДИ, должны быть закреплены таким образом, что для их снятия или смещения требуется применение инструмента.

4.2.3 Съемная лазерная система

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

4.3 Панели доступа и блокировки, обеспечивающие безопасность

4.3.1 Панели доступа защитных кожухов должны быть оборудованы блокировкой, обеспечивающей безопасность, при одновременном выполнении следующих условий:

a) панель доступа снимают или смещают при проведении технического обслуживания или работе;

b) снятие панели дает доступ к лазерному излучению с уровнями интенсивности, обозначенными знаком «X» в таблице 1.

В таблице 1 знаком «X» указывается необходимость наличия блокировки, обеспечивающей безопасность.

Таблица 1 – Наличие блокировки, обеспечивающей безопасность

Класс опасности изделия	Класс доступного излучения во время или после снятия панели доступа				
	1, 1M	2, 2M	3R	3B	4
1, 1M	–	–	X	X	X
2, 2M	–	–	X	X	X
3R	–	–	–	X	X
3B	–	–	–	X	X
4	–	–	–	X	X

Снятие панели не должно приводить к выходу через образовавшееся отверстие излучения с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ для класса 1M или класса 2M, применимых для соответствующих длин волн.

Если требуется блокировка, обеспечивающая безопасность, то при снятой панели она должна предотвратить доступ к лазерному излучению с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ, относящемуся к соответствующему классу согласно таблице 1. Случайный сброс блокировки не должен приводить к самостоятельному возобновлению генерации излучения с уровнем интенсивности, превышающим соответствующий ПИДИ, приведенный в таблице 1. Эти блокировки должны соответствовать требованиям, предъявляемым к изделиям стандартом IEC по безопасности (см. раздел 1).

Примечание – Требования 9.1 также применимы к блокировкам, т. е. блокировки должны быть надежны или с избытком удовлетворять предъявляемым к ним требованиям.

4.3.2 Если предусмотрена возможность отключения блокировки, то изготовитель должен предоставить пользователю адекватные инструкции по методам безопасной работы. Когда снятая панель возвращена в нормальное положение, для выполнения работы ранее отключенная блокировка должна быть вновь включена. Наличие блокировки должно подтверждаться этикеткой в соответствии с 5.9.2. Отключение блокировки должно сопровождаться отчетливо видимым или слышимым предупреждением всякий раз, когда на лазер подается электрическая энергия или конденсаторы неполностью разряжены, независимо от того, снята (смещена) панель доступа или нет. Визуальные предупреждения должны быть ясно видимыми через защитные очки, специально предназначенные для длины волны доступного лазерного излучения.

4.4 Дистанционный блокировочный соединитель

Лазерные системы класса 3B или класса 4 должны быть снабжены дистанционным блокировочным соединителем. Когда разъемы соединителя разъединены, доступное излучение не должно превышать по интенсивности ПИДИ изделия класса 1M или класса 2M в соответствии с применением.

4.5 Ручной перезапуск

Лазерная система класса 4 должна быть оборудована ручным перезапуском, позволяющим возобновлять генерацию доступного лазерного излучения класса 4 после прерывания генерации,

вызванного использованием дистанционного блокировочного соединителя или отключением на время более 5 с источника электрического питания.

Примечание – Изготовители могут поставлять второй блокировочный соединитель, который не требует активных действий для возобновления генерации, но поставка изделия с двумя соединителями не является обязательной.

4.6 Ключ управления

Лазерные системы класса 3B и класса 4 должны иметь управление с использованием индивидуального ключа. Ключ должен быть извлекаемым, и когда он извлечен, лазерное излучение не должно быть доступно.

Примечание – В настоящем стандарте термин «ключ» означает любые управляющие устройства, такие как магнитные карточки, комбинации чипов, компьютерные пароли и т. п.

4.7 Предупреждение о лазерном излучении

4.7.1 Лазерная система класса 3R, генерирующая излучение в диапазоне длин волн менее 400 нм или более 700 нм, и лазерные системы класса 3B и класса 4 должны удовлетворять установленным ниже требованиям.

4.7.2 Когда лазерная система включена или когда производится заряд конденсаторных батарей импульсного лазера или эти батареи неполностью разряжены, предупреждающее устройство должно подавать звуковой или визуальный сигнал. Предупреждающее устройство должно быть надежным или продублированным. Любой визуальный предупреждающий элемент должен быть ясно видимым через защитные очки, предназначенные для длины волны генерируемого лазерного излучения. Визуальный (ые) предупреждающий (ие) элемент (ы) должен (должны) быть расположен (ы) так, чтобы его (их) можно было видеть, не подвергаясь лазерному облучению с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ для классов 1M и 2M.

4.7.3 Операционная панель управления или лазерная апертура, которые могут быть на расстоянии 2 м или более от устройства, предупреждающего об излучении, сами должны быть оборудованы предупреждением об излучении. Предупреждающее устройство должно быть ясно видимым или слышимым лицам, находящимся у операционной панели управления или у лазерной апертуры.

4.7.4 Если лазерное излучение может выходить более чем через одну апертуру, то в соответствии с 4.7.2 визуальный предупреждающий элемент должен четко указывать выходную апертуру или апертуры, через которые оно может выходить.

4.8 Блокиратор излучения или ослабитель

Лазерные системы класса 3B и класса 4 должны быть оборудованы одним или более постоянно находящимся при них средством ослабления излучения (например, блокиратором излучения, ослабителем, выключателем). Блокиратор излучения или ослабитель должны предотвращать доступ человека к лазерному излучению с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ для класса 1M или класса 2M в соответствии с применением.

4.9 Панель управления

Лазерное изделие должно иметь панель управления, расположенную так, чтобы настройка и работа изделия не приводили к облучению лазерным излучением, эквивалентным генерируемому изделиями класса 3R, класса 3B или класса 4.

4.10 Оптические элементы наблюдения

Оптические элементы наблюдения, окно для наблюдения или экран индикации, входящие в состав лазерного изделия, должны обеспечивать достаточное ослабление излучения, чтобы предотвратить доступ человека к лазерному излучению с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ для класса 1M. Любой затвор или регулируемый ослабитель, входящий в состав оптических элементов наблюдения, окна для наблюдения или экрана индикации, должны обеспечивать:

a) предотвращение доступа человека к лазерному излучению с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ для класса 1M, когда затвор открыт или ослабитель изменяет уровень ослабления;

b) предотвращение открывания затвора или изменения уровня ослабления ослабителя, когда возможно превышение ПИДИ для класса 1M.

4.11 Меры безопасности при сканировании

Лазерные изделия, предназначенные для испускания сканирующего излучения и классифицированные с учетом этого предназначения, не должны допускать при неисправностях, изменениях скорости или амплитуды сканирования попадания на человека лазерного излучения с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ для установленного класса, за исключением случаев, когда в течение времени между возникновением неисправности и моментом, когда защитное устройство уменьшит интенсивность излучения до уровня, не превышающего ПИДИ для класса изделия, облучение людей не предвидится (см. также 9.1).

4.12 Доступ внутрь

Если защитный кожух оборудован панелью доступа, которая позволяет осуществлять доступ внутрь кожуха, то:

a) лазерное изделие должно быть снабжено средствами, обеспечивающими предотвращение включения изделия класса 3B или класса 4 любым лицом, находящимся внутри кожуха;

b) предупреждающее устройство должно быть расположено так, чтобы обеспечить адекватное предупреждение любого лица, которое может быть внутри кожуха, о генерации лазерного излучения класса 3R в диапазоне длин волн менее 400 нм или более 700 нм или лазерного излучения класса 3B или класса 4;

c) там, где предусмотрен или достаточно предсказуем доступ человека внутрь кожуха изделия класса 1, класса 2 или класса 3R, должна быть предусмотрена защита инженерными средствами от излучения, эквивалентного классу 3B или классу 4.

Примечание – К средствам, предотвращающим доступ человека к излучению, когда он находится внутри защитного кожуха, относятся чувствительные к давлению напольные маты, инфракрасные детекторы и др.

4.13 Условия окружающей среды

Лазерное изделие должно соответствовать требованиям безопасности, установленным в настоящем стандарте, при всех ожидаемых условиях работы в соответствии с его предназначением. Следует учитывать следующие факторы:

– климатические условия (например, температура, относительная влажность);

– вибрацию и удары.

Если в правилах техники безопасности изделия нет соответствующих указаний, то следует применять соответствующие подразделы IEC 61010-1.

Примечание – Требования, касающиеся электромагнитной восприимчивости, находятся в стадии рассмотрения.

4.14 Защита от других опасных факторов

4.14.1 Неоптические опасные факторы

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

– электрические опасные факторы;

– высокие температуры;

– распространение огня от оборудования;

– звук и ультразвук;

– вредные вещества;

– взрыв.

Если в правила техники безопасности изделия не включены соответствующие указания, то следует применять соответствующие подразделы IEC 61010-1.

Примечание – Во многих странах действуют национальные нормативные документы по контролю вредных веществ. В отношении их требований следует связываться с соответствующим национальным агентством.

4.14.2 Сопутствующее излучение

Защитные кожухи лазерных изделий обычно защищают от опасного сопутствующего излучения (например, ультрафиолетового, видимого, инфракрасного излучения). Однако если есть предположение, что доступное сопутствующее излучение может быть опасным, то для оценивания потенциального риска допускается применять значения ПДУ для лазера.

5 Маркировка

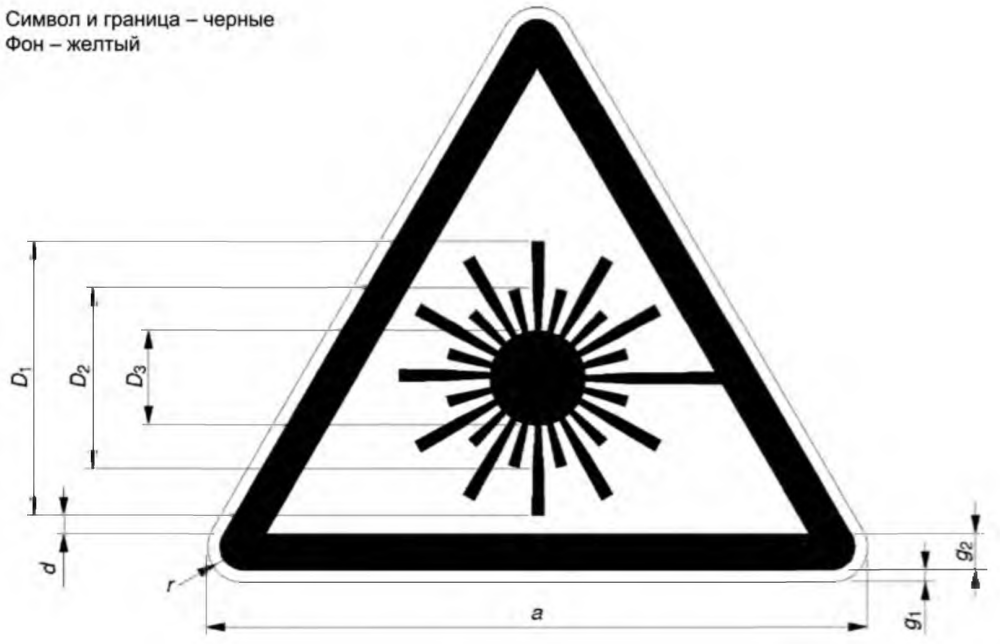
5.1 Общие положения

Лазерное изделие должно иметь этикетку (и) в соответствии с требованиями следующих подразделов. Этикетки должны быть надежно закреплены, прочными, четкими, ясно видимыми во время работы, технического или сервисного обслуживания в соответствии с их предназначением. Они должны быть так расположены, чтобы их можно было прочитать, не подвергая человека воздействию лазерного излучения с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ для класса 1. Очертания текста и символы должны быть черными на желтом фоне, за исключением этикеток для класса 1, для которых эта комбинация цветов может не применяться.

Тексты этикеток, приведенные в настоящем разделе, являются рекомендательными, а не обязательными. Они могут быть заменены другими, имеющими тот же смысл.

Если размер или конструкция изделия делают маркировку невозможной, то этикетка должна быть включена в информацию для пользователя или нанесена на упаковку.

Примечание – Допускается прямая печать или гравировка этикеток на лазерном изделии или панели управления.



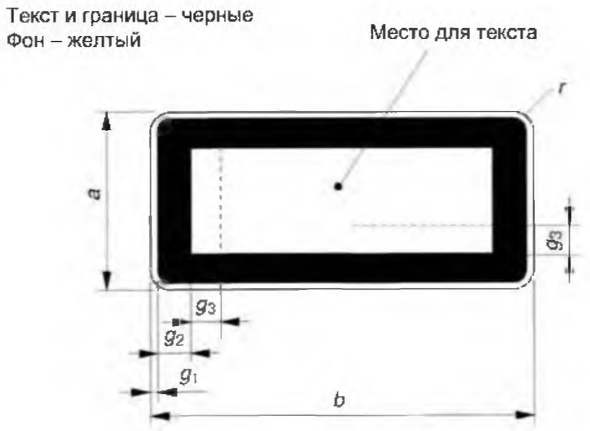
В миллиметрах

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
D_1, D_2, D_3, g_1 и d имеют рекомендательные значения.							

Примечание 1 – Соотношение между наибольшим расстоянием L, с которого этикетка может быть еще понята, и минимальной площадью A этой этикетки определяется как $A = L^2 / 2\,000$, где A и L выражены в квадратных метрах и метрах соответственно. Эта формула применима при L менее 50 м.

Примечание 2 – Приведенные размеры имеют рекомендательные значения. При сохранении пропорциональности размеров символы и границы могут быть любого, отчетливо видимого размера, соответствующего размеру лазерного изделия.

Рисунок 1 – Предупреждающая этикетка. Знак лазерной опасности



В миллиметрах

a × b	g_1	g_2	g_3	r	Минимальная высота букв
26 × 52	1	4	4	2	Размер букв должен обеспечивать их ясное прочтение
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	
g_1 имеет рекомендательные значения.					

Примечание 1 – Соотношение между наибольшим расстоянием *L*, с которого этикетка может быть еще понята, и минимальной площадью *A* этой этикетки определяется как $A = L^2 / 2\,000$, где *A* и *L* выражены в квадратных метрах и метрах соответственно. Эта формула применима при *L* менее 50 м.

Примечание 2 – Приведенные размеры имеют рекомендательные значения. Этикетка может быть любого размера, необходимого для размещения требуемого текста и окантовки. Минимальная ширина каждого канта g_2 и g_3 должна составлять 0,06 длины короткой стороны этикетки.

Рисунок 2 – Поясняющая этикетка

5.2 Класс 1 и класс 1М

За исключением разрешенного случая, описанного в разделе 1, лазерное изделие класса 1 должно иметь прикрепленную к нему поясняющую этикетку (рисунок 2), содержащую следующий текст:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 1

CLASS 1 LASER PRODUCT

Лазерное изделие класса 1М должно иметь прикрепленную к нему поясняющую этикетку (рисунок 2), содержащую следующий текст:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
НЕ СМОТРЕТЬ В ПУЧОК ЧЕРЕЗ ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ
ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 1М

LASER RADIATION
DO NOT VIEW DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS
CLASS 1M LASER PRODUCT

Вместо приведенных выше этикеток по усмотрению изготовителя такие же формулировки могут быть включены в информацию для пользователя.

Тип оптического прибора, который может привести к повышению степени потенциальной опасности, может быть дополнительно указан в скобках после слова «приборы» в этикетке для класса 1М. В частности, могут быть добавлены слова «(БИНОКЛИ ИЛИ ТЕЛЕСКОПЫ – BINOCULARS OR TELESCOPES)» для лазерного изделия с коллимированным пучком большого диаметра, которое классифицируется как изделие класса 1М, так как оно не удовлетворяет критерию для класса 1 при измерениях в режиме 1 (см. раздел 9), или «(УВЕЛИЧИВАЮЩИЕ ЛИНЗЫ – MAGNIFIERS)» для лазерного изделия, классифицированного как изделие класса 1М, так как оно не удовлетворяет критерию для класса 1 при измерениях в режиме 2 (см. раздел 9) (сильно расходящийся пучок).

В качестве альтернативы вторая строка этикетки для класса 1М может быть «НЕ СМОТРЕТЬ ЧЕРЕЗ БИНОКЛИ ИЛИ ТЕЛЕСКОПЫ – DO NOT EXPOSE USERS OF BINOCULARS OR TELESCOPES».

Если интенсивность доступного излучения, определенная с апертурой диаметром 3,5 мм, помещенной как можно ближе к точке доступа человека, превышает ПИДИ для класса 3В, то делается дополнительное предупреждение на этикетке изделия и информации для пользователя:

ОБЛУЧЕНИЕ КОЖИ ВОЗЛЕ АПЕРТУРЫ МОЖЕТ ВЫЗВАТЬ ОЖОГИ

SKIN EXPOSURE NEAR APERTURE MAY CAUSE BURNS

Примечание – Применяют только в случаях, когда для определения ПИДИ используется режим 2.

5.3 Класс 2 и класс 2М

Лазерное изделие класса 2 должно иметь две прикрепленные этикетки: предупреждающую (рисунок 1) и поясняющую (рисунок 2) со следующим текстом:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
НЕ СМОТРЕТЬ В ПУЧОК
ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 2

LASER RADIATION
DO NOT STARE INTO THE BEAM
CLASS 2 LASER PRODUCT

Лазерное изделие класса 2М должно иметь две прикрепленные этикетки: предупреждающую (рисунок 1) и поясняющую (рисунок 2) со следующим текстом:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
НЕ СМОТРЕТЬ ПРЯМО В ПУЧОК ИЛИ ЧЕРЕЗ ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ
ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 2М

LASER RADIATION
DO NOT STARE INTO THE BEAM OR VIEW DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS
CLASS 2M LASER PRODUCT

Тип оптического прибора, который может привести к повышению степени потенциальной опасности, может быть добавлен в скобках после слова «приборы». В частности, могут быть добавлены слова «(БИНОКЛИ ИЛИ ТЕЛЕСКОПЫ – BINOCULARS OR TELESCOPES)» для лазерного изделия с коллимированным пучком большого диаметра, которое классифицируется как изделие класса 2М, так как оно не удовлетворяет критерию для класса 2 при измерениях в режиме 1 (см. раздел 9), или «(УВЕЛИЧИВАЮЩИЕ ЛИНЗЫ – MAGNIFIERS)» для лазерного изделия, классифицированного как изделие класса 2М, так как оно не удовлетворяет критерию для класса 2 при измерениях в режиме 2 (см. раздел 9) (сильно расходящийся пучок).

В качестве альтернативы вторая строка этикетки для изделия класса 2М может быть «НЕ СМОТРЕТЬ ЧЕРЕЗ БИНОКЛИ ИЛИ ТЕЛЕСКОПЫ – DO NOT EXPOSE USERS OF BINOCULARS OR TELESCOPES».

Если интенсивность доступного излучения, определенная с апертурой диаметром 3,5 мм, помещенной как можно ближе к точке доступа человека, превышает ПИДИ для класса 3В, то делается дополнительное предупреждение на этикетке изделия и в информации для пользователя:

ОБЛУЧЕНИЕ КОЖИ ВОЗЛЕ АПЕРТУРЫ МОЖЕТ ВЫЗВАТЬ ОЖОГИ

SKIN EXPOSURE NEAR APERTURE MAY CAUSE BURNS

Примечание – Применяют только в случаях, когда для определения ПИДИ используется режим 2.

5.4 Класс 3R

Лазерное изделие класса 3R должно иметь две прикрепленные этикетки: предупреждающую (рисунок 1) и поясняющую (рисунок 2) со следующим текстом:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
ИЗБЕГАТЬ ПРЯМОГО ОБЛУЧЕНИЯ ГЛАЗ
ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 3R

LASER RADIATION
AVOID DIRECT EYE EXPOSURE
CLASS 3R LASER PRODUCT

Примечание – Во второй строке также допустимо выражение «ИЗБЕГАТЬ ОБЛУЧЕНИЯ ПУЧКОМ – AVOID EXPOSURE TO BEAM».

5.5 Класс 3B

Лазерное изделие класса 3B должно иметь две прикрепленные этикетки: предупреждающую (рисунок 1) и поясняющую (рисунок 2) со следующим текстом:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
ИЗБЕГАТЬ ОБЛУЧЕНИЯ ПУЧКОМ
ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 3B

LASER RADIATION
AVOID EXPOSURE TO BEAM
CLASS 3B LASER PRODUCT

5.6 Класс 4

Лазерное изделие класса 4 должно иметь две прикрепленные этикетки: предупреждающую (рисунок 1) и поясняющую (рисунок 2) со следующим текстом:

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
ИЗБЕГАТЬ ОБЛУЧЕНИЯ ГЛАЗ ИЛИ КОЖИ ПРЯМЫМ ИЛИ РАССЕЯННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ
ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА 4

LASER RADIATION
AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE TO DIRECT OR SCATTERED RADIATION
CLASS 4 LASER PRODUCT

5.7 Апертурная этикетка

Лазерное изделие класса 3R, класса 3B и класса 4 должно иметь этикетку, прикрепленную рядом с апертурой, через которую выходит излучение с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ для класса 1 или класса 2. Этикетка (и) должна (ы) содержать следующий текст:

ЛАЗЕРНАЯ АПЕРТУРА

LASER APERTURE,

или

АПЕРТУРА ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

APERTURE FOR LASER RADIATION,

или

ИЗБЕГАТЬ ОБЛУЧЕНИЯ – ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ВЫХОДИТ ЧЕРЕЗ ЭТУ АПЕРТУРУ

AVOID EXPOSURE – LASER RADIATION IS EMITTED FROM THIS APERTURE

5.8 Информация о выходящем излучении и стандартах

В пояснительной этикетке или в непосредственной близости от нее должны быть указаны наименование и дата опубликования стандарта, в соответствии с которым было классифицировано лазерное изделие. Лазерное изделие, за исключением изделия класса 1, должно иметь пояснительную этикетку (рисунок 2), содержащую сведения о максимальной интенсивности лазерного излучения (см. 3.55), длительности импульса (для импульсного лазера) и длине (ах) волны генерации. Для лазерных изделий класса 1 и класса 1M соответствующие сведения могут быть приведены не на этикетке, а в информации для пользователя.

5.9 Этикетки на панелях доступа

5.9.1 Этикетки на панелях

Каждое соединение, каждая панель защитного кожуха и каждая панель доступа в защитном кожухе, которые при удалении или смещении открывают доступ человека к лазерному излучению с пределом интенсивности, превышающим ПИДИ для класса 1, должны иметь прикрепленные этикетки, содержащие следующий текст (для встроенного лазера класса 1М вместо этикетки это предупреждение может быть внесено в информацию для пользователя):

a)

ОСТОРОЖНО – ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЛАЗЕРА КЛАССА 1М, КОГДА ОТКРЫТО
НЕ СМОТРЕТЬ ПРЯМО В ПУЧОК ЧЕРЕЗ ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

CAUTION – CLASS 1M LASER RADIATION WHEN OPEN
DO NOT VIEW DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS,

если интенсивность доступного лазерного излучения при измерении в соответствии с 9.2, перечисление g), и 9.3 не превышает ПИДИ для класса 1М;

b)

ОСТОРОЖНО – ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЛАЗЕРА КЛАССА 2, КОГДА ОТКРЫТО
НЕ СМОТРЕТЬ В ПУЧОК

CAUTION – CLASS 2 LASER RADIATION WHEN OPEN
DO NOT STARE INTO THE BEAM,

если интенсивность доступного лазерного излучения при измерении в соответствии с 9.2, перечисление h), и 9.3 не превышает ПИДИ для класса 2;

c)

ОСТОРОЖНО – ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЛАЗЕРА КЛАССА 2М, КОГДА ОТКРЫТО
НЕ СМОТРЕТЬ ПРЯМО В ПУЧОК ИЛИ ЧЕРЕЗ ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

CAUTION – CLASS 2M LASER RADIATION WHEN OPEN
DO NOT STARE INTO THE BEAM OR VIEW DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS,

если интенсивность доступного лазерного излучения при измерении в соответствии с 9.2, перечисление h), и 9.3 не превышает ПИДИ для класса 2М;

d)

ОСТОРОЖНО – ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЛАЗЕРА КЛАССА 3R, КОГДА ОТКРЫТО
ИЗБЕГАТЬ ПРЯМОГО ОБЛУЧЕНИЯ ГЛАЗ

CAUTION – CLASS 3R LASER RADIATION WHEN OPEN
AVOID DIRECT EYE EXPOSITION,

если интенсивность доступного лазерного излучения не превышает ПИДИ для класса 3R.

Примечание – Во второй строке также допустимо выражение «ИЗБЕГАТЬ ОБЛУЧЕНИЯ ПУЧКОМ – AVOID EXPOSURE TO BEAM»;

e)

ОСТОРОЖНО – ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 3В, КОГДА ОТКРЫТО
ИЗБЕГАТЬ ОБЛУЧЕНИЯ ПУЧКОМ

CAUTION – CLASS 3B LASER RADIATION WHEN OPEN
AVOID EXPOSURE TO THE BEAM,

если интенсивность доступного лазерного излучения не превышает ПИДИ для класса 3В;

f)

ОСТОРОЖНО – ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 4, КОГДА ОТКРЫТО
ИЗБЕГАТЬ ОБЛУЧЕНИЯ ГЛАЗ ИЛИ КОЖИ ПРЯМЫМ ИЛИ РАССЕЯННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

CAUTION – CLASS 4 LASER RADIATION WHEN OPEN
AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE TO DIRECT OR SCATTERED RADIATION,

если интенсивность доступного лазерного излучения превышает ПИДИ для класса 3В.

Эта информация может быть помещена более чем на одной этикетке на изделии.

5.9.2 Этикетки для панелей блокировок, обеспечивающих безопасность

Все блокировки, обеспечивающие безопасность, которые могут быть легко отключены, и при этом открывается доступ человека к лазерному излучению с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ для класса 1, должны иметь соответствующие этикетки. Такие этикетки должны быть видимы как до, так и во время отключения блокировки. Они должны располагаться в непосредственной близости от отверстия, открывающегося при снятии защитного кожуха. Такая этикетка вместе с текстом, указанным в 5.9.1, перечисления a) – f), в зависимости от применения, должна содержать расположенную ниже дополнительную строку со следующим текстом:

И ПРИ ОТКЛЮЧЕННЫХ БЛОКИРОВКАХ

AND INTERLOCKS DEFEATED

5.10 Предупреждение о невидимом лазерном излучении

Во многих случаях формулировки для этикеток, приведенные в настоящем разделе, включают словосочетание «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – LASER RADIATION». Если выходящее лазерное излучение лежит вне диапазона длин волн от 400 до 700 нм, то это сочетание следует заменить на «НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – INVISIBLE LASER RADIATION», а если лазерное излучение лежит как вне, так и внутри указанного диапазона длин волн, то сочетание следует заменить на «ВИДИМОЕ И НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – VISIBLE AND INVISIBLE LASER RADIATION».

Если изделие классифицировано на основе уровня для видимого лазерного излучения и также генерирует излучение с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ для класса 1 в невидимой области спектра, то в этикетку должны быть включены слова «ВИДИМОЕ И НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – VISIBLE AND INVISIBLE LASER RADIATION» вместо «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – LASER RADIATION».

5.11 Предупреждение о видимом лазерном излучении

Словосочетание «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – LASER RADIATION» на этикетках в настоящем разделе может быть заменено на «ЛАЗЕРНЫЙ СВЕТ – LASER LIGHT», если выходная мощность лазерного изделия лежит в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм.

6 Другие требования к информации

6.1 Информация для пользователя

Изготовители лазерных изделий должны предоставить инструкции или руководство пользователя, которые содержат всю существенную информацию по технике безопасности. На изготовителя возлагается ответственность по предоставлению информации, указанной ниже, а также по его усмотрению любой другой дополнительной информации.

Примечание – Информация, которая существенна или несущественна, зависит от конкретного изделия, включая его применение, и может даже быть объектом национальной стандартизации.

Должна быть представлена следующая информация:

a) надлежащие инструкции для правильной установки, технического обслуживания, безопасного использования, содержащие четкие предупреждения относительно предосторожностей, которые следует соблюдать, чтобы избежать воздействия опасного лазерного излучения, и описание ограничений для данного класса, если это целесообразно (см. в приложении C описания классов и возможных ограничений);

b) дополнительное предупреждение для лазерных изделий классов 1M и 2M. Для расходящихся пучков это предупреждение должно констатировать, что наблюдение выходящего лазерного излучения с помощью некоторых оптических приборов (например, луп, увеличительных линз или микроскопов) в пределах расстояния 100 мм может представлять опасность для глаз. Для коллимированных пучков это предупреждение должно констатировать, что наблюдение выходящего лазерного излучения с помощью некоторых оптических приборов, предназначенных для наблюдения с больших расстояний (например, телескопов или биноклей), может представлять опасность для глаз;

c) для лазерного излучения с уровнями интенсивности выше ПИДИ для класса 1 – описание любых характеристик излучения, исходящего из защитного кожуха во время работы лазера и проведения технического обслуживания. Там, где это применимо, оно должно содержать выраженные в соответствующих единицах:

– длину волны;

– угол расходимости пучка;

– длительность импульсов и частоту следования импульсов (или описание нерегулярной импульсной последовательности);

– максимальную выходную мощность или энергию излучения.

Эти данные должны по возможности включать суммарную неопределенность измерений и любое ожидаемое изменение измеренных величин в любое время после изготовления изделия. Не следует указывать длительность импульсов, возникающих в результате спонтанной синхронизации мод, однако следует указать условия, приводящие к самосинхронизации мод. Для ультракоротких импульсов следует установить ширину полосы излучения (т. е. диапазон длин волн генерации);

d) для встроенных и других сгруппированных лазерных изделий – информация относительно сгруппированного лазера [см. перечисление c)]. Информация должна также включать соответствующие инструкции по технике безопасности для пользователя, чтобы избежать случайного воздействия опасного лазерного излучения. Это особенно актуально для встроенных лазерных изделий, классифицированных как класс 1, класс 1M, класс 2 или класс 2M, для которых во время технического обслуживания возможно наблюдение доступного лазерного излучения в пучке с уровнями интенсивности, превышающими ПИДИ для этих классов. В этом случае изготовитель должен включить в информацию предупреждение, что наблюдение в пучке должно быть предотвращено;

e) если это целесообразно и уместно – применимые ПДУ и НОРЗ для лазерных изделий класса 3B и класса 4. Так как НОРЗ существенно зависит от системы транспортировки излучения и оптических элементов, размещенных в пучке, то, когда это уместно, рекомендуется, чтобы различные значения НОРЗ были приведены для различных приспособлений или систем транспортировки излучения. Если угол расходимости пучка изменяется, то НОРЗ может быть приведено для некоторых выбранных значений угла расходимости. Когда значения ПДУ и НОРЗ установлены, предполагаемая длительность облучения для определения этих значений также должна быть установлена. Для коллимированных пучков лазеров класса 1M и класса 2M там, где это целесообразно и уместно, должно быть установлено расширенное номинальное опасное расстояние для зрения; РНОРЗ.

Примечание – Конкретная информация о НОРЗ, как правило, не требуется для коллимированных пучков, которые будут использоваться в помещениях. В этом случае, как правило, достаточно только указать размеры области, в которой ПДУ может быть превышен;

f) в соответствующих случаях – информация для выбора средства защиты глаз от лазерного излучения. Она должна включать требуемую оптическую плотность, а также уровни облученности или энергетической экспозиции излучения, которое может попадать на поверхность средства защиты глаз, чтобы можно было определить уровни стойкости.

Примечание – Многие страны имеют свои нормативные документы и стандарты для средств индивидуальной защиты. В отношении этих требований следует связываться со своим национальным агентством;

g) четкие репродукции (возможно, цветные) всех требуемых этикеток и предупреждений об опасности, прикрепленных к лазерному изделию или поставляемых с ним. Соответствующее положение каждой прикрепленной к изделию этикетки должно быть указано, или, если в поставляемой с изделием инструкции указано, что этикетки не могут быть прикреплены к продукции, но были поставлены вместе с ним, в инструкции должны быть предусмотрены порядок и способ поставки этикеток;

h) четкое указание в руководстве всех положений лазерных апертур, через которые выходит лазерное излучение с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ для класса 1;

i) список процедур по проверке, регулировке, работе и техническому обслуживанию с предупреждением «Осторожно – Проведение процедур по проверке, регулировке или работе, не указанных в данном документе, может привести к опасному облучению» (или соответствующие предупреждения подобного характера);

j) в случае, если в комплектацию лазерных изделий не входит источник возбуждения лазера, необходимый для генерации лазерного излучения, – заявление о соответствии источника возбуждения лазера требованиям обеспечения безопасности.

6.2 Информация для покупателя и сервисного обслуживания

Изготовители лазерных изделий должны предоставить или инициировать обеспечение следующих сведений:

a) во всех каталогах, спецификациях и брошюрах, содержащих описание, должны быть указаны класс каждого лазерного изделия и одно из предупреждений согласно 6.1, перечисление b), соответствующее данному изделию;

b) для работников сервисного обслуживания, продавцов и по требованию других лиц – исчерпывающие инструкции по выполнению сервисных регулировок и сервисных процедур для каждой модели лазерного изделия, которые должны содержать:

– четкие предупреждения и меры предосторожности, которые должны быть предприняты, чтобы избежать возможного воздействия лазерного излучения с уровнем интенсивности, превышающим ПИДИ для класса 1;

– график технического обслуживания, необходимого для сохранения технических характеристик изделия;

– список проверок и процедур, которые могут быть выполнены лицами, не относящимися к изготовителю или его агентам, с целью увеличения интенсивности доступного излучения;

– четкое описание расположения съемных частей защитного кожуха, которые могут обеспечить доступ к лазерному излучению с уровнями интенсивности, превышающими допустимые пределы, приведенные в таблицах 4 – 9;

– методы защиты обслуживающего персонала;

– четкие репродукции (возможно, цветные) требуемых этикеток и предупреждений об опасности.

7 Дополнительные требования для специальных лазерных изделий

7.1 Другие части IEC серии 60825

Для специальных применений применяют один из следующих стандартов IEC серии 60825 (см. также библиографию):

– IEC 60825-2 «Безопасность оптоволоконных систем связи» (содержит указания по применению и примеры);

– IEC 60825-4 «Лазерные ограждения» (содержит информацию о дизайне и конструкциях лазерных ограждений и материалах, особенно когда используют лазеры высокой мощности);

– IEC 60825-12 «Безопасность беспроводных оптических систем связи, используемых для передачи информации».

Дополнительная информация содержится в:

– IEC/TR 60825-3 «Руководство по применению лазеров для зрелищных мероприятий»;

– IEC/TR 60825-5 «Контрольный лист изготовителя по IEC 60825-1» (подходит для использования в отчете по безопасности);

– IEC/TR 60825-8 «Руководство по безопасному использованию воздействия лазерного излучения на людей»;

– IEC/TR 60825-9 «Компиляция данных по предельно допустимым уровням облучения некогерентным оптическим излучением» (широкополосные источники);

– IEC/TR 60825-10 «Руководство по применению и пояснительные комментарии к IEC/TR 60825-1»;

– IEC/TR 60825-13 «Измерения для проведения классификации лазерных изделий»;

– IEC/TR 60825-14 «Руководство пользователя»;

– IEC 62471 (CIE S009) «Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем».

7.2 Медицинские лазерные изделия

Медицинское лазерное изделие должно удовлетворять соответствующим требованиям для лазерных изделий своего класса. Кроме того, любое медицинское лазерное изделие класса 3B или класса 4 должно удовлетворять требованиям IEC 60601-2-22.

7.3 Машины для лазерной обработки

Машины для лазерной обработки должны удовлетворять соответствующим требованиям для лазерных изделий своего класса. Кроме того, машины для лазерной обработки должны удовлетворять требованиям ISO/IEC 11553-1.

7.4 Электрические игрушки

Электрические игрушки, которые являются лазерными изделиями, должны удовлетворять соответствующим требованиям для лазерных изделий своего класса. Кроме того, эти изделия должны удовлетворять требованиям IEC 62115.

7.5 Потребительские электронные изделия

Потребительские электронные изделия, которые являются лазерными изделиями, должны удовлетворять соответствующим требованиям для лазерных изделий своего класса. Кроме того, они

должны удовлетворять одному из следующих стандартов: IEC 60950 (оборудование высоких технологий), IEC 60065 (аудио- и видеооборудование).

8 Классифицирование

8.1 Введение

Вследствие широких диапазонов возможных длин волн, уровней энергии и импульсных характеристик лазерного излучения потенциально опасные факторы, возникающие при его использовании, довольно многообразны. Лазеры нельзя рассматривать как одну группу изделий, к которой применимы общие пределы интенсивности безопасного излучения. В приложении С более детально описаны виды опасности, связанные с классами, и возможные ограничения (например, которые могут возникнуть при использовании оптических приборов при наблюдении).

8.2 Ответственность за классификацию

Ответственность за правильную классификацию лазерного изделия лежит на изготовителе или его агенте (см. также 4.1).

Изделие должно быть классифицировано на основе такой комбинации выходной мощности (ей) и длины (длин) волн доступного лазерного излучения во всем диапазоне его характеристик при работе в любое время после изготовления, которая приведет к отнесению его к высшему соответствующему классу.

Лазерное изделие может быть отнесено к конкретному классу только тогда, когда оно удовлетворяет всем требованиям, установленным в настоящем стандарте для этого класса, например техническому контролю, маркировке и информации для пользователя.

8.3 Правила классифицирования

Для установления правил классифицирования следует использовать следующее ранжирование классов (в порядке возрастания степени опасности): класс 1, класс 1М, класс 2, класс 2М, класс 3R, класс 3В, класс 4.

Примечание – Для отнесения лазерного изделия к классу 1М или 2М использование апертуры, указанной в режиме 3, ограничивает энергию излучения, получаемую из пучков большого диаметра или из сильно расходящихся пучков. Например, лазерные изделия класса 1М и класса 2М, когда на них выполняют измерения в условиях применения, могут иметь более высокие значения полной энергии или мощности, чем изделия класса 2 или класса 3R. Отнесение таких лазерных изделий к классу 1М или 2М является правильным.

ПИДИ для классов 1 и 1М, классов 2 и 2М, класса 3R и класса 3В приведены в таблицах 4 – 9. Значения используемых поправочных коэффициентов приведены в таблице 10 как функции длины волны, длительности излучения, числа импульсов и углового размера источника.

a) Излучение на одной длине волны.

Лазерное изделие, генерирующее излучение на одной длине волны, когда спектральная ширина линии излучения достаточно узкая, так что в ее пределах ПИДИ не изменяется, относится к классу, для которого интенсивность доступного лазерного излучения, измеренная в условиях, соответствующих этому классу, превышает ПИДИ для всех более низких классов, но не превышает ПИДИ для класса, к которому отнесено изделие.

b) Излучение на нескольких длинах волн:

1) лазерное изделие, генерирующее излучение на двух или более длинах волн в спектральных областях, показанных в таблице 2 как аддитивные, относится к такому классу, для которого сумма отношений интенсивностей доступного лазерного излучения (измеренных в условиях, соответствующих данному классу) к ПИДИ для этих длин волн больше единицы для всех более низких классов, но не превышает единицу для установленного класса;

2) лазерное изделие, генерирующее излучение на двух или более длинах волн, не указанных в таблице 2 как аддитивные, относится к такому классу, для которого интенсивность доступного лазерного излучения, измеренная в условиях, соответствующих данному классу, превышает ПИДИ для всех более низких классов по крайней мере для одной длины волны, но не превышает ПИДИ для класса, установленного для любой другой длины волны.

c) Излучение от протяженных источников.

Степень опасности повреждения зрения излучением от лазерного источника в диапазоне длин волн от 400 до 1 400 нм зависит от углового размера α видимого источника.

Примечание 1 – Источник считается протяженным, если угловой размер источника больше α_{min}, где α_{min} = 1,5 мрад. Большинство лазерных источников имеют угловой размер α меньше α_{min} и рассматриваются как видимые «точечные источники» (малые источники), когда наблюдаются в пучке. Фактически лазерный

пучок круглого сечения не может быть сколлимирован с углом расходимости менее 1,5 мрад, если он создан протяженным источником. Таким образом, любой лазер, угол расходимости излучения которого составляет 1,5 мрад или менее, не может рассматриваться как протяженный источник.

Примечание 2 – При оценивании степени опасности теплового повреждения сетчатки (от 400 до 1 400 нм) ПИДИ для протяженных источников изменяется непосредственно с изменением углового размера источника. При оценивании опасности фотохимического повреждения сетчатки (от 400 до 600 нм) для времени облучения более 1 с ПИДИ не изменяется непосредственно с изменением углового размера источника. В зависимости от длительности излучения [см. 9.3.3 перечисление b)1)] используется предельный угол восприятия γ_{th}, равный 11 мрад или более, при этом отношение предельного угла восприятия γ_{ph} к угловому размеру α видимого источника может влиять на измеряемое значение.

Примечание 3 – Для заданного по умолчанию условия $C_6 = 1$ предусмотрена упрощенная таблица 4 ПИДИ для классов 1 и 1М.

Таблица 2 – Аддитивность действия излучения в различных спектральных областях на глаза и кожу

Спектральная область [a]	УФ-С и УФ-В от 180 до 315 нм	УФ-А от 315 до 400 нм	Видимая и ИК-А от 400 до 1 400 нм	ИК-В и ИК-С от 1 400 до 10^6 нм
УФ-С и УФ-В от 180 до 315 нм	o s			
УФ-А от 315 до 400 нм		o s	s	o s
Видимая и ИК-А от 400 до 1 400 нм		s	o [b] s	s
ИК-В и ИК-С от 1 400 до 10^6 нм		o s	s	o s
o – глаза; s – кожа.				

[a] Определения спектральных областей приведены в таблице D.1.

[b] Если ПИДИ и ПДУ для глаз оценены для базовых промежутков времени или длительностей облучения 1 с или более, аддитивные фотохимические эффекты (от 400 до 600 нм) и аддитивные тепловые эффекты (от 400 до 1 400 нм) должны оцениваться независимо, и следует использовать наиболее жесткие ограничивающие значения.

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

Для классифицирования лазерных изделий при наиболее ограничивающих условиях, когда применяют режим 1 (см. 9.3.3), для определения C_6 можно применить семикратное увеличение углового размера α видимого источника, т. е. $C_6 = 7 \times \alpha/\alpha_{min}$. Перед вычислением C_6 выражение $(7 \times \alpha)$ должно быть уменьшено до α_{max}. Для определения T_2 из таблицы 10 следует использовать семикратно увеличенное значение α.

Примечание – Для случаев, когда $\alpha < 1{,}5$ мрад, но $7 \times \alpha > 1{,}5$ мрад, применимы пределы, указанные в таблицах 5 и 8 для $\alpha > 1{,}5$ мрад.

d) Неоднородный профиль изображения на сетчатке, некруглые и многоэлементные источники.

Если диапазон длин волн от 400 до 1 400 нм и ПИДИ зависит от C_6, то, если изображение на сетчатке имеет неоднородный профиль облученности * или состоит из множества точек, для сравнения с пределами теплового повреждения сетчатки измерения или оценки должны быть выполнены для каждого из следующих сценариев:

– для каждой отдельной точки;

– для различных ансамблей точек;

– для отдельных областей.

Это необходимо сделать для обеспечения уверенности в том, что ПИДИ не превышен для каждого возможного углового размера α в каждом сценарии. При оценивании интенсивностей излучения ансамблей точек или отдельных областей угол восприятия γ должен быть в диапазоне от α_{min} до α_{max}, т. е. $\alpha_{min} < \gamma < \alpha_{max}$, чтобы можно было определить часть доступного излучения, полученную по соот-

* Для гауссова профиля облученности (который создается модой пучка TEM_{00}) угловой размер может быть определен с использованием критерия для диаметра d_{63}, при этом анализ отдельных областей не требуется.

ветствующему сценарию. Для сравнения уровней доступного излучения этих частей с соответствующим ПИДИ значение α принимается равным γ.

Классифицирование должно производиться для случая, когда отношение интенсивности части доступного излучения с отдельной области в пределах углового размера этой области α к соответствующему ПИДИ является максимальным.

Угловой размер прямоугольного или линейного источника определяется среднеарифметическим значением двух угловых размеров источника. Любой из угловых размеров, который больше α_{max} или меньше α_{min}, должен быть приравнен к α_{max} или α_{min} соответственно до вычисления среднеарифметического значения.

Фотохимические пределы (от 400 до 600 нм) не зависят от углового размера источника, и источник рассматривается с предельным углом восприятия, установленным в 9.3.3, перечисление b). Для источников, угловые размеры которых больше предельного угла восприятия, интенсивность доступного излучения должна быть определена для частично видимого источника, который создает максимальное значение интенсивности излучения.

e) Базовые промежутки времени.

В настоящем стандарте для классифицирования используют следующие базовые промежутки времени:

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

2) 100 с для лазерного излучения всех длин волн более 400 нм, за исключением случаев, указанных в перечислениях 1) и 3);

3) 30 000 с для лазерного излучения всех длин волн, не более 400 нм, и для лазерного излучения с длинами волн более 400 нм, в тех случаях, когда преднамеренное долговременное наблюдение обусловлено конструкцией или назначением лазерного изделия.

При определении класса изделия необходимо соотносить возможную длительность излучения с базовым промежутком времени. Это означает, что уровень интенсивности одиночного импульса должен сопоставляться с ПИДИ, соответствующим длительности этого импульса, и т. п. Недостаточно просто усреднять уровни интенсивности для длительности классификационного базового промежутка времени или выполнять расчет для базового промежутка времени, не рассматривая более короткие длительности излучения.

Примечание – Для лазерного изделия, генерирующего мультиволновое излучение в видимой и невидимой частях спектра, где излучение рассматривается как аддитивное (см. таблицу 2), причем только для видимой части оно классифицировалось бы как изделие класса 2, 2M или 3R, а только для невидимой – как изделие класса 1 или класса 1M, базовый промежуток времени для оценивания добавленного излучения может быть 0,25 с даже для невидимой части.

f) Импульсно-периодические или модулированные лазеры.

При определении класса лазерных изделий с импульсно-периодическим или модулированным излучением необходимо применять следующие методы.

Для любых длин волн необходимо учитывать требования, установленные в перечислениях 1) и 2). Дополнительно для длин волн от 400 до 10^6 нм должно также быть учтено требование, установленное в перечислении 3) для сопоставления с тепловыми пределами. При сопоставлении с фотохимическими пределами нет необходимости учитывать требование, установленное в перечислении 3).

Класс (см. таблицы 4 – 9) определяется путем применения наиболее жесткого из ограничений, установленных в перечислениях 1), 2) и, если применимо, перечислении 3).

1) Облучение от любого отдельного импульса из серии импульсов не должно превышать ПИДИ для одиночного импульса.

2) Средняя мощность серии импульсов длительностью излучения T не должна превышать мощность, соответствующую ПИДИ для одиночного импульса длительностью T.

Примечание – Для сравнения с $ПИДИ_o$ или $ПИДИ_{o.\,c}$ значение $ПИДИ_T$ следует разделить на N, чтобы определить $ПИДИ_{o.\,c.\,T}$.

3) а) Для импульсов с одинаковой энергией и длительностью энергия отдельного импульса не должна превышать ПИДИ для одиночного импульса, умноженного на поправочный коэффициент C_5:

$$ПИДИ_{o.\,c} = ПИДИ_o \times C_5,$$

где $ПИДИ_o$ – ПИДИ для одиночного импульса (см. таблицы 4 – 9);
$ПИДИ_{o.\,c}$ – ПИДИ для отдельного импульса в серии импульсов;
$ПИДИ_T$ – ПИДИ для серии импульсов длительностью T;

$ПИДИ_{о.с.Т}$ – ПИДИ для отдельного импульса в серии импульсов длительностью T;

N – эффективное число импульсов в серии импульсов в течение оцененной длительности излучения (когда импульсы следуют в промежутке времени T_i (см. таблицу 3), N меньше, чем действительное число импульсов, см. ниже). Максимальная длительность излучения, которую следует учитывать при оценке для длин волн от 400 до 1 400 нм, равна T_2 (см. таблицу 10) или применяемому базовому промежутку времени, в зависимости от того, какое из этих значений меньше. Для длин волн более 1 400 нм максимальная длительность принимается равной 10 с;

$C_5 = N^{-0,25}$ – множитель, применимый только к отдельным импульсам длительностью менее 0,25 с.

Если повторяющиеся импульсы следуют в промежутке времени T_i (см. таблицу 3), то они рассматриваются как одиночный импульс при определении N, и энергии отдельных импульсов суммируются для сопоставления с ПИДИ для T_i.

Энергия любой группы импульсов (или подгруппы импульсов в серии), поступающая в любое конкретное время, не должна превышать ПИДИ для этого времени.

Таблица 3 – Промежутки времени, менее которых группы импульсов суммируют

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

b) Для различной длительности импульсов или интервалов между импульсами необходимо применять метод полной длительности импульсов (total-on-time-pulse; TOTP). ПИДИ определяется полной длительностью импульсов, которая является суммой длительностей всех отдельных импульсов в пределах длительности излучения или T_2, в зависимости от того, какой промежуток времени меньше. Импульсам длительностью менее T_i приписывают длительность T_i. Если два или более импульсов следуют в промежутке времени T_i, то группе этих импульсов приписывают длительность T_i. Для сопоставления с ПИДИ для соответствующей длительности все энергии отдельных импульсов суммируют.

9 Определение уровней интенсивности доступного излучения

9.1 Испытания

При проведении испытаний необходимо принимать во внимание все погрешности и статистические неопределенности в процессе измерений (см. IEC 61040), увеличения интенсивности излучения и ухудшения радиационной безопасности со временем. Для выполнения специальных требований пользователя могут потребоваться дополнительные испытания.

Для определения класса изделия следует провести испытания в процессе его работы. Для определения требований относительно блокировок безопасности, этикеток и информации для пользователя следует провести испытания в режимах функционирования, технического и сервисного обслуживания. Вышеуказанные испытания должны быть проведены и в условиях каждой разумно предвидимой разовой неисправности. Однако если интенсивность излучения уменьшается до уровня ниже ПИДИ путем автоматического изменения состояния системы за время, в течение которого обоснованно предполагается, что доступ человека к лазерному излучению не предвидится, то такие неисправности не следует принимать во внимание.

Примечание 1 – Автоматическое изменение включает в себя физическое ограничение интенсивности излучения, при котором компонент или система переходят в безопасное состояние. Оно не включает в себя ручное изменение или прекращение испускания.

Примечание 2 – Например, сканирующее предохранительное устройство может не среагировать достаточно быстро, чтобы предотвратить испускание излучения с интенсивностью, превышающей ПИДИ в условиях возникновения неисправности; однако оно может быть приемлемым для изделий, если облучение людей маловероятно.

Примечание 3 – Для анализа вероятности и риска возникновения неисправностей могут применяться метод FMEA (failure mode and effect analysis) или другие методы (см., например, IEC 61508). Вероятностный анализ может использоваться в качестве вспомогательного при определении «условий разумно предвидимой разовой неисправности».

Примечание 4 – Классифицирование изделия производится в процессе его работы, и ограничения в техническом обслуживании затем устанавливаются в зависимости от класса изделия.

При оценивании пригодности защитных кожухов для предотвращения доступа человека к уровням энергии, соответствующим классу 4, следует рассматривать разовое возникновение неисправности для всех разумно предвидимых изменений направления пучка. Анализ должен включать рассмотрение возможности возникновения такой разовой неисправности, которая приведет к выделению энергии, достаточной для ухудшения защитных свойств или разрушения защитного кожуха. Например, если во время работы или при возникновении разовой неисправности вмешательство робототехнических устройств или других механизмов управления пучком или использование оптических элементов или обрабатываемых заготовок приведет к попаданию энергии на поверхность защитного кожуха, должно быть выполнено одно из следующих условий:

– разовая неисправность должна быть ликвидирована инженерными средствами;

– материал защитного кожуха должен выдерживать воздействие лазерного излучения при опасном облучении лазерной энергией без ухудшения его защитных свойств;

– неисправность должна быть обнаружена и испускание лазерного излучения через защитный кожух должно быть предотвращено до того, как произойдет ухудшение его защитных свойств.

Оцененные времена стойкости защитных кожухов менее 30 000 с, как установлено в IEC 60825-4, для классифицирования изделия неприменимы.

Примечание 1 – Установление класса предусматривает выполнение защитных функций кожуха без вмешательства человека (4.2.1), и поэтому инспекция защитного кожуха пользователем не предусматривается.

Примечание 2 – Оценивание защитных свойств кожуха, которое предусматривает проведение инспекции человеком или его вмешательство, может использоваться для установления уровня безопасности или для обнаружения потенциального ухудшения защитных свойств кожуха, которое может произойти от непредвиденных неисправностей или совокупностей неисправностей независимо от классифицирования изделия.

Допускается применение эквивалентных испытаний или методик.

Оптические усилители следует классифицировать с использованием максимально допустимой полной выходной мощности или энергии, которая может включать максимальную проектную входную мощность или энергию.

Примечание – В случаях, когда отсутствует четкое значение предела выходной мощности или энергии, следует использовать сумму максимальной мощности или энергии, добавленной усилителем, с мощностью или энергией входного излучения, необходимой для получения требуемого для использования значения.

9.2 Измерение интенсивности лазерного излучения

Для классифицирования лазерного изделия в соответствии с 9.1 необходимо выполнить измерение уровней лазерного излучения. Измерения не нужны, когда физические характеристики и ограничения для лазерного источника позволяют отнести лазерное изделие или лазерную установку к определенному классу. Измерения следует выполнять при условиях и с применением методик, приведенных ниже.

a) Условия и методики, при применении которых достигаются максимальные уровни доступного излучения, включая запуск, устойчивое испускание и отключение лазерного изделия.

b) Режимы контроля и параметры настройки, которые перечислены в инструкциях по эксплуатации, техническому и сервисному обслуживанию, и установлены в комбинациях, приводящих к максимально достижимым уровням излучения. Необходимо выполнять измерения с использованием принадлежностей, которые могут увеличить опасность излучения (например, коллимирующие оптические элементы) и поставляются или предлагаются изготовителем для использования с лазерным изделием.

Примечание – Сюда включается любая конфигурация изделия, которую можно получить без использования инструмента или отключения блокировки, включая конфигурации и установки параметров, относительно которых в инструкциях по эксплуатации и техническому обслуживанию содержатся предупреждения. Например, если оптические элементы, такие как фильтры, рассеиватели или линзы на оптическом пути лазерного пучка, могут быть удалены без использования инструмента, то изделие должно быть испытано в той конфигурации, которая приводит к наивысшей степени опасности. Установленное в инструкции изготовителя требование не удалять оптические элементы не может служить оправданием для установления лазерному изделию более низкого класса. Классифицирование основывается на инженерной конструкции изделия и не может базироваться на соответствующем поведении пользователя.

c) Для лазерного изделия, не являющегося лазерной системой, в котором лазер соединен с таким типом источника возбуждения, который указан изготовителем лазерного изделия как совместимый и обеспечивает получение от изделия максимальное испускание доступного излучения.

d) В тех точках пространства, в которых возможен доступ человека во время выполнения измерений интенсивности доступного излучения (например, если для функционирования может потребоваться удаление части защитного кожуха или отключение блокировки безопасности, измерения должны быть выполнены в точках, доступных при такой конфигурации изделия).

e) Такое расположение и такая ориентации детектора измерительного прибора по отношению к лазерному изделию, при которых осуществляется регистрация максимальной интенсивности лазерного излучения.

f) Должны быть приняты соответствующие меры предосторожности, чтобы избежать или исключить вклад сопутствующего излучения при измерениях.

g) Классы 1 и 1М.

Класс 1 применим к диапазону длин волн от 180 нм до 1 мм. Класс 1М приписывают изделиям, генерирующим излучение в диапазоне длин волн от 302,5 до 4 000 нм. Для определения интенсивности доступного излучения в режимах 1, 2 и 3 см. таблицу 11.

Для длин волн менее 302,5 нм и более 4 000 нм, если интенсивность доступного излучения меньше ПИДИ для класса 1 в режиме 3, то лазерное изделие относят к классу 1.

Для длин волн в диапазоне от 302,5 до 4 000 нм:

– если интенсивность доступного излучения меньше, чем ПИДИ для класса 1 в режимах 1, 2 и 3, то лазерное изделие относят к классу 1;

– если интенсивность доступного излучения:

– больше ПИДИ для класса 1 в режиме 1 или 2;

– меньше ПИДИ для класса 3В в режимах 1 и 2;

– меньше ПИДИ для класса 1 в режиме 3,

то лазерное изделие относят к классу 1М.

Примечание 1 – Обычно интенсивность доступного излучения изделия класса 1М превышает ПИДИ для класса 1 и в режиме 1 и в режиме 2. Однако лазерное изделие может быть классифицировано, как относящееся к классу 1М, если интенсивность его излучения превышает ПИДИ и в режиме 1, и в режиме 2.

Примечание 2 – Причиной для сличения с ПИДИ для класса 3В является ограничение максимальной мощности, проходящей через оптический прибор.

Если интенсивность доступного излучения, определенная с использованием апертуры диаметром 3,5 мм, помещенной в ближайшей точке, где возможен доступ человека, превышает значения, приведенные в таблице 9 для ПИДИ класса 3В, то должно быть приведено дополнительное предупреждение о потенциальной опасности для кожи (см. 5.2).

Примечание 3 – Лазерное изделие класса 1М с сильно расходящимся пучком может создать достаточно высокие уровни облученности вблизи источника или при непосредственном контакте с ним (например, на конце оптического волокна), в результате чего возможно повреждение кожи.

h) Классы 2 и 2М.

Классы 2 и 2М применимы к диапазону длин волн от 400 до 700 нм. Для определения интенсивности доступного излучения в режимах 1, 2 и 3 см. таблицу 11.

Если интенсивность доступного излучения превышает ПИДИ, установленные для классов 1 и 1М [см. перечисление g)], и при этом меньше ПИДИ для класса 2 в режимах 1, 2 и 3, то лазерное изделие относят к классу 2.

Если интенсивность доступного излучения превышает ПИДИ, установленные для классов 1 и 1М [см. перечисление g)], и при этом больше ПИДИ для класса 2 в режиме 1 или 2;

– меньше ПИДИ для класса 3В в режимах 1 и 2;

– меньше ПИДИ для класса 2 в режиме 3,

то лазерное изделие относят к классу 2М.

Примечание 1 – Причиной для сличения с ПИДИ для класса 3В является ограничение максимальной мощности, проходящей через оптический прибор, и предотвращение высоких уровней облученности вблизи при непосредственном контакте с источником расходящегося излучения, что может привести к повреждению кожи.

Примечание 2 – Обычно интенсивность доступного излучения изделия класса 2М превышает ПИДИ для класса 2 в режиме 1 или 2. Однако лазерное изделие может быть классифицировано как относящееся к классу 2М, если интенсивность его излучения превышает ПИДИ для класса 2 и в режиме 1, и в режиме 2.

Если интенсивность доступного излучения, определенная с использованием апертуры диаметром 3,5 мм, помещенной в ближайшей точке, где возможен доступ человека, превышает ПИДИ класса 3B, то должно быть приведено дополнительное предупреждение о потенциальной опасности для кожи (см. 5.3).

Примечание 3 – Лазерное изделие класса 2M с сильно расходящимся пучком может создать достаточно высокие уровни облученности вблизи источника или при непосредственном контакте с ним (например, на конце оптического волокна), в результате чего возможно повреждение кожи.

i) Классы 3R и 3B.

Если интенсивность излучения, определенная в соответствии с 9.3, в режимах 1, 2 и 3, меньше или равна ПИДИ для класса 3R или 3B, то лазерное изделие относят к классу 3R или 3B соответственно (см. также примечание после первого абзаца 8.3).

j) Класс 4.

Если интенсивность излучения, определенная в соответствии с 9.3, в режиме 1, 2 или 3, превышает ПИДИ для класса 3B, то лазерное изделие должно быть отнесено к классу 4.

Таблица 4 – Пределы интенсивности доступного излучения для лазерных изделий классов 1 и 1М при $C_6 = 1$ [a, b]

<table>
<tr><td rowspan="2">Длина волны λ, нм</td><td colspan="11">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 $1{,}8 \times 10^{-5}$</td><td>От $1{,}8 \times 10^{-5}$ до 5×10^{-5}</td><td>От 5×10^{-5} до 1×10^{-3}</td><td>От 1×10^{-3} до 0,35</td><td>От 0,35 до 10</td><td>От 10 до 100</td><td>От 100 до 1 000</td><td>От 1 000 до 3×10^{4}</td></tr>
<tr><td>От 180 до 302,5</td><td colspan="2">3×10^{10} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="9">30 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 302,5 до 315</td><td colspan="2" rowspan="2">$2{,}4 \times 10^{4}$ Вт</td><td colspan="7">Тепловая опасность ($t \le T_1$) $7{,}9 \times 10^{-7}$ C_1 Дж
Фотохимическая опасность $7{,}9 \times 10^{-7}$ C_2 Дж ($t > T_1$)</td><td colspan="3">$7{,}9 \times 10^{-7}$ C_2 Дж</td></tr>
<tr><td>От 315 до 400</td><td colspan="7">$7{,}9 \times 10^{-7}$ C_1 Дж</td><td colspan="2">$7{,}9 \times 10^{-3}$ Дж</td><td>$7{,}9 \times 10^{-6}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 400 до 450</td><td rowspan="3">$5{,}8 \times 10^{-9}$ Дж</td><td rowspan="3">$1{,}0t^{0,75}$ Дж</td><td rowspan="3">2×10^{-7} Дж</td><td colspan="5" rowspan="3">7×10^{-4} $t^{0,75}$ Дж</td><td>$3{,}9 \times 10^{-3}$ Дж</td><td colspan="2" rowspan="2">$3{,}9 \times 10^{-5}$ C_3 Вт</td></tr>
<tr><td>От 450 до 500</td><td>$3{,}9 \times 10^{-3}$ C_3 Дж и [c] $3{,}9 \times 10^{-4}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 500 до 700</td><td colspan="3">$3{,}9 \times 10^{-4}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 700 до 1 050</td><td>$5{,}8 \times 10^{-9}$ C_4 Дж</td><td>$1{,}0t^{0,75}$ C_4 Дж</td><td>2×10^{-7} C_4 Дж</td><td colspan="5">7×10^{-4} $t^{0,75}$ C_4 Дж</td><td colspan="3" rowspan="2">$3{,}9 \times 10^{-4}$ C_4 C_7 Вт</td></tr>
<tr><td>От 1 050 до 1 400</td><td>$5{,}8 \times 10^{-8}$ C_7 Дж</td><td>$10{,}4t^{0,75}$ C_7 Дж</td><td colspan="3">2×10^{-6} C_7 Дж</td><td colspan="4">$3{,}5 \times 10^{-3}$ $t^{0,75}$ C_7 Дж</td></tr>
<tr><td>От 1 400 до 1 500</td><td colspan="2">8×10^{5} Вт</td><td colspan="5">8×10^{-4} Дж</td><td>$4{,}4 \times 10^{-3}$ $t^{0,25}$ Дж</td><td>10^{-2} t Дж</td><td colspan="3" rowspan="4">$1{,}0 \times 10^{-2}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 1 500 до 1 800</td><td colspan="2">8×10^{6} Вт</td><td colspan="6">8×10^{-3} Дж</td><td>$1{,}8 \times 10^{-2}$ $t^{0,75}$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 1 800 до 2 600</td><td colspan="2">8×10^{5} Вт</td><td colspan="5">8×10^{-4} Дж</td><td>$4{,}4 \times 10^{-3}$ $t^{0,25}$ Дж</td><td rowspan="2">10^{-2} t Дж</td></tr>
<tr><td>От 2 600 до 4 000</td><td colspan="2">8×10^{4} Вт</td><td>8×10^{-5} Дж</td><td colspan="6">$4{,}4 \times 10^{-3}$ $t^{0,25}$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 4 000 до 10^{6}</td><td colspan="2">10^{11} Вт·м$^{-2}$</td><td>100 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="6">5 600 $t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3">1 000 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
</table>

Примечание – Лазерные изделия, соответствующие требованиям классификации для класса 1, при измерениях в режимах 1 и 2 могут быть опасными, когда используются с применением оптических приборов, имеющих более чем семикратное увеличение, или объективов с диаметрами, превышающими указанные в таблице 11.

[a] Значения и единицы измерений поправочных коэффициентов приведены в таблице 10.

[b] ПИДИ для длительностей излучения менее 10^{-13} с устанавливают равными ПИДИ для эквивалентных значений мощности или облученности при 10^{-13} с.

[c] В диапазоне длин волн от 450 до 500 нм применяют двойственные пределы, и интенсивность излучения изделия не должна превышать ни один из пределов для установленного класса.

Таблица 5 – Пределы интенсивности доступного излучения для лазерных изделий классов 1 и 1М в диапазоне длин волн от 400 до 1 400 нм (область повреждения сетчатки) с протяженными источниками [a, b, c, d, e]

<table>
<tr><th rowspan="2">Длина волны λ, нм</th><th colspan="8">Длительность излучения t, с</th></tr>
<tr><th>От 10^{-13} до 10^{-11}</th><th>От 10^{-11} до 10^{-9}</th><th>От 10^{-9} до $1{,}8 \times 10^{-5}$</th><th>От $1{,}8 \times 10^{-5}$ до 5×10^{-5}</th><th>От 5×10^{-5} до 10</th><th>От 10 до 100</th><th>От 10^2 до 10^4</th><th>От 10^4 до 3×10^4</th></tr>
<tr><td rowspan="5">От 400 до 700</td><td rowspan="5">$5{,}8 \times 10^{-9}\ C_6$ Дж</td><td rowspan="5">$1{,}0 t^{0,75}\ C_6$ Дж</td><td rowspan="5">$2 \times 10^{-7}\ C_6$ Дж</td><td colspan="3" rowspan="5">$7 \times 10^{-4}\ t^{0,75}\ C_6$ Дж</td><td colspan="3">От 400 до 600 нм
Фотохимическое повреждение сетчатки [d]</td></tr>
<tr><td>$3{,}9 \times 10^{-3}\ C_3$ Дж с использованием $\gamma_{ph} = 11$ мрад</td><td>$3{,}9 \times 10^{-5}\ C_3$ Вт с использованием $\gamma_{ph} = 1{,}1\ t^{0,5}$ мрад</td><td>$3{,}9 \times 10^{-3}\ C_3$ Вт с использованием $\gamma_{ph} = 110$ мрад</td></tr>
<tr><td colspan="3">и [c]</td></tr>
<tr><td colspan="3">От 400 до 700 нм – тепловое повреждение сетчатки</td></tr>
<tr><td colspan="3">$7 \times 10^{-4}\ C_6\ T_2^{-0,25}$ Вт ($t > T_2$)
($t \le T_2$)
$7 \times 10^{-4}\ C_6\ t^{0,75}$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 700 до 1 050</td><td>$5{,}8 \times 10^{-9}\ C_4\ C_6$ Дж</td><td>$1{,}0 t^{0,75}\ C_4\ C_6$ Дж</td><td>$2 \times 10^{-7}\ C_4\ C_6$ Дж</td><td colspan="2">$7 \times 10^{-4}\ t^{0,75}\ C_4\ C_6$ Дж</td><td colspan="3" rowspan="2">$7 \times 10^{-4}\ C_4\ C_6\ C_7\ T_2^{-0,25}$ Вт ($t > T_2$)
($t \le T_2$)
$7 \times 10^{-4}\ t^{0,75}\ C_4\ C_6\ C_7$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 1 050 до 1 400</td><td>$5{,}8 \times 10^{-8}\ C_6\ C_7$ Дж</td><td>$10{,}4\ t^{0,75}\ C_6\ C_7$ Дж</td><td colspan="2">$2 \times 10^{-6}\ C_6\ C_7$ Дж</td><td>$3{,}5 \times 10^{-3}\ t^{0,75}\ C_6\ C_7$ Дж</td></tr>
</table>

Примечание – Лазерные изделия, соответствующие требованиям классификации для класса 1, при измерениях в режимах 1 и 2 могут быть опасными, когда используются с применением оптических приборов, имеющих более чем семикратное увеличение, или объективов с диаметрами, превышающими указанные в таблице 11.

[a] Значения и единицы измерений поправочных коэффициентов приведены в таблице 10.

[b] ПИДИ для длительностей излучения менее 10^{-13} с устанавливают равными ПИДИ для эквивалентных значений мощности или облученности при 10^{-13} с.

[c] В диапазоне длин волн от 400 до 600 нм применяют двойственные пределы, и интенсивность излучения изделия не должна превышать ни один из пределов для установленного класса.

[d] Угол γ_{ph} является предельным углом восприятия при измерении.

[e] Если используют времена облучения от 1 до 10 с для длин волн от 400 до 484 нм и угловых размеров видимого источника от 1,5 до 82 мрад, то предел $3{,}9 \times 10^{-3}\ C_3$ Дж фотохимической опасности распространяется до 1 с.

Таблица 6 – Пределы интенсивности доступного излучения для лазерных изделий классов 2 и 2М

Длина волны λ, нм	Длительность излучения t, с	ПИДИ для класса 2
От 400 до 700	$t < 0,25$ $t \geq 0,25$	Тот же, что и ПИДИ для класса 1 $C_6 \times 10^{-3}$ Вт [a]
Примечание – Лазерные изделия, соответствующие требованиям классификации для класса 2, при измерениях в режимах 1 и 2 могут быть опасными, когда используются с применением оптических приборов, имеющих более чем семикратное увеличение, или объективов с диаметрами, превышающими указанные в таблице 11.		
[a] Значения и единицы измерений поправочных коэффициентов приведены в таблице 10.		

Таблица 7 – Пределы интенсивности доступного излучения для лазерных изделий класса 3R при $C_6 = 1$ [a, b, c]

<table>
<tr><td rowspan="2">Длина волны λ, нм</td><td colspan="10">Длительность излучения t, с</td></tr>
<tr><td>От 10^{-13} до 10^{-11}</td><td>От 10^{-11} до 10^{-9}</td><td>От 10^{-9} до 10^{-7}</td><td>От 10^{-7} до $1{,}8 \times 10^{-5}$</td><td>От $1{,}8 \times 10^{-5}$ до 5×10^{-5}</td><td>От 5×10^{-5} до 1×10^{-3}</td><td>От 1×10^{-3} до 0,35</td><td>От 0,35 до 10</td><td>От 10 до 1 000</td><td>От 1 000 до 3×10^{4}</td></tr>
<tr><td>От 180 до 302,5</td><td colspan="2">$1{,}5 \times 10^{11}$ Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="8">150 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 302,5 до 315</td><td colspan="2" rowspan="2">$1{,}2 \times 10^{5}$ Вт</td><td colspan="7">Тепловая опасность
$4 \times 10^{-6}\ C_1$ Дж
($t \le T_1$) [c]</td><td colspan="3">Фотохимическая опасность
$4{,}0 \times 10^{-6}\ C_2$ Дж
($t > T_1$) [c]</td></tr>
<tr><td>От 315 до 400</td><td colspan="7">$4 \times 10^{-6}\ C_1$ Дж</td><td colspan="2">$4{,}0 \times 10^{-2}$ Дж</td><td>$4{,}0 \times 10^{-5}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 400 до 700</td><td>$2{,}9 \times 10^{-8}$ Дж</td><td>$5{,}0\ t^{0,75}$ Дж</td><td colspan="2">1×10^{-6} Дж</td><td colspan="3">$5{,}0 \times 10^{-3}$ Вт ($t \ge 0{,}25$ с)
($t < 0{,}25$ с)
$3{,}5 \times 10^{-3}\ t^{0,75}$ Дж</td><td colspan="3">$5{,}0 \times 10^{-3}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 700 до 1 050</td><td>$2{,}9 \times 10^{-8}\ C_4$ Дж</td><td>$5{,}0\ t^{0,75}\ C_4$ Дж</td><td colspan="2">$1 \times 10^{-6}\ C_4$ Дж</td><td colspan="5">$3{,}5 \times 10^{-3}\ t^{0,75}\ C_4$ Дж</td><td colspan="2" rowspan="2">$2{,}0 \times 10^{-3}\ C_4\ C_7$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 1 050 до 1 400</td><td>$2{,}9 \times 10^{-7}\ C_7$ Дж</td><td>$52\ t^{0,75}\ C_7$ Дж</td><td colspan="3">$1 \times 10^{-5}\ C_7$ Дж</td><td colspan="4">$1{,}8 \times 10^{-2}\ t^{0,75}\ C_7$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 1 400 до 1 500</td><td colspan="2">4×10^{6} Вт</td><td colspan="4">4×10^{-3} Дж</td><td>$2{,}2 \times 10^{-2}\ t^{0,25}$ Дж</td><td>$5 \times 10^{-2}\ t$ Дж</td><td colspan="2" rowspan="4">$5{,}0 \times 10^{-2}$ Вт</td></tr>
<tr><td>От 1 500 до 1 800</td><td colspan="2">4×10^{7} Вт</td><td colspan="5">4×10^{-2} Дж</td><td>$9 \times 10^{-2}\ t^{0,75}$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 1 800 до 2 600</td><td colspan="2">4×10^{6} Вт</td><td colspan="4">4×10^{-3} Дж</td><td>$2{,}2 \times 10^{-2}\ t^{0,25}$ Дж</td><td rowspan="2">$5 \times 10^{-2}\ t$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 2 600 до 4 000</td><td colspan="2">4×10^{5} Вт</td><td>4×10^{-4} Дж</td><td colspan="6">$2{,}2 \times 10^{-2}\ t^{0,25}$ Дж</td></tr>
<tr><td>От 4 000 до 10^{6}</td><td colspan="2">5×10^{11} Вт·м$^{-2}$</td><td>500 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="6">$2{,}8 \times 10^{4}\ t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">5 000 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td colspan="11">[a] Значения и единицы измерений поправочных коэффициентов приведены в таблице 10.
[b] ПИДИ для длительностей излучения менее 10^{-13} с устанавливают равными ПИДИ для эквивалентных значений мощности или облученности при 10^{-13} с.
[c] Для повторяющихся импульсов лазеров в УФ-области ни один из пределов не должен быть превышен.</td></tr>
</table>

Таблица 8 – Пределы интенсивности доступного излучения для лазерных изделий класса 3R в диапазоне длин волн от 400 до 1 400 нм (область повреждения сетчатки): протяженные источники [a, b]

Длина волны λ, нм	Длительность излучения t, с									
	От 10^{-13} до 10^{-11}	От 10^{-11} до 10^{-9}	От 10^{-9} до 10^{-7}	От 10^{-7} до $1{,}8 \times 10^{-5}$	От $1{,}8 \times 10^{-5}$ до 5×10^{-5}	От 5×10^{-5} до 1×10^{-3}	От 1×10^{-3} до 0,35	От 0,35 до 10	От 10 до 1 000	От 1 000 до 3×10^{4}
От 400 до 700	$2{,}9 \times 10^{-8}\ C_6$ Дж	$5{,}0\ t^{0{,}75}\ C_6$ Дж	$1 \times 10^{-6}\ C_6$ Дж		(t < 0,25 с) $3{,}5 \times 10^{-3}\ t^{0{,}75}\ C_6$ Дж		$5{,}0 \times 10^{-3}\ C_6$ Вт ($t \geq 0{,}25$ с)	$5{,}0 \times 10^{-3}\ C_6$ Вт		
От 700 до 1 050	$2{,}9 \times 10^{-8}\ C_4\ C_6$ Дж	$5{,}0\ t^{0{,}75}\ C_4\ C_6$ Дж	$1 \times 10^{-6}\ C_4\ C_6$ Дж		$3{,}5 \times 10^{-3}\ t^{0{,}75}\ C_4\ C_6$ Дж				$3{,}5 \times 10^{-3}\ C_4\ C_6\ C_7\ T_2^{-0{,}25}$ Вт ($t > T_2$) ($t \leq T_2$) $3{,}5 \times 10^{-3}\ t^{0{,}75}\ C_4\ C_6\ C_7$ Дж	
От 1 050 до 1 400	$2{,}9 \times 10^{-7}\ C_6\ C_7$ Дж	$52\ t^{0{,}75}\ C_6\ C_7$ Дж	$1 \times 10^{-5}\ C_6\ C_7$ Дж			$1{,}8 \times 10^{-2}\ t^{0{,}75}\ C_6\ C_7$ Дж			$5{,}0 \times 10^{-2}$ Вт	

[a] Значения и единицы измерений поправочных коэффициентов приведены в таблице 10.
[b] ПИДИ для длительностей излучения менее 10^{-13} с устанавливают равными ПИДИ для эквивалентных значений мощности или облученности при 10^{-13} с.

Таблица 9 – Пределы интенсивности доступного излучения для лазерных изделий класса 3B

Длина волны λ, нм	Длительность излучения t, с		
	Менее 10^{-9}	От 10^{-9} до 0,25	От 0,25 до 3×10^{4}
От 180 до 302,5	$3{,}8 \times 10^{5}$ Вт	$3{,}8 \times 10^{-4}$ Дж	$1{,}5 \times 10^{-3}$ Вт
От 302,5 до 315	$1{,}25 \times 10^{4}\ C_2$ Вт	$1{,}25 \times 10^{-5}\ C_2$ Дж	$5 \times 10^{-5}\ C_2$ Вт
От 315 до 400	$1{,}25 \times 10^{8}$ Вт	0,125 Дж	0,5 Вт
От 400 до 700	3×10^{7} Вт	0,03 Дж для t < 0,06 с 0,5 Вт для $t \geq 0{,}06$ с	0,5 Вт
От 700 до 1 050	$3 \times 10^{7}\ C_4$ Вт	0,03 C_4 Дж для t < 0,06 C_4 с 0,5 Вт для $t \geq 0{,}06\ C_4$ с	0,5 Вт
От 1 050 до 1 400	$1{,}5 \times 10^{8}$ Вт	0,15 Дж	0,5 Вт
От 1 400 до 10^{6}	$1{,}25 \times 10^{8}$ Вт	0,125 Дж	0,5 Вт

Значения и единицы измерений поправочных коэффициентов приведены в таблице 10.

Поправочные коэффициенты C_1 – C_7 и точки перегиба T_1 и T_2 временной зависимости, используемые в таблицах 4 – 9, приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Поправочные коэффициенты и точки перегиба T_1 и T_2 временной зависимости для использования при расчетах ПИДИ и ПДУ

Параметр	Спектральная область, нм
$C_1 = 5{,}6 \times 10^3\, t^{0{,}25}$	От 180 до 400
$T_1 = 10^{0{,}8(\lambda - 295)} \times 10^{-15}$ 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
$T_2 = 10 \times 10^{[(\alpha - \alpha_{min})/98{,}5]}$ с	От 400 до 1 400
T_2 = 10 с для α < 1,5 мрад	От 400 до 1 400
T_2 = 100 с для α > 100 мрад	От 400 до 1 400
$C_3 = 1{,}0$	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 1 050
$C_4 = 5$	От 1 050 до 1 400
$C_5 = N^{-1/4}$ [a]	От 400 до 10^6
$C_6 = 1$	От 180 до 400 и от 1 400 до 10^6
$C_6 = 1$ для $\alpha \le \alpha_{min}$ [b]	От 400 до 1 400
$C_6 = \alpha/\alpha_{min}$ для $\alpha_{min} < \alpha \le \alpha_{max}$ [b]	От 400 до 1 400
$C_6 = \alpha_{max}/\alpha_{min} = 66{,}7$ для $\alpha > \alpha_{max}$ [b, c]	От 400 до 1 400
$C_7 = 1$	От 700 до 1 150
$C_7 = 10^{0{,}018(\lambda - 1\,150)}$	От 1 150 до 1 200
$C_7 = 8$	От 1 200 до 1 400

α_{min} = 1,5 мрад.
α_{max} = 100 мрад.
N – число импульсов, приходящихся на используемый временной промежуток [см. 8.3, перечисление f), и А.3].

Примечание 1 – Имеется ограниченное количество сведений об эффекте воздействия с длительностью менее 10^{-9} с для длин волн менее 400 нм и более 1 400 нм. Значения ПИДИ для таких времен излучения и длин волн были получены путем вычисления эквивалентной мощности излучения или облученности из мощности или радиационной экспозиции, применимых при длительности 10^{-9} с для длин волн менее 400 нм и более 1 400 нм.
Примечание 2 – Выбор апертурных диафрагм производится в соответствии с таблицей 11, а ограничивающих апертур – с таблицей А.4.
Примечание 3 – В формулах, приведенных в таблицах 4 – 9, и примечаниях к настоящей таблице длины волн должны выражаться в нанометрах, длительности излучения t – в секундах, а α – в миллирадианах.
Примечание 4 – Для длительностей излучения, которые лежат на границе временных областей (например, 10 с), в таблицах 4 – 9 применяют меньший предел. Там, где применяется символ «<», это означает меньше или равно.

[a] C_5 применяют только для длительностей импульсов менее 0,25 с.
[b] C_6 применяют только для импульсных лазеров и непрерывных лазеров при расчете тепловых пределов.
[c] Максимальный предельный угол восприятия γ_{th} должен быть равен α_{max} [но см. 8.3, перечисление d)].

9.3 Геометрические условия измерений

9.3.1 Общие положения

Для определения интенсивности доступного излучения установлены три режима измерений. Режимы 1 и 2 применяют для длин волн, для которых наблюдение через оптические устройства может увеличить степень опасности. Режим 1 применяют к коллимированным пучкам, когда использование телескопов или биноклей может увеличить степень опасности, а режим 2 – к источникам с сильно расходящимися пучками, когда использование микроскопов, ручных и глазных луп может увеличить

степень опасности. Режим 3 применяют для невооруженного глаза. При измерении мощности и энергии сканирующего лазерного излучения следует применять режим 3.

Следует применять наиболее ограничивающий из применимых режимов измерения. Если наиболее ограничивающий режим неочевиден, то следует оценить каждый из применяемых режимов.

Предусмотрено два следующих метода выполнения измерений:

a) упрощенный метод (метод по умолчанию), при применении которого испытания в целях классифицирования проводят при фиксированном расстоянии относительно точки отсчета, которая обычно может быть легко идентифицирована. При применении такого упрощенного метода нет необходимости определять угловой размер видимого источника, так как C_6 (см. таблицу 10) принимается равным единице;

b) для излучения с длинами волн от 400 до 1 400 нм в спектральной области повреждения сетчатки, когда ПИДИ увеличивается за счет поправочного коэффициента C_6 со значениями больше 1 для протяженных источников, необходимо оценить класс изделия (т. е. сопоставить его интенсивность доступного излучения с соответствующим ПИДИ) при наиболее ограничивающем положении в пучке. Этот второй метод более сложен, чем метод по умолчанию, описанный в перечислении a), но для протяженных источников он может дать более высокие значения интенсивности доступного излучения.

Примечание – Наиболее ограничивающее положение во многих случаях находится не на расстоянии 100 мм от точки отсчета, которое используется для основного измерения, а гораздо дальше. Определение углового размера видимого источника на расстоянии 100 мм от точки отсчета обычно в таких случаях приводит к значениям ПИДИ, которые превышают значения ПИДИ, определенные при наиболее ограничивающем положении.

Если упрощенное измерение (измерение по умолчанию) приводит к ожидаемому классу, то нет необходимости выполнять полные измерения для протяженных источников (см. 9.3.2), даже если действительный размер источника может считаться протяженным, поправочный коэффициент C_6 может быть больше единицы и наиболее ограничивающее положение отличается от положения, приведенного в таблице 11.

Примечание – Если источник представляет собой отдельный лазерный диод или если он испускает хорошо коллимированный лазерный пучок, то обычно хорошо подходит упрощенный метод (метод по умолчанию), т. е. он дает результаты, аналогичные получаемым для протяженного источника методом, описанным в 9.3.3.

9.3.2 Измерения методом по умолчанию (упрощенным методом)

Расстояния, приведенные в таблице 11, при применении упрощенного метода (метода по умолчанию):

– для источников с длинами волн менее 400 нм и более 1 400 нм;

– если поправочный коэффициент C_6 принят равным единице;

– для сопоставления с пределом фотохимического повреждения сетчатки при значениях базовых промежутков времени более 100 с, когда угол восприятия при измерении неограничен (т. е. по крайней мере не меньше углового размера видимого источника);

– для других пределов, которые не являются ни фотохимическими, ни тепловыми (т. е. не зависят от C_6) пределами повреждения сетчатки (таких как ПИДИ для класса 3B).

Расстояния, установленные в таблице 11, определены как расстояния от точек отсчета, приведенных в таблице 12.

Таблица 11 – Диаметры измерительных апертур и расстояния для измерений для метода измерений по умолчанию (упрощенного метода)

Длина волны, нм	Режим 1, применимый к коллимированному пучку, для которого, например, телескоп или бинокль могут увеличить степень опасности		Режим 2, применимый к расходящемуся пучку, для которого, например, увеличительные линзы, микроскопы могут увеличить степень опасности		Режим 3, применимый для определения облученности, относящейся к невооруженному глазу, и для сканирующих пучков	
	Апертурная диафрагма, мм	Расстояние, мм	Апертурная диафрагма, мм	Расстояние, мм	Апертурная диафрагма/ ограничивающая апертура, мм	Расстояние, мм
Менее 302,5	–	–	–	–	1	0
От 302,5 до 400	25	2 000	7	70	1	100
От 400 до 1 400	50	2 000	7	70	7	100
От 1 400 до 4 000	7 × режим 3	2 000	7	70	1 для $t \le 0{,}35$ с $1{,}5t^{3/8}$ для 0,35 с < t < 10 с 3,5 для $t \ge 10$ с (t в секундах)	100
От 4 000 до 10^5	–	–	–	–	1 для $t \le 0{,}35$ с $1{,}5t^{3/8}$ для 0,35 с < t < 10 с 3,5 для $t \ge 10$ с (t в секундах)	0
От 10^5 до 10^6	–	–	–	–	11	0

Примечание – Пояснения относительно режимов приведены для описания типичных случаев применения только для информации и не являются исключительными.

Таблица 12 – Точки отсчета

Тип изделия	Точка отсчета
Полупроводниковые излучатели (светодиоды, лазерные диоды, суперлюминесцентные диоды)	Физическое положение излучающего чипа
Сканирующее излучение (включая сканирующие линейные лазеры)	Вершина угла сканирования (точка, относительно которой поворачивается сканирующий пучок)
Линейный лазер	Фокальная точка линии (вершина веерного угла)
Вывод оптического волокна	Кончик оптического волокна
Полностью диффузные источники	Поверхность рассеивателя
Другие	Перетяжка пучка

Примечание – Если точка отсчета находится внутри защитного кожуха (т. е. недоступна) на большем расстоянии от ближайшей точки доступа человека, чем расстояние измерений, указанное в таблице 11, то измерения следует выполнять в ближайшем месте к точке доступа человека.

9.3.3 Условия измерения для протяженных источников

Для длин волн в спектральном диапазоне повреждения сетчатки (от 400 до 1 400 нм) интенсивность доступного излучения и ПИДИ для классифицирования определяют при наиболее ограничивающем положении:

– когда для определения ПИДИ принимается значение C_6 больше единицы; или

– когда для определения интенсивности доступного излучения для сравнения с пределами фотохимического повреждения сетчатки учитывается предельный угол восприятия.

Интенсивность доступного излучения и ПИДИ (C_6) определяют совместно (т. е. они являются спаренными величинами) при различных положениях в пучке, и значения, полученные для наиболее ограничивающих положений, используют для установления класса изделия. Предполагается, что интенсивность доступного излучения (которая сопоставляется с ПИДИ) и ПИДИ определяют для одного и того же положения в пучке, т. е. угловой размер видимого источника α (и связанный с ним C_6) определяется из положения апертурной диафрагмы, которая применяется для определения интенсивности доступного излучения.

Примечание 1 – Когда угол расходимости лазерного пучка составляет менее 1,5 мрад, то угловой размер видимого источника α принимают равным α_{min}, и определение интенсивности доступного излучения может быть выполнено при условиях, установленных в 9.3.1.

Примечание 2 – Если источник диффузный, например пропускающая рассеивающая пластина, на которую падает лазерный пучок, то можно считать, что видимый источник расположен на рассеивателе, и испускающее пятно на рассеивателе можно использовать для определения углового размера видимого источника [см. 8.3, перечисление d)] при применении метода расчета для неоднородных образцов.

Примечание 3 – Для некоторых более сложных устройств с несколькими источниками или несколькими фокальными точками может быть более применима более сложная методика, такая как трассировка лучей.

а) Диаметры апертур.

Для определения интенсивности доступного излучения и углового размера видимого источника (оба измерения должны выполняться в наиболее ограничивающем месте пучка) в режимах 1 и 2 следует использовать диаметры апертур и минимальные расстояния для измерений, установленные в таблице 11 (см. рисунки 3 и 4).

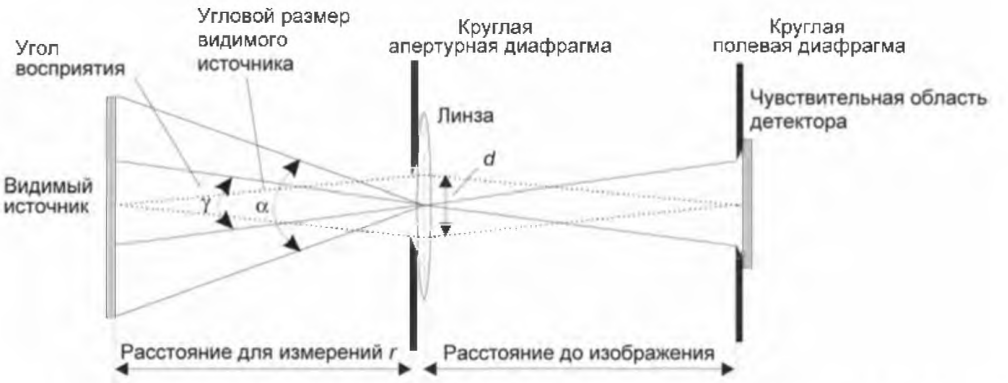
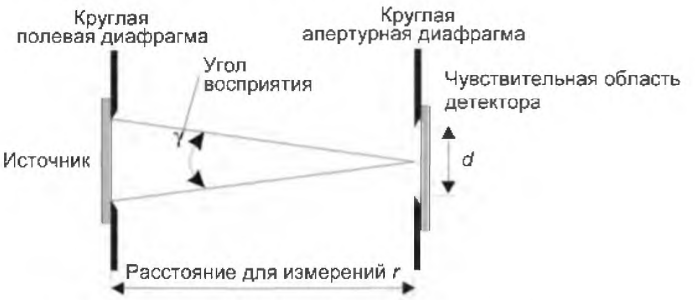


Рисунок 3 – Схема измерений с ограничением угла восприятия путем создания изображения источника в плоскости полевой диафрагмы



Примечание – Когда видимый источник недоступен, эта схема неприменима.

Рисунок 4 – Схема измерений с ограничением угла восприятия путем помещения круглой апертуры или маски (служащей в качестве полевой диафрагмы) в непосредственной близости к видимому источнику

Для определения интенсивности доступного излучения и углового размера видимого источника при измерениях в режиме 2 следует поместить положительную линзу L1 с фокусным расстоянием 35 мм и апертурой диаметром 7 мм (см. рисунок 5) на расстоянии 35 мм от точки отсчета, приведен-

ной в таблице 12. Апертурная диафрагма для определения интенсивности доступного излучения и углового размера видимого источника должна быть помещена на расстоянии 100 мм от линзы L1, а диаметр этой апертурной диафрагмы должен составлять 3,5 мм.

Примечание – Линза L1 представляет собой увеличительное стекло с семикратным увеличением. Когда расходящиеся источники находятся в фокусе линзы, излучение коллимируется, благодаря чему определяется как интенсивность доступного излучения с апертурной диафрагмой, так и угловой размер видимого источника. Так как все расстояния фиксированы, в режиме 2 нет необходимости идентифицировать наиболее ограничивающее положение.

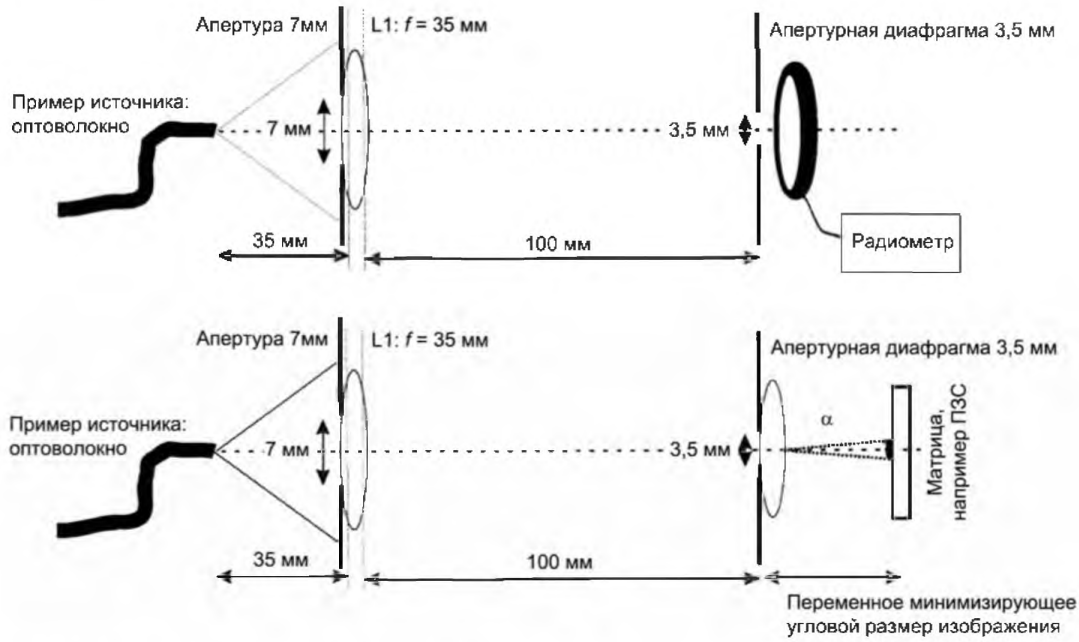


Рисунок 5 – Схема экспериментальной установки для определения интенсивности доступного излучения (вверху) и углового размера видимого источника (внизу) в режиме 2, когда рассматривается протяженный источник (т. е. не используется упрощенный метод по умолчанию)

b) Угол восприятия.

Угол восприятия определяется отношением диаметра полевой диафрагмы к расстоянию между линзой и полевой диафрагмой (расстояние изображения) (рисунок 3) или отношением диаметра полевой диафрагмы к расстоянию между источником и детектором (рисунок 4). Следует также принимать во внимание потери на линзе.

При измерениях в режимах 2 и 3 угол восприятия для определения уровня интенсивности доступного излучения должен быть установлен, как описано в перечислениях 1) и 2) ниже. В режиме 1 угол восприятия определяется делением значений, приведенных в перечислениях 1) и 2), на 7.

1) Пределы фотохимического повреждения сетчатки.

Для выполнения измерений с источниками, излучение которых оценивается по отношению к пределам фотохимического повреждения (от 400 до 600 нм), предельный угол восприятия γ_{th} приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Предельный угол восприятия γ_{ph}

Длительность излучения, с	γ_{ph} в режиме 1, мрад	γ_{ph} в режимах 2 и 3, мрад
$10 < t \leq 100$	1,57	11
$100 < t \leq 10^4$	$0{,}16 \times t^{0,5}$	$1{,}1 \times t^{0,5}$
$100 < t \leq 3 \times 10^4$	16	110

Если угловой размер источника α больше, чем установленный предельный угол восприятия γ_{th}, то угол восприятия не должен превышать установленное значение для γ_{ph}. Если угловой размер источника α меньше, чем установленный предельный угол восприятия γ_{ph}, то угол восприятия должен полностью включать в себе рассматриваемый источник и не нуждается в тщательном определении (т. е. угол восприятия не должен быть ограничен γ_{ph}).

Примечание – При выполнении измерений с одиночными источниками, для которых $\alpha < \gamma_{ph}$, нет необходимости тщательно определять конкретный угол восприятия. Четкое значение угла восприятия может быть получено по изображению источника на полевой диафрагме или диафрагмируя источник (см. рисунки 3 и 4 соответственно).

2) Все другие пределы повреждения сетчатки.

При измерении интенсивности излучения, которая сопоставляется с пределами повреждения сетчатки, отличными от фотохимического, угол восприятия должен полностью включать в себя рассматриваемый источник (т. е. угол восприятия должен быть по крайней мере не меньше углового размера α источника). Однако если $\alpha > \alpha_{max}$, то предельный угол восприятия равен α_{max} (100 мрад). В диапазоне длин волн от 400 до 1 400 нм для измерения видимого источника, который состоит из множества точек, угол восприятия должен находиться в пределах $\alpha_{min} \leq \gamma \leq \alpha_{max}$ [см. 8.3, перечисление d)].

Приложение А
(справочное)

Значения предельно допустимых уровней

А.1 Общие замечания

Значения ПИДИ обычно получают из значений ПДУ. Значения ПДУ включены в настоящее приложение, чтобы предоставить изготовителям дополнительную информацию, которая может помочь в определении аспектов безопасности, относящихся к предполагаемому применению их изделий (таких как определение НОРЗ).

Примечание – Упрощенные вычисления могут значительно преуменьшить НОРЗ. Например, когда лазерная апертура находится в большой зоне Рэлея, когда имеется внешняя перетяжка пучка или когда профиль пучка такой, что интенсивность излучения, проходящего через апертуру, оказывается недооцененной вследствие предположения гауссова профиля пучка. В таких случаях обычно предпочтительнее определять НОРЗ экспериментально.

Значения ПДУ, содержащиеся в настоящем стандарте, получены из значений пределов интенсивности облучения, опубликованных Международным комитетом по защите от неионизирующего излучения. Значения ПДУ установлены ниже уровней известной опасности и основаны на наилучшей имеющейся информации, полученной из экспериментальных исследований. Значения ПДУ следует использовать как руководство при контроле облучения, и они не должны рассматриваться как четко определенные границы между опасными и безопасными уровнями. В любом случае облучение лазерным излучением должно быть как можно меньше.

Предполагается, что облучение несколькими длинами волн имеет аддитивное действие с учетом спектральной эффективности в отношении значений ПДУ, приведенных в таблицах А.1 – А.3, при этом спектральные области отмечены как аддитивные символом (o) при облучении глаз и символом (s) при облучении кожи в таблице 2. Если излучение в соответствии с его спектром не показано как аддитивное, степени опасности следует оценивать раздельно.

Таблица А.1 – ПДУ для C_6 = 1 на роговице при облучении лазерным излучением [a, b]

<table>
<tr><td rowspan="2">Длина волны λ, нм</td><td colspan="10">Длительность облучения 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 $1{,}8 \times 10^{-5}$</td><td>От $1{,}8 \times 10^{-5}$ до 5×10^{-5}</td><td>От 5×10^{-5} до 1×10^{-3}</td><td>От 1×10^{-3} до 10</td><td>От 10 до 100</td><td>От 100 до 1 000</td><td>От 1 000 до 3×10^{4}</td></tr>
<tr><td>От 180 до 302,5</td><td colspan="2" rowspan="3">3×10^{10} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="8">30 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 302,5 до 315</td><td colspan="6" rowspan="2">Тепловая 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">C_2 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 315 до 400</td><td colspan="6">C_1 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3">10^4 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 400 до 450</td><td rowspan="3">$1{,}5 \times 10^{-4}$ Дж·м$^{-2}$</td><td rowspan="3">$2{,}7 \times 10^{4}\, t^{0,75}$ Дж·м$^{-2}$</td><td rowspan="3">5×10^{-3} Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="4" rowspan="3">$18 t^{0,75}$ Дж·м$^{-2}$</td><td>100 Дж·м$^{-2}$</td><td rowspan="2">C_3 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 450 до 500</td><td>100 C_3 Дж·м$^{-2}$ и [c] 10 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 500 до 700</td><td colspan="2">10 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 700 до 1050</td><td>$1{,}5 \times 10^{-4}\, C_4$ Дж·м$^{-2}$</td><td>$2{,}7 \times 10^{4}\, t^{0,75}\, C_4$ Дж·м$^{-2}$</td><td>$5 \times 10^{-3}\, C_4$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="4">$18 t^{0,75}\, C_4$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2" rowspan="2">10 C_4 C_7 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 1 050 до 1 400</td><td>$1{,}5 \times 10^{-3}\, C_7$ Дж·м$^{-2}$</td><td>$2{,}7 \times 10^{5}\, t^{0,75}\, C_7$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3">$5 \times 10^{-2}\, C_7$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3">$90 t^{0,75}\, C_7$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 1 400 до 1 500</td><td colspan="2">10^{12} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="4">10^3 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">5 600 $t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2" rowspan="4">1 000 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 1 500 до 1 800</td><td colspan="2">10^{13} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="6">10^4 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 1 800 до 2 600</td><td colspan="2">10^{12} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="4">10^3 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">5 600 $t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 2 600 до 10^6</td><td colspan="2">10^{11} Вт·м$^{-2}$</td><td>100 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="5">5 600$t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
</table>

[a] Значения и единицы измерений поправочных коэффициентов приведены в таблице 10.

[b] ПДУ для длительностей облучения менее 10^{-9} с на длинах волн менее 400 нм и более 1 400 нм получены путем расчета эквивалентной облученности из пределов энергетической экспозиции при 10^{-9} с. ПДУ для длительностей облучения менее 10^{-13} установлены равными ПДУ для эквивалентных значений облученности при 10^{-13} с.

[c] В диапазоне длин волн от 450 до 500 нм применяют двойственные пределы, и интенсивность облучения не должна превышать ни один из применяемых пределов.

[d] Для повторяющихся импульсов ультрафиолетовых лазеров ни один из пределов не должен быть превышен.

Таблица А.2 – ПДУ на роговице при облучении лазерным излучением от протяженного источника в диапазоне длин волн от 400 до 1 400 нм (область повреждения сетчатки)

<table>
<tr><th rowspan="2">Длина волны λ, нм</th><th colspan="8">Длительность облучения t, с</th></tr>
<tr><th>От 10^{-13} до 10^{-11}</th><th>От 10^{-11} до 10^{-9}</th><th>От 10^{-9} до $1{,}8 \times 10^{-5}$</th><th>От $1{,}8 \times 10^{-5}$ до 5×10^{-5}</th><th>От 5×10^{-5} до 10</th><th>От 10 до 100</th><th>От 10^2 до 10^4</th><th>От 10^4 до 3×10^4</th></tr>
<tr><td rowspan="5">От 400 до 700</td><td rowspan="5">$1{,}5 \times 10^{-4}\ C_6$ Дж·м$^{-2}$</td><td rowspan="5">$2{,}7 \times 10^{4}\ t^{0,75}\ C_6$ Дж·м$^{-2}$</td><td rowspan="5">$5 \times 10^{-3}\ C_6$ 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
Фотохимическое повреждение сетчатки [a]</td></tr>
<tr><td>100 C_3 Дж·м$^{-2}$ с использованием γ_{ph} = 11 мрад</td><td>1 C_3 Вт·м$^{-2}$ с использованием $\gamma_{ph} = 1{,}1t^{0,5}$ мрад</td><td>1 C_3 Вт·м$^{-2}$ с использованием γ_{ph} = 110 мрад</td></tr>
<tr><td colspan="3">и [b]</td></tr>
<tr><td colspan="3">От 400 до 700 нм
Тепловое повреждение сетчатки</td></tr>
<tr><td colspan="3">$18\ C_6\ T_2^{-0,25}$ Вт·м$^{-2}$ ($t > T_2$)
($t \le T_2$)
$18\ C_6\ t^{0,75}$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 700 до 1 050</td><td>$1{,}5 \times 10^{-4}\ C_4\ C_6$ Дж·м$^{-2}$</td><td>$2{,}7 \times 10^{4}\ t^{0,75}\ C_4\ C_6$ Дж·м$^{-2}$</td><td>$5 \times 10^{-3}\ C_4\ C_6$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">$18t^{0,75}\ C_4\ C_6$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="3" rowspan="2">$18\ C_4\ C_6\ C_7\ T_2^{-0,25}$ Вт·м$^{-2}$ ($t > T_2$)
($t \le T_2$)
$18t^{0,75}\ C_4\ C_6\ C_7$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 1 050 до 1 400</td><td>$1{,}5 \times 10^{-3}\ C_6\ C_7$ Дж·м$^{-2}$</td><td>$2{,}7 \times 10^{5}\ t^{0,75}\ C_6\ C_7$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">$5 \times 10^{-2}\ C_6\ C_7$ Дж·м$^{-2}$</td><td>$90t^{0,75}\ C_6\ C_7$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
</table>

[a] Угол γ_{ph} является предельным углом восприятия при измерении.

[b] В диапазоне длин волн от 400 до 600 нм применяют двойственные пределы, и интенсивность облучения не должна превышать ни один из применяемых пределов. Обычно пределы фотохимического повреждения применяют только для длительностей облучения более 10 с; однако для длин волн от 400 до 484 нм для видимых источников с угловыми размерами от 1,5 до 82 мрад следует применять двойственный предел фотохимического повреждения 100 C_3 Дж·м$^{-2}$ для облучения не менее 1 с.

Таблица А.3 – ПДУ при облучении кожи лазерным излучением [a, b]

<table>
<tr><td rowspan="2">Длина волны λ, нм</td><td colspan="6">Время облучения t, с</td></tr>
<tr><td>Менее 10^{-9}</td><td>От 10^{-9} до10^{-7}</td><td>От 10^{-7} до 10^{-3}</td><td>От 10^{-3} до 10</td><td>От 10 до 10^{3}</td><td>От 10^{3} до 3 × 10^{4}</td></tr>
<tr><td>От 180 до 302,5</td><td rowspan="3">3 × 10^{10} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="5">30 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 302,5 до 315</td><td colspan="3">C_1 Дж·м$^{-2}$ ($t < T_1$)
C_2 Дж·м$^{-2}$ ($t > T_1$)</td><td colspan="2">C_2 Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 315 до 400</td><td colspan="3">C_1 Дж·м$^{-2}$</td><td>10^{4} Дж·м$^{-2}$</td><td>10 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 400 до 700</td><td>2 × 10^{11} Вт·м$^{-2}$</td><td>200 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">1,1 × 10^{4} $t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">2 000 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 700 до 1 400</td><td>2 × 10^{11} C_4 Вт·м$^{-2}$</td><td>200 C_4 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">1,1 × 10^{4} C_4 $t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">2 000 C_4 Вт·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 1 400 до 1 500</td><td>10^{12} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="2">10^{3} Дж·м$^{-2}$</td><td>5 600$t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2" rowspan="3">1 000 Вт·м$^{-2}$ [c]</td></tr>
<tr><td>От 1 500 до 1 800</td><td>10^{13} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="3">10^{4} Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 1 800 до 2 600</td><td>10^{12} Вт·м$^{-2}$</td><td colspan="2">10^{3} Дж·м$^{-2}$</td><td>5 600$t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
<tr><td>От 2 600 до 10^{6}</td><td>10^{11} Вт·м$^{-2}$</td><td>100 Дж·м$^{-2}$</td><td colspan="2">5 600 $t^{0,25}$ Дж·м$^{-2}$</td></tr>
</table>

[a] Значения и единицы измерений поправочных коэффициентов приведены в таблице 10.

[b] По облучению излучения длительностью менее 10^{-9} с имеется ограниченное количество сведений. ПДУ для этих длительностей облучения получены путем использования сведений по облученности, применимых при 10^{-9} с.

[c] При облучении участков кожи площадью более 0,1 м^2 ПДУ уменьшается до 100 Вт·м$^{-2}$. От 0,01 до 0,1 м^2 ПДУ изменяется обратно пропорционально площади облученной кожи.

А.2 Ограничивающие апертуры

При всех измерениях и расчетах лазерной облученности и энергетической экспозиции следует применять соответствующую апертуру. Это ограничивающая апертура характеризуется диаметром круглой площадки, по которой должна усредняться облученность или энергетическая экспозиция. Значения диаметров ограничивающих апертур указаны в таблице А.4.

При облучении повторяющимися импульсами в спектральном диапазоне от 1 400 до 10^5 нм для оценивания степени опасности от отдельного импульса применяют апертуру диаметром 1 мм, в то время как для оценивания ПДУ при времени облучения более 10 с применяют апертуру диаметром 3,5 мм.

Примечание – Значения экспозиции для глаз в диапазоне длин волн от 400 до 1 400 нм получают при выполнении измерений через апертуру диаметром 7 мм (диаметр зрачка). Не допускается устанавливать меньший ПДУ, принимая в расчетах меньшие диаметры зрачка.

Таблица А.4 – Диаметры апертур для измерения лазерной облученности и энергетической экспозиции

Спектральная область, нм	Диаметр апертуры, мм, при оценивании облучения	
	глаз	кожи
От 180 до 400	1	3,5
От 400 до 1 400	7	3,5
От 1 400 до 10^5	1 для $t \le 0,35$ с $1,5t^{3/8}$ для $0,35 < t < 10$ с 3,5 для $t \ge 10$ с	3,5
От 10^5 до 10^6	11	11
Примечание – При облучении несколькими импульсами применяют А.3.		

А.3 Импульсно-периодические или модулированные лазеры

При определении ПДУ при облучении импульсно-периодическим излучением следует применять следующие методы.

Облучение от любой группы импульсов (или подгруппы импульсов в серии), проследовавшей в любой заданный промежуток времени, не должно превышать ПДУ за это время.

ПДУ для облучения глаз излучением с длинами волн от 400 до 10^6 нм определяют с использованием наиболее ограничивающего из требований, установленных в перечислениях a), b) и c). Требование, установленное в перечислении c), применяют только для тепловых, но не для фотохимических пределов повреждения сетчатки.

ПДУ для облучения глаз излучением с длинами волн менее 400 нм и ПДУ для облучения кожи ограничены наиболее ограничивающим из требований, установленных в перечислениях a) и b).

a) Облучение от любого отдельного импульса в серии импульсов не превышает ПДУ для одиночного импульса.

b) Среднее облучение серии импульсов длительностью облучения T не превышает ПДУ, приведенного в таблицах А.1 – А.3 для одиночного импульса длительностью облучения T.

c) 1) Для импульсов с одинаковыми значениями энергии и длительности облучение от отдельного импульса не превышает ПДУ для одиночного импульса, умноженного на поправочный коэффициент C_5. Коэффициент C_5 применим только для длительностей отдельных импульсов менее 0,25 с:

$ПДУ_{о.с} = ПДУ_о \times C_5$,

где $ПДУ_о$ – ПДУ для одиночного импульса;

$ПДУ_{о.с}$ – ПДУ для отдельного импульса в серии импульсов;

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

N – эффективное число импульсов в серии импульсов в течение оцененной длительности облучения (когда импульсы следуют в промежутке времени T_i (см. таблицу 3), N меньше, чем действительное число импульсов, см. ниже). Максимальная длительность облучения, которую следует учитывать при оценке для длин волн от 400 до 1 400 нм, равна T_2 (см. таблицу 10) или применяемому базовому промежутку времени, в зависимости от того, какое из этих значений меньше. Для длин волн более 1 400 нм максимальная длительность принимается равной 10 с.

Примечание – Коэффициент C_5 применим только для длительностей импульсов менее 0,25 с.

Если повторяющиеся импульсы следуют в течение промежутка времени T_i (см. таблицу 3), то они рассматриваются как одиночный импульс при определении N, и энергетические экспозиции отдельных импульсов суммируют для сопоставления с ПДУ для T_i.

2) Для различной длительности импульсов или интервалов между импульсами.

В случае различных длительностей импульсов или интервалов между импульсами используют метод полной длительности импульсов. ПДУ определяют для полной длительности импульсов, которая является суммой длительностей всех отдельных импульсов за время облучения, или для T_2, в зависимости от того, какой промежуток времени меньше. Импульсам длительностью менее T_i приписывают длительность T_i. Если два или более импульсов следуют в промежутке времени T_i, то группе этих импульсов приписывают длительность T_i. Для сопоставления с ПДУ для соответствующей длительности все энергетические экспозиции отдельных импульсов суммируют.

А.4 Условия измерений

А.4.1 Общие принципы

Для того чтобы оценить действительное облучение, измерения следует выполнять при нижеперечисленных условиях.

А.4.2 Ограничивающая апертура

Значения энергетической экспозиции или облученности, которые следует сопоставлять с соответствующими ПДУ, усредняют по круглой апертурной диафрагме, имеющей размеры, указанные в таблице А.4 для ограничивающих апертур. Определение облучения для глаз в диапазоне длин волн от 400 до 1 400 нм выполняют при минимальном расстоянии для измерения 100 мм.

А.4.3 Угол восприятия

a) Пределы фотохимического повреждения сетчатки.

При выполнении измерений с источниками, интенсивность которых сопоставляется с пределами фотохимического повреждения сетчатки (от 400 до 600 нм), принимают:

– $\gamma_{ph} = 11$ мрад для $10 \text{ с} < t \leq 100$ с;

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

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

Если угловой размер источника α больше, чем установленный предельный угол восприятия γ_{ph}, то угол восприятия не может принимать значения, превышающие установленные для γ_{ph}. Если угло-

вой размер источника α меньше, чем установленный предельный угол восприятия γ_{ph}, то угол восприятия должен полностью включать в себя рассматриваемый источник и не нуждается в тщательном определении (т. е. угол восприятия не должен быть ограничен γ_{ph}).

Примечание – При выполнении измерений с одиночными источниками, для которых $\alpha < \gamma_{ph}$, нет необходимости тщательно определять конкретный угол восприятия. Четкое значение угла восприятия может быть получено по изображению источника на полевой диафрагме или диафрагмируя источник (см. рисунки 3 и 4 соответственно).

b) Все другие пределы.

При измерении интенсивности излучения, которая сопоставляется с пределами, отличными от предела фотохимического повреждения сетчатки, угол восприятия должен полностью включать в себя рассматриваемый источник (т. е. угол восприятия должен быть по крайней мере не меньше углового размера α источника). Однако если $\alpha > \alpha_{max}$ в диапазоне длин волн от 302,5 до 4 000 нм, то для пределов теплового повреждения предельный угол восприятия не должен превышать α_{max} (0,1 рад). В диапазоне длин волн от 400 нм до 1 400 нм для расчета пределов теплового повреждения при оценивании интенсивности видимого источника, который состоит из множества точек, угол восприятия должен находиться в пределах $\alpha_{min} \le \gamma \le \alpha_{max}$ [см. 8.3, перечисление d)].

Для определения ПДУ для источников с некруглыми излучающими площадками значение углового размера прямоугольного или линейного источника определяется среднеарифметическим значением двух угловых размеров источника. Любой угловой размер, который больше α_{max} или меньше α_{min}, должен быть принят равным α_{max} или α_{min} соответственно перед вычислением среднего значения. Пределы фотохимического повреждения сетчатки не зависят от углового размера источника, и измерения интенсивности источника выполняют при значениях угла восприятия, указанных выше.

А.5 Лазеры, представляющие собой протяженные источники

При наблюдении диффузных отражений в большинстве случаев применяют следующие поправки к ПДУ для точечного источника. В некоторых случаях они могут быть применены к набору лазерных источников в виде матриц или линеек, лазерам с диаметрами перетяжек пучка более 0,2 мм и углами расходимости более 2 мрад, к диффузно излучающим лазерным изделиям, представляющим собой протяженные источники.

Для лазерного излучения протяженного источника (например, при наблюдении диффузного отражения) на длинах волн от 400 до 1 400 нм ПДУ теплового повреждения глаз увеличивается за счет умножения на поправочный коэффициент C_6 при условии, что угловой размер источника (измеренный от положения глаза наблюдателя) больше, чем α_{min}, где α_{min} = 1,5 мрад.

Поправочный коэффициент C_6 представлен следующими выражениями:

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

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

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

Приложение В
(справочное)

Примеры расчетов

В.1 Обозначения, используемые в примерах настоящего приложения

Обозначение	Единица измерения	Определение
a	м	Диаметр выходящего лазерного пучка
ПИДИ	Вт, Дж, $Вт·м^{-2}$ или $Дж·м^{-2}$	Предел интенсивности доступного излучения
α	рад	Угловой размер видимого источника (или диффузного отражателя), наблюдаемого из точки в пространстве
α_{min}	рад	Минимальный угловой размер источника, для которого применяют критерий протяженного источника
C_1, C_2, ..., C_7	1	Поправочные коэффициенты (см. таблицу 10)
f_p	Гц	Частота следования импульсов
H	$Дж·м^{-2}$	Энергетическая экспозиция
E	$Вт·м^{-2}$	Облученность на установленном расстоянии r от видимого источника
H_0	$Дж·м^{-2}$	Энергетическая экспозиция на выходе пучка
E_0	$Вт·м^{-2}$	Облученность на нулевом расстоянии от видимого источника
λ	нм	Длина волны лазерного излучения
N	1	Число импульсов в течение длительности облучения
P_0	Вт	Полная мощность излучения (поток излучения) непрерывного лазера или средняя мощность излучения импульсно-периодического лазера
P_p	Вт	Пиковая мощность импульса импульсного лазера
θ	рад	Угол расходимости выходящего лазерного пучка
π	1	Числовая постоянная 3,142
Q	Дж	Полная энергия излучения импульсного лазера
t	с	Длительность одиночного лазерного импульса
T	с	Полная длительность облучения серией импульсов
T_1, T_2	с	Точки перегиба временной зависимости (см. таблицу 10)

В.2 Классификация лазерного изделия. Введение

Примеры, представленные в настоящем приложении, иллюстрируют вычислительные процедуры при классифицировании лазерного изделия на основе измеренных параметров, полученных при условиях измерений, установленных настоящим стандартом. В настоящем приложении приведены блок-схемы, иллюстрирующие основные шаги, которые могут быть необходимы, чтобы выполнить расчет для классифицирования лазерного изделия, но не все лазерные изделия подпадают под приведенные блок-схемы.

Как установлено в 8.2 и 8.3:

Ответственность за правильное установление класса лазерного изделия лежит на изготовителе или его агенте. Изделие классифицируют на основе совокупности сведений о значении (ях) мощности и длине волны (длинах волн) доступного лазерного излучения во всем диапазоне его возможностей при работе в любое время после изготовления, что приводит к отнесению его к высшему соответствующему классу. ПИДИ для классов 1 и 1М, классов 2 и 2М, класса 3R и класса 3В (перечислены в порядке возрастания степени опасности) приведены в таблицах 4 – 9.

Значения используемых поправочных коэффициентов приведены в таблице 10 как функции длины волны, длительности излучения, числа импульсов и углового размера источника.

Если пользователь модифицирует лазерное изделие так, что интенсивность доступного лазерного излучения изменяется, то на него возлагается ответственность за то, чтобы лазерное изделие было правильно классифицировано.

Процедура правильного определения класса лазерного изделия может включать вычисление ПИДИ для более чем одного класса из перечисленных в 8.3, как это показано на рисунках В.1 и В.2. Примеры ПИДИ для класса 1 приведены на рисунках В.3 – В.5.

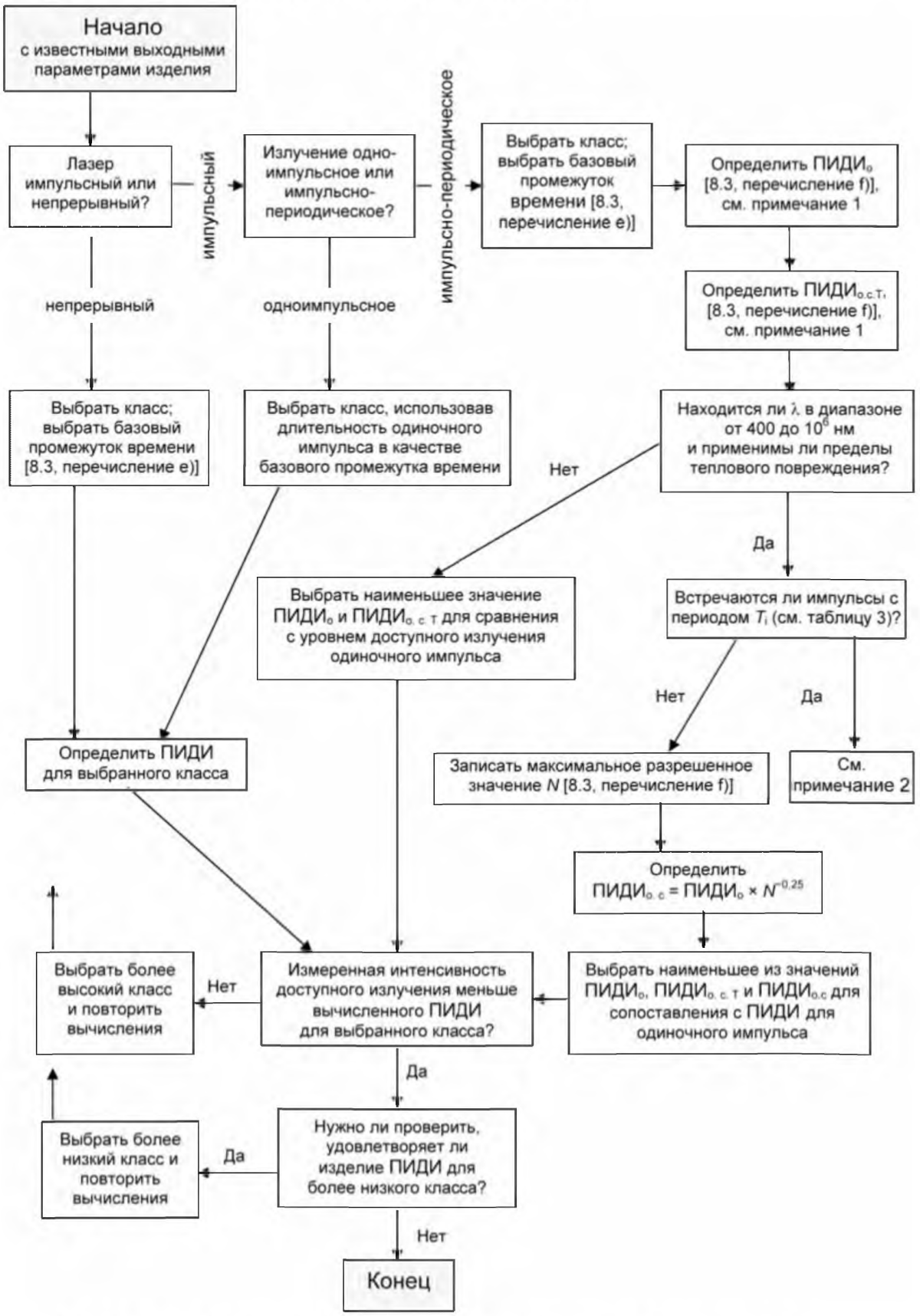


Рисунок В.1 – Блок-схема для классифицирования лазерных изделий с известными параметрами излучения

Примечание 1 – $ПИДИ_{о}$ определяют для длительности одиночного импульса.
$ПИДИ_{о.\,с\,т}$ рассчитывают из $ПИДИ_{Т}$, определенного для выбранного базового промежутка времени, причем:
– если $ПИДИ_{Т}$ выражен в джоулях или джоулях на квадратный метр, то $ПИДИ_{о.\,с.\,т} = ПИДИ_{Т} / N_{Т}$ (в джоулях или джоулях на квадратный метр);
– если $ПИДИ_{Т}$ выражен в ваттах или ваттах на квадратный метр, то $ПИДИ_{о.\,с.\,т} = ПИДИ_{Т} / f_{р}$ (в джоулях или джоулях на квадратный метр);
T – выбранный базовый промежуток времени в секундах;
$N_{Т}$ – число импульсов за время T.
Примечание 2 – Если повторяющиеся импульсы следуют в течение промежутка времени T_{i}, то заменяют длительность одиночного импульса на T_{i} и вычисляют новое значение $ПИДИ_{о}$. Изменяют соответственно $f_{р}$, чтобы определить максимальное разрешенное значение N [8.3, перечисление f)]. Делят новое значение $ПИДИ_{о}$ на число исходных импульсов за промежуток времени T_{i}, прежде чем подставлять окончательное значение $ПИДИ_{о}$ в уравнение для расчета $ПИДИ_{о.\,с}$.

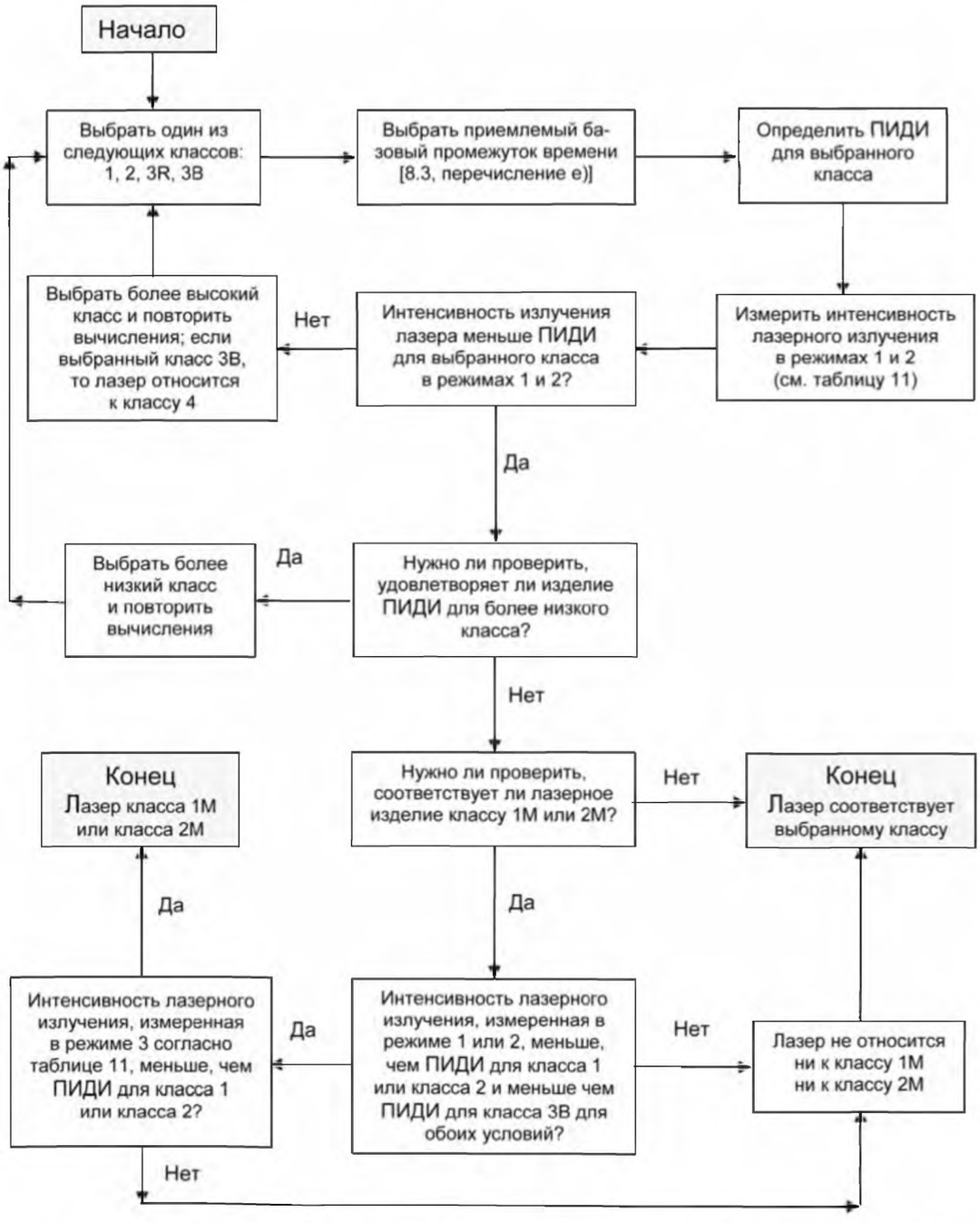


Рисунок B.2 – Блок-схема для классифицирования лазерных изделий класса 1M и класса 2M

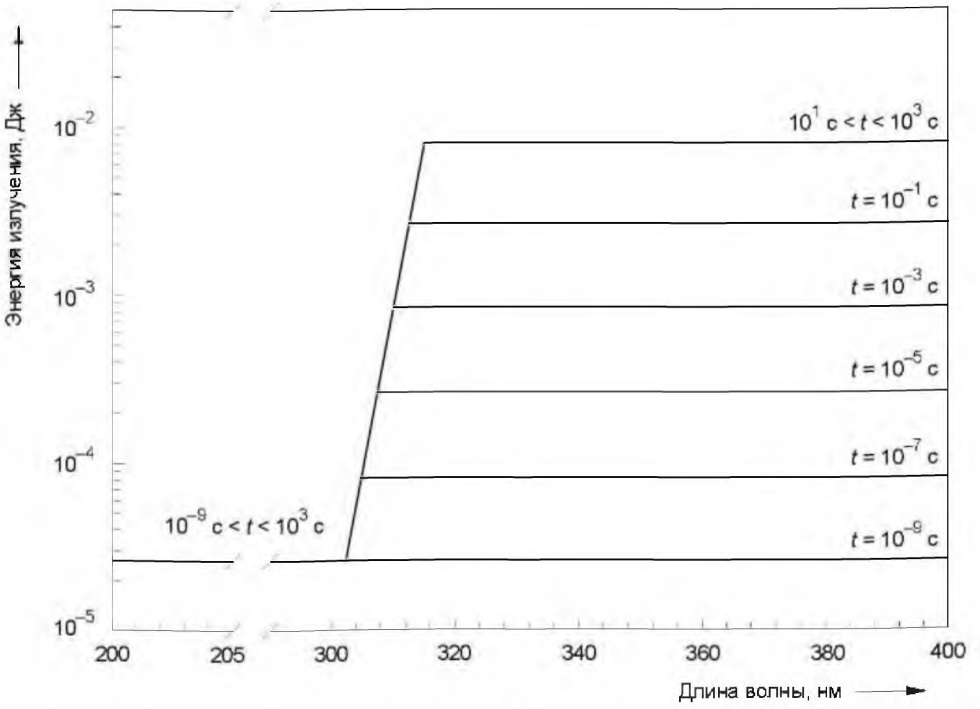


Рисунок В.3 – ПИДИ для лазерных изделий класса 1 с длительностью излучения от 10^{-9} до 10^{3} с в ультрафиолетовой области спектра

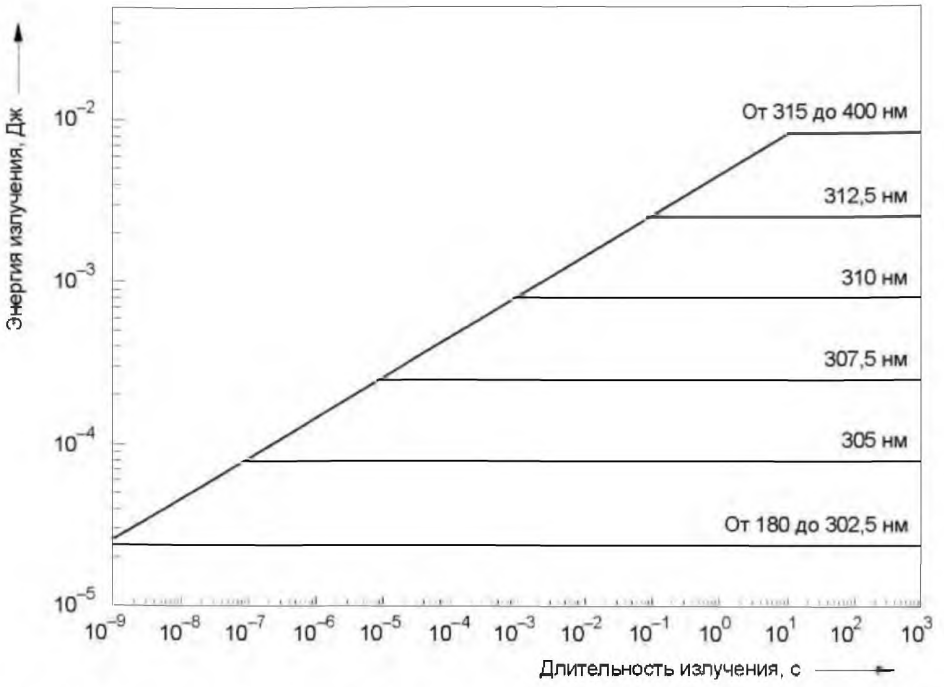


Рисунок В.4 – ПИДИ для лазерных изделий класса 1 с длительностью излучения от 10^{-9} до 10^{3} с в ультрафиолетовой области спектра для выбранных длин волн

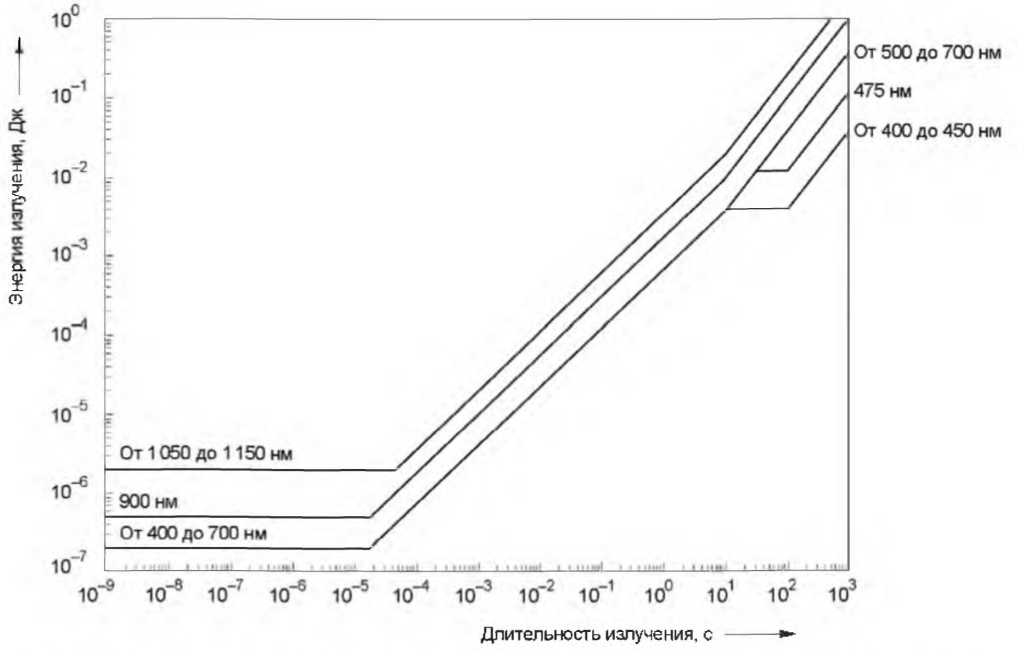


Рисунок В.5 – ПИДИ для лазерных изделий класса 1, испускающих излучение в видимой и инфракрасной областях спектра (в случае, если C_6 = 1)

В.3 Примеры

Пример В.3.1

Классифицирование непрерывного HeNe-лазера (λ = 633 нм) с выходной мощностью 50 мВт, диаметром пучка 3 мм и углом расходимости 1 мрад.

Решение:

Исходя из характеристик пучка можно предположить, что пучок лазера представляет собой хорошо коллимированный точечный источник, для которого $\alpha \leq \alpha_{min}$ = 1,5 мрад. Вследствие малых диаметра пучка и угла расходимости полную мощность излучения измеряют при его прохождении через апертуру диаметром 7 мм, и измерения в режимах 1, 2 и 3 дадут одну и ту же интенсивность доступного излучения. Выбирают классификационный класс и подходящий базовый промежуток времени [8.3, перечисление e)].

Выбирают класс 3B и базовый промежуток времени 100 с. Хотя излучение этого лазера лежит в видимом диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, базовый промежуток времени 0,25 с неприменим для класса 3B и преднамеренное наблюдение в пучке маловероятно. Для класса 3B из таблицы 9 следует

ПИДИ = 0,5 Вт.

Так как лазер испускает излучение мощностью только 50 мВт, то его интенсивность не превышает ПИДИ для класса 3B, и изделие может быть классифицировано как имеющее класс 3B. Однако не всегда очевидно, что изделие не будет удовлетворять требованиям для более низкого класса, поэтому если имеется сомнение, необходимо проверить выполнимость требований для более низкого класса.

Для класса 3R может использоваться базовый промежуток времени 0,25 с для излучения в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, таким образом, согласно таблице 7

$$\text{ПИДИ} = 5 \times 10^{-3}\ C_6\ \text{Вт}.$$

Согласно таблице 10 для непосредственного наблюдения коллимированного пучка $C_6 = 1$, т. е. $\alpha \leq 1{,}5$ мрад, поэтому

ПИДИ = 5 мВт.

Так как мощность выходящего лазерного излучения равна 50 мВт, то она превышает ПИДИ для класса 3R, но меньше ПИДИ для класса 3B, поэтому лазер следует классифицировать как имеющий класс 3B.

Пример B.3.2

Непрерывный диодный лазер мощностью 12 мВт ($\lambda = 900$ нм) без коллимирующей линзы имеет угол расходимости 0,5 рад, и при его использовании были получены нижеприведенные характеристики излучения в режимах измерений, установленных в таблице 11. Каков его класс опасности? Предполагается, что угловой размер α источника на расстоянии для измерений 100 мм меньше α_{min}.

Режим 1: при измерении через апертурную диафрагму диаметром 50 мм на расстоянии 2 м от диодного чипа мощность излучения менее 20 мкВт.

Режим 2: при измерении через апертурную диафрагму диаметром 7 мм на расстоянии 70 мм от диодного чипа мощность излучения равна 1,4 мВт.

Режим 3: при измерении через апертурную диафрагму диаметром 7 мм на расстоянии 100 мм от диодного чипа мощность излучения равна 0,7 мВт.

Решение:

Для источника с такой расходимостью очевидно, что режим 2 более ограничивающий, чем режим 1.

Выбирают класс 1 и базовый промежуток времени 100 с [8.3, перечисление e)]; таким образом, для лазера с $\alpha \leq 1{,}5$ мрад и $t > T_2$, где $T_2 = 10$ с для $\alpha \leq 1{,}5$ мрад (см. таблицу 10), ПИДИ получают из таблицы 4 следующим образом:

$$\text{ПИДИ} = 3{,}9 \times 10^{-4}\ C_4\ C_7 \text{ Вт.}$$

Согласно таблице 10 $C_4 = 10^{0{,}002 \times (\lambda - 700)} = 2{,}51$ и $C_7 = 1$, поэтому

ПИДИ = 0,98 мВт.

Так как это значение меньше, чем интенсивность излучения лазерного диода, регистрируемого через апертуру диаметром 7 мм на расстоянии 70 мм от лазера, то следует полагать, что изделие по своей интенсивности превышает требования для класса 1 классификации в режиме 2. Однако если сопоставить результаты, полученные в режиме 3 с ПИДИ для лазерных изделий класса 1, то можно удостовериться, что изделие соответствует требованиям для класса 1.

Так как изделие удовлетворяет требованиям для класса 1 классификации при измерениях в режимах 1 и 3, но не удовлетворяет требованиям для класса 1 в режиме 2, не превышая ПИДИ для класса 3B, то оно классифицируется как имеющее класс 1M.

Если пользователь присоединит коллимирующую линзу к такому лазерному диоду, то изделие, возможно, должно быть переклассифицировано.

Пример B.3.3

Классифицирование одноимпульсного неодимового лазера с удвоением частоты, генерирующего одновременно на двух длинах волн и имеющего следующие характеристики:

– энергия импульса на выходе равна 100 мДж при $\lambda = 1\,060$ нм;

– энергия импульса на выходе равна 25 мДж при $\lambda = 530$ нм;

– длительность импульса равна 25 нс;

– диаметр апертуры на выходе излучения равен 5 мм;

– угол расходимости на каждой длине волны составляет менее 1 мрад.

Решение:

Если предположить, что лазер может генерировать только один импульс за базовый промежуток времени 100 с, то в качестве длительности облучения может быть использована длительность импульса. Если считать, что лазерное изделие имеет класс 3B, то согласно таблице 9:

– для $\lambda = 1\,060$ нм $\text{ПИДИ}_{1\,060} = 0{,}15$ Дж = 150 мДж;

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

Действие излучения на этих двух длинах волн аддитивно (см. 8.3, перечисление b), и таблицу 2 для классифицирования лазерного изделия, генерирующего излучение на нескольких длинах волн).

Следует определить, выполняется ли неравенство

$$\frac{Q_{1\,060}}{\text{ПИДИ}_{1\,060}} + \frac{Q_{530}}{\text{ПИДИ}_{530}} \le 1.$$

Подстановка соответствующих значений в миллиджоулях дает

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

Так как это значение больше единицы, то лазерное изделие должно иметь более высокий класс. Поэтому лазерное изделие относится к классу 4.

Пример В.3.4

Классифицирование лазера на углекислом газе (λ = 10,6 мкм), используемого в системах безопасности с открытым пучком. Предполагается, что средняя мощность на выходе излучения составляет 0,4 Вт, диаметр пучка – 2 мм и угол расходимости пучка – 1 мрад.

Решение:

Выбирают класс 3R и базовый промежуток времени 100 с, преднамеренное наблюдение не предполагается.

Согласно таблице 7 ПИДИ для класса 3R равен 5 000 Вт·м$^{-2}$. Необходимо отметить, что в таблице 11 времени облучения 100 с соответствует ограничивающая апертура диаметром 3,5 мм, а лазерный пучок имеет диаметр только 2 мм. Для того чтобы рассчитать облученность в пучке ($E_0 = \frac{P_0}{\text{площадь}}$), следует использовать тот диаметр, который больше – действительный диаметр пучка или диаметр ограничивающей апертуры, таким образом

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

Это значение превышает ПИДИ для класса 3R. В таблице 9 приведен ПИДИ для класса 3B, равный 0,5 Вт, поэтому лазер классифицируется как лазерное изделие класса 3B.

Пример В.3.5

Классифицирование лазера, генерирующего импульсы излучения длительностью 1 мкс с частотой следования импульсов 500 Гц, пиковой мощностью 10 кВт при λ = 694 нм, диаметром пучка 5 мм и углом расходимости 0,5 мрад.

В 8.3, перечисление f), содержатся подробные сведения о требованиях, предъявляемых к импульсно-периодическим лазерам, которые приведены ниже.

ПИДИ для длин волн от 400 до 10^6 нм определяется с использованием наиболее ограничивающего из требований, установленных в перечислениях a), b) и c) в соответствии с их приложением. Для излучения других длин волн ПИДИ определяется с использованием наиболее ограничивающего из требований, установленных в перечислениях a) и b). Требование, установленное в перечислении c), применяют только для определения пределов теплового, но не фотохимического повреждения.

Решение:

Выбирают класс 3B и принимают базовый промежуток времени равным 100 с. Проверяют, следуют ли повторяющиеся импульсы в промежутке времени T_i, значение которого приведено в таблице 3. Для данной длины волны $T_i = 18 \times 10^{-6}$ с, а фактическое время между импульсами равно $1/f_p = 2 \times 10^{-3}$ с, откуда следует, что повторяющиеся импульсы не следуют в промежутке времени T_i. Следуют процедуре, описанной в 8.3, перечисление f):

a) облучение одним импульсом. Согласно таблице 9 для $t = 10^{-6}$ с

$$\text{ПИДИ}_o = 0{,}03 \text{ Дж};$$

b) согласно таблице 9 ПИДИ для T = 100 с получается:

$$\text{ПИДИ}_T = 0{,}5 \text{ Вт}.$$

Деление на f_p дает ПИДИ, эквивалентный энергии в импульсе, поэтому

$$\text{ПИДИ}_{\text{о. с. т}} = \frac{\text{ПИДИ}_{\text{т}}}{f_p} = \frac{0{,}5}{500} = 1 \times 10^{-3} \text{ Дж};$$

с) $\text{ПИДИ}_{\text{о. с}} = \text{ПИДИ}_{\text{о}} \times C_5 = \text{ПИДИ}_{\text{о}} \times N^{-0{,}25}$, при этом N ограничено числом импульсов в промежутке времени $T_2 = 10$ с для $\alpha \le \alpha_{min}$ (см. таблицу 10).

Поэтому

$$\text{ПИДИ}_{\text{о. с}} = 0{,}03 \times (10 \times 500)^{-0{,}25} \text{ Дж};$$

$$\text{ПИДИ}_{\text{о. с}} = 3{,}57 \times 10^{-3} \text{ Дж}.$$

Наиболее ограничивающее из трех значений – $\text{ПИДИ}_{\text{о. с. т}} = 1 \times 10^{-3}$ Дж.

Энергия излучения в одном импульсе Q рассчитывается из соотношения

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

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

Так как энергия доступного излучения в импульсе превышает $\text{ПИДИ}_{\text{о. с. т}}$, то интенсивность лазерного изделия превышает ПИДИ для класса 3В, и поэтому должен быть класс 4.

Приложение С
(справочное)

Описание классов и связанных с ними потенциальных опасностей

С.0 Общие положения

В настоящем приложении содержится описание классов и связанных с ними потенциальных опасностей.

Приложение предназначено для применения в качестве руководства для изготовителей при решении их задачи описания опасностей, связанных с изделием. В настоящем приложении также указаны ограничения классификационной схемы, т. е. приведены ситуации, в которых обычно принятые понятия классов не подходят.

С.1 Введение

Классификация была разработана с целью оказания помощи пользователю в оценивании степени опасности лазера и определении необходимых мер контроля. Лазерная классификация связана с потенциальной опасностью доступного лазерного излучения, касающейся повреждения кожи или глаз, и не связана с другими потенциальными опасностями, такими как электрические, механические или химические, или опасностями, возникающими от вторичного оптического излучения. Цель классификации состоит в том, чтобы официально признать, что риск повреждения увеличивается с увеличением мощности доступного излучения выше некоторого уровня, соответствующего классу 1, и наиболее точно описать риск от потенциального облучения на малых расстояниях от лазера. Опасная зона может сильно отличаться для различных лазеров одного класса. Степень потенциальной опасности может быть значительно уменьшена за счет применения пользователем дополнительных мер защиты, включая дополнительные инженерные решения, такие как ограждения.

С.2 Описание классов

Класс 1

Лазерные изделия, которые безопасны при использовании, включая длительное прямое наблюдение в пучке, даже когда облучение происходит через оптические устройства наблюдения (глазные лупы и бинокли). К классу 1 также относятся лазеры с высокой мощностью излучения, которые полностью закрыты, так что потенциально опасное излучение недоступно при использовании (встроенное лазерное изделие). Наблюдение в пучке излучения лазерных изделий класса 1, которые испускают видимое излучение, может создать ослепляющий эффект, особенно при слабом постороннем освещении.

Класс 1М

Лазерные изделия, которые безопасны, включая длительное прямое наблюдение в пучке невооруженным глазом. ПДУ может быть превышен, и может произойти повреждение глаз в результате облучения через оптические устройства наблюдения одной из двух категорий (глазные лупы или бинокли) при следующих условиях:

a) для расходящихся пучков – когда пользователь помещает оптические устройства на расстоянии от источника, не превышающем 100 мм, чтобы концентрировать (коллимировать) пучок;

b) для коллимированного пучка – если его диаметр превышает диаметр, установленный для режима 3 (см. таблицу 11).

Область длин волн для лазеров класса 1М ограничена спектральной областью, в которой наиболее широко используемые в оптических устройствах стеклянные оптические материалы обладают хорошей прозрачностью, т. е. от 302,5 до 4 000 нм. Наблюдение в пучке излучения лазерного изделия класса 1М, которое испускает видимое излучение, может создавать ослепляющий эффект, особенно при низкой окружающей освещенности.

Класс 2

Лазерные изделия, генерирующие видимое излучение в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, которое безопасно при кратковременных облучениях, но может быть опасным, если преднамеренно смотреть в пучок широко раскрытыми глазами. Базовый промежуток времени 0,25 с является неотъ-

емлемым параметром при определении класса, и предполагается, что имеется очень малый риск повреждения при кратковременном облучении, длительность которого немного превышает базовый промежуток времени.

Следующие факторы способствуют предотвращению нанесения повреждений при разумно предвидимых условиях:

– непреднамеренные облучения довольно редко происходят при наиболее неблагоприятных условиях, например при юстировке пучка незащищенным неподвижным глазом при наихудшей аккомодации хрусталика;

– собственный запас надежности ПДУ, на котором основывается ПИДИ;

– естественное негативная реакция при облучении ярким светом.

Для лазерных изделий класса 2, в противоположность изделиям класса 2М, применение оптических устройств не увеличивает риска повреждения глаз.

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

При помощи маркировки пользователям дается предписание не смотреть в пучок, т. е. выполнять активные защитные реакции, отворачиваясь или закрывая глаза и избегая продолжительного преднамеренного наблюдения в пучке.

Класс 2М

Лазерные изделия, которые генерируют видимые лазерные пучки, безопасны при кратковременном облучении только для невооруженного глаза. Может произойти повреждение глаз в результате облучения через оптические устройства наблюдения одной из двух категорий (глазные лупы или бинокли) при следующих условиях:

a) для расходящихся пучков – когда пользователь помещает оптические устройства на расстоянии от источника, не превышающем 100 мм, чтобы концентрировать (коллимировать) пучок;

b) для коллимированного пучка – если его диаметр превышает диаметр, установленный для режима 3 (см. таблицу 11).

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

При помощи маркировки пользователям дается предписание не смотреть в пучок, т. е. выполнять активные защитные реакции, отворачиваясь или закрывая глаза и избегая продолжительного преднамеренного наблюдения в пучке.

Класс 3R

Лазерные изделия, которые генерируют излучение с параметрами, превышающими ПДУ при прямом наблюдении в пучке, но риск повреждения при этом в большинстве случаев довольно низок, так как ПИДИ для класса 3R только в 5 раз превышает ПИДИ для класса 2 (для видимого лазерного излучения) или ПИДИ для класса 1 (для невидимого лазерного излучения). Риск повреждения повышается с увеличением длительности облучения, и облучение становится опасным при преднамеренном облучении глаз. Вследствие низкого риска предъявляются меньшие технологические требования и меры контроля для пользователей по сравнению с теми, которые применяются к лазерам класса 3В.

Риск снижен вследствие:

– того, что непреднамеренные облучения довольно редко происходят при наиболее неблагоприятных условиях, например при юстировке пучка незащищенным глазом при наихудшей аккомодации хрусталика;

– собственного запаса надежности ПДУ;

– естественной негативной реакции при облучении ярким светом в случае видимого излучения и реагирования на нагревание роговицы излучением дальнего инфракрасного диапазона.

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

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

Класс 3B

Лазерные изделия, которые обычно представляют опасность, когда происходит облучение глаз при наблюдении непосредственно в пучке (т. е. в пределах НОРЗ), в том числе и при случайном кратковременном облучении. Наблюдение диффузно отраженного излучения обычно безопасно. Лазеры класса 3B, которые генерируют излучение с интенсивностью, близкой к ПИДИ для класса 3B, могут причинять небольшие повреждения кожи или даже создавать возможность возгорания горючих материалов. Однако это возможно только тогда, когда пучок имеет малый диаметр или сфокусирован.

Примечание – Теоретически (но довольно редко на практике) существуют условия, когда облученность при наблюдении диффузно отраженного излучения может превысить ПДУ. Например, для лазеров класса 3B, имеющих мощность, близкую к ПИДИ, облученность при длительном наблюдении (более 10 с) видимого излучения от диффузно отражающей поверхности с расстояния от нее до роговицы менее 13 см может превысить ПДУ.

Класс 4

Лазерные изделия, излучение которых представляет опасность при непосредственном наблюдении в пучке и воздействии на кожу, а также для которых может быть опасным наблюдение диффузно отраженного излучения. Эти лазеры часто представляют опасность возникновения пожара.

Замечания по номенклатуре

Буква «M» в обозначениях классов 1M и 2M используется для указания на применение увеличивающих (magnifying) оптических устройств наблюдения. Буква «R» в обозначении класса 3R означает пониженные (reduced) или смягченные требования как для изготовителя (например, отсутствие требований наличия ключа, блокиратора или ослабителя излучения, блокировочного соединителя), так и для пользователя. Буква «B» в обозначении класса 3B имеет историческое происхождение, так как в более ранней версии IEC 60825-1 2001 года существовал класс 3A, который по своим характеристикам близок к существующим теперь классам 1M и 2M.

Следует отметить, что когда в тексте употребляется слово «опасный» или делается ссылка на высокий риск повреждения, эта опасность и риск существуют только в пространстве около лазера, где превышены соответствующие ПДУ. При облучении невооруженного глаза эта область ограничена НОРЗ или, для хорошо коллимированного излучения лазеров классов 1M и 2M при наблюдении через бинокли и телескопы, расширенным НОРЗ (РНОРЗ). Вполне возможно, что конкретное лазерное изделие (класса 3B или 4) имеет очень малое НОРЗ, так что для конкретной установки или ее использования применение вне НОРЗ защитных средств для глаз не является необходимым. Примерами таких установок могут служить сканирующие или линейные лазеры, смонтированные на потолке производственного помещения, которые проецируют образец или линию на заготовки в рабочей зоне внизу. В то время как уровень мощности и сканируемый образец таковы, что экспозиция в рабочей зоне меньше ПИДИ и, следовательно, безопасна, программы технического и сервисного обслуживания должны быть рассмотрены особо. Облучение на меньшем расстоянии может быть опасным, например, когда пользователь находится наверху на лестнице, очищая выходное окно. Другим примером может быть ситуация, когда сканирование образца может быть безопасным, а опасность возникает, когда пучок прекращает сканирование. Кроме того, для лазерных изделий класса 4 существует НОРЗ, обусловленное диффузным отражением (хотя это НОРЗ, вероятно, будет весьма ограничено в пространстве). Описание опасности, связанной с конкретным лазером и его применением, является частью оценивания риска.

Классификационные испытания должны проводиться в наиболее неблагоприятных условиях с применением наиболее жестких требований, чтобы было гарантировано, что изделия наинизшего класса (например, класса 1) не представляют опасности для глаз или кожи при разумно предвидимых наихудших ситуациях. Следовательно, изделие класса 3B или 4 может быть сконструировано таким образом, что оно может рассматриваться безопасным для его использования по назначению при

нормальных условиях эксплуатации, так как опасность возникает только при наихудших ситуациях. Например, изделие может иметь защитный кожух (который удовлетворяет требованиям IEC 60825-4), но не может быть классифицировано как встроенное лазерное изделие класса 1 по следующим причинам:

– кожух не выдерживает испытаний в соответствии с настоящим стандартом в течение продолжительного периода (в то время как в соответствии с IEC 60825-4 могут использоваться более короткие промежутки времени);

– кожух не имеет верхней крышки, но изделие может рассматриваться как безопасное в среде, где лица не могут находиться выше ограждения;

– изделие не имеет автоматического устройства обнаружения доступа внутрь. (Однако в контролируемой среде такое устройство может быть заменено организационными мерами по обеспечению безопасности, такими как персональные замки, которые предотвращают закрытие двери, когда кто-нибудь находится внутри кожуха. Это не влияет на классификацию, но представляет собой процедуру, которая обеспечивает достижение желаемого уровня безопасности для пользователя.)

В случаях, когда опасность, связанная с лазерными изделиями классов 3B и 4, ограничена пространством внутри кожуха, организационных мер безопасности может быть достаточно. Подобным образом организационных мер безопасности может быть достаточно для лазерных систем без крыши или в ситуациях, когда ожог через ограждение может произойти по прошествии более длительного времени существования неисправности.

Другие примеры, когда опасность, связанная с лазерами классов 3B и 4, возникают только в специфических ситуациях. Например, рассмотрим ситуацию, в которой при классифицировании учитывается вспомогательная принадлежность, такая как коллимирующая линза, прилагаемая к лазеру с сильно расходящимся пучком излучения для терапии низкоинтенсивным лазерным излучением. Такое изделие может быть классифицировано как имеющее класс 3B на том основании, что дополнительная линза прикреплена винтами, вследствие чего линза создает потенциально опасный коллимированный пучок. Однако использование без дополнительной принадлежности, когда линза отвинчена и пучок становится расходящимся, может быть безопасным (т. е. облучение глаз меньше ПДУ). В этом случае опасная зона существует около лазера только тогда, когда линза прикреплена.

C.3 Ограничения в схеме классифицирования

Хотя классификационные испытания во многих случаях довольно жесткие и предусматривают наихудший случай, все же имеются ограничения, которые в редких случаях могут привести к таким опасностям, которые не связанны с соответствующими классами. Классифицирование базируется на трех «компонентах»:

a) ПИДИ для разных классов;

b) требованиях к измерениям в отношении расстояния для измерений, диаметра апертуры и угла восприятия, отражающих условия потенциального облучения. Эти требования к измерениям для конкретного лазерного изделия определяют интенсивность доступного излучения, которая сопоставляется с ПИДИ для определения класса;

c) условиях проведения испытаний, при которых определяется ПИДИ и интенсивность доступного излучения. При этом принимаются во внимание условия возникновения разумно предвидимых ситуаций разовой неисправности. Также следует разделить условия эксплуатации, технического и сервисного обслуживания. Необходимо рассмотреть применение дополнительных принадлежностей и различных конфигураций изделия, которые могут быть реализованы без применения инструментов.

Каждый из этих трех компонентов имеет ряд предположений, так что в редких случаях, когда эти предположения не выполняются, может возникнуть опасность, выходящая за рамки обычного понимания опасности для определенного класса. Например, ПИДИ для классов 1 и 1M при длительном облучении основывается на предположении движения глаз для неанестезированного глаза. Однако если происходит длительное облучение глаза во время медицинских процедур для анестезированного глаза, то излучение лазера класса 1 может привести к потенциально опасным облучениям. Также требования к измерениям основываются на предположениях и оценках вероятности облучения с определенными типами оптических устройств. Например, попадание коллимированного пучка большого диаметра в большой телескоп может быть опасным даже для лазерного изделия класса 1. Однако вероятность такого случайного облучения глаз обычно очень мала вследствие малого поля зрения телескопа. Другая ситуация, рассмотрение которой может потребоваться, возникает, когда изделие помещают в условия, которые не требуется учитывать при классифицировании, но при которых опасное излучение может, тем не менее, стать доступным. Например, даже, несмотря на то, что коллими-

рующая линза не поставляется изготовителем изделия в качестве дополнительной принадлежности, расходящийся пучок изделия класса 1М или 2М может быть трансформирован в коллимированный пучок, потенциально опасный на большом расстоянии путем присоединения такой линзы. Однако это следует рассматривать как модификацию изделия, и лицо, выполняющее это, должен переклассифицировать изделие.

Тем не менее изготовитель должен осознавать наличие ограничений, чтобы он мог привести предупреждения в руководстве пользователя изделия. Специфические примеры таких потенциальных ограничений приведены ниже (следует отметить, что эти ограничения только потенциальные, так как то, применимы они или нет, зависит от типа изделия).

– Коллимированные пучки больших диаметров лазерных изделий класса 1, 2 или 3R при наблюдении через большие телескопы.

– Сильно расходящиеся пучки лазерных изделий класса 1, 2 или 3R при наблюдении через увеличительные стекла с большим увеличением.

– Бинокли или телескопы с менее чем семикратным увеличением. В этом случае для режима 1 увеличение углового размера источника α, которое может быть применено [см. 8.3, перечисление c)], или в качестве альтернативы уменьшение угла восприятия [см. 9.3.3, перечисление b)] должно быть равно реальному коэффициенту увеличения, т. е. менее 7.

– Сканирующие пучки при наблюдении через телескопы.

– Условия возникновения двойных неисправностей, которые могут быть вероятны. Это такие неисправности, когда любая из них по отдельности не приводит к интенсивности доступного излучения, превышающей ПИДИ, но обе неисправности, происшедшие одновременно, могут к этому привести. Когда предполагается, что эти неисправности по отдельности могут произойти с относительно высокой вероятностью, тогда вероятность возникновения двойной неисправности может быть довольно высокой, и это необходимо учитывать при конструировании изделия.

Приложение D
(справочное)

Биофизические факторы, которые необходимо учитывать

D.1 Анатомия глаза

На рисунке D.1 представлено анатомическое строение глаза человека.

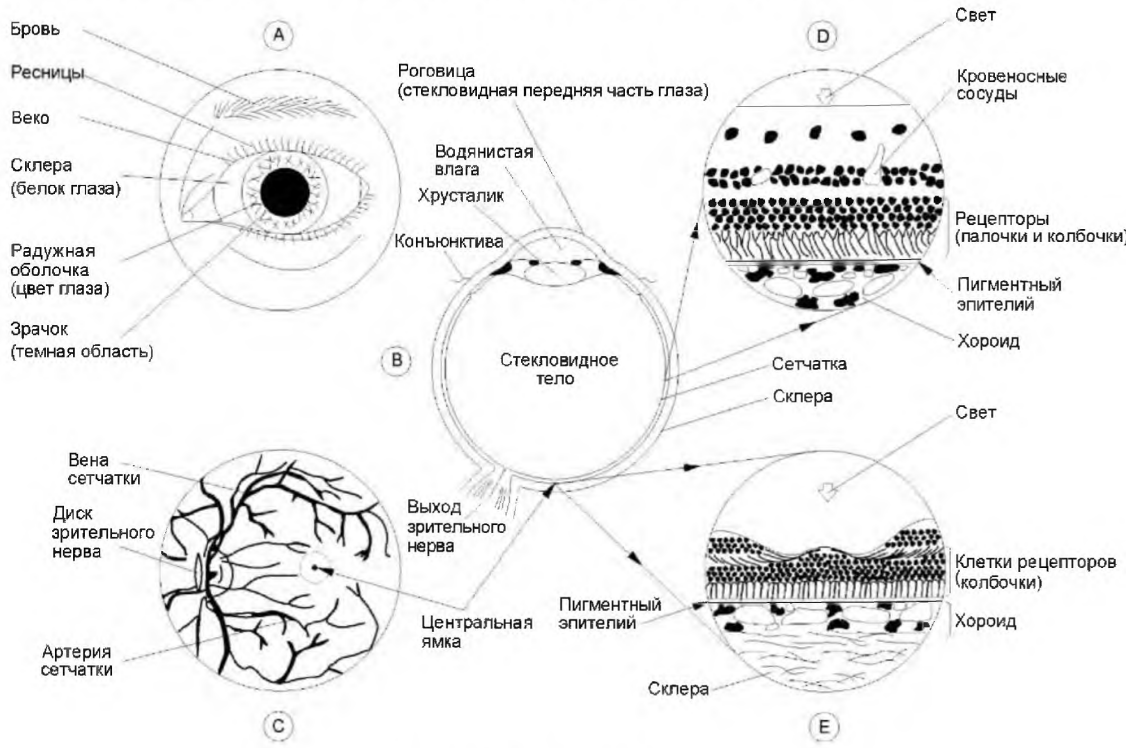


Рисунок D.1 – Анатомия глаза

На рисунке D.1, секция (A), представлено схематическое изображение наружных деталей левого глаза. Промежуток между закрывающимися веками ограничивает поле зрения глаза миндалевидной формы. Отмечены основные элементы переднего глаза.

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

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

На рисунке D.1, секция (D), представлена структура сетчатки в том же сечении, что и в секции (B), но увеличенная в несколько сотен раз по сравнению с натуральной величиной. Сетчатка состоит из ряда слоев нервных клеток, которые покрывают светочувствительные палочки и колбочки; т. е. свет, падающий на поверхность сетчатки, должен пройти через слои нервных клеток, прежде чем он дос-

тигнет светочувствительных клеток. Под слоем палочек и колбочек находится слой пигментного эпителия, который содержит темно-коричневый пигмент меланин, а ниже – слой тонких кровеносных сосудов – сосудисто-капиллярный слой. Последний поглощающий слой – сосудистая оболочка глаза – хороид, который содержит пигментированные клетки и кровеносные сосуды.

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

D.2 Действие лазерного излучения на биологические ткани

D.2.1 Общие сведения

Механизм повреждения лазерным излучением подобен для всех биологических систем и может включать взаимное действие нагревания, термоакустических переходных процессов, фотохимических процессов и нелинейных эффектов. Степень, в которой любой из этих механизмов ответствен за повреждение, может соотноситься с определенными физическими параметрами источника облучения, наиболее важные из которых – длина волны, длительность импульса, размер пятна, облученность и энергетическая экспозиция.

Вообще при сверхпороговом облучении доминирующий механизм сильно зависит от длительности импульса облучения. Таким образом, в порядке увеличения длительности импульса доминирующими эффектами в следующих временных интервалах являются:

– при наносекундном и субнаносекундном облучении – акустические переходные процессы и нелинейные эффекты;

– от 1 мс до нескольких секунд – тепловые эффекты;

– при длительности, превышающей 10 с, – фотохимические эффекты.

Лазерное излучение отличается от большинства известных типов излучения коллимированностью пучка. Это наряду с высокой энергией генерируемого излучения приводит к чрезмерным количествам энергии, передаваемой в биологические ткани. Первичным событием при любом повреждении биологической системы лазерным излучением является поглощение этой системой оптического излучения. Поглощение происходит на атомарном или молекулярном уровне и зависит от длины волны. Таким образом, именно длина волны определяет, какая ткань может быть повреждена конкретным лазерным пучком.

Тепловые эффекты. Когда система поглощает достаточную энергию излучения, составляющие ее молекулы начинают усиленно колебаться, что приводит к увеличению энтальпии. Большинство повреждений лазерным излучением обусловлено нагреванием поглощающей ткани или тканей. Это тепловое повреждение обычно ограничено областью, простирающейся во все стороны от места поглощения лазерной энергии, с центром, совпадающим с центром облучающего пучка. Клетки внутри этой области обожжены, и повреждение ткани происходит прежде всего из-за денатурации протеина. Как указано выше, возникновение вторичных механизмов повреждения при лазерном воздействии может быть связано с динамикой реакции нагревания ткани, которая непосредственно связана с длительностью импульса (см. рисунок D.2) и периодом охлаждения. Термохимические реакции происходят как во время нагрева, так и во время охлаждения, приводя к росту размера пятна теплового повреждения. Если на ткань попадает излучение непрерывного лазера или лазера с большой длительностью импульса, то вследствие теплопроводности площадь биологической ткани, имеющей повышенную температуру, постепенно увеличивается. Такое расширение теплового фронта ведет к увеличению зоны повреждения, по мере того как все больше клеток нагревается выше допустимой для них температуры. Размер пятна тоже имеет большое значение, так как степень периферического расширения вследствие теплопроводности является функцией как размера, так и температуры первоначальной площади нагревающейся ткани. Такой тип теплового повреждения обычно наблюдается при облучении непрерывными лазерами или лазерами с большой длительностью импульсов, но встречается и при облучении короткими импульсами. При размерах облучаемых пятен порядка одного – двух миллиметров или менее радиальный отток тепла ведет к зависимости повреждения от размеров пятна.

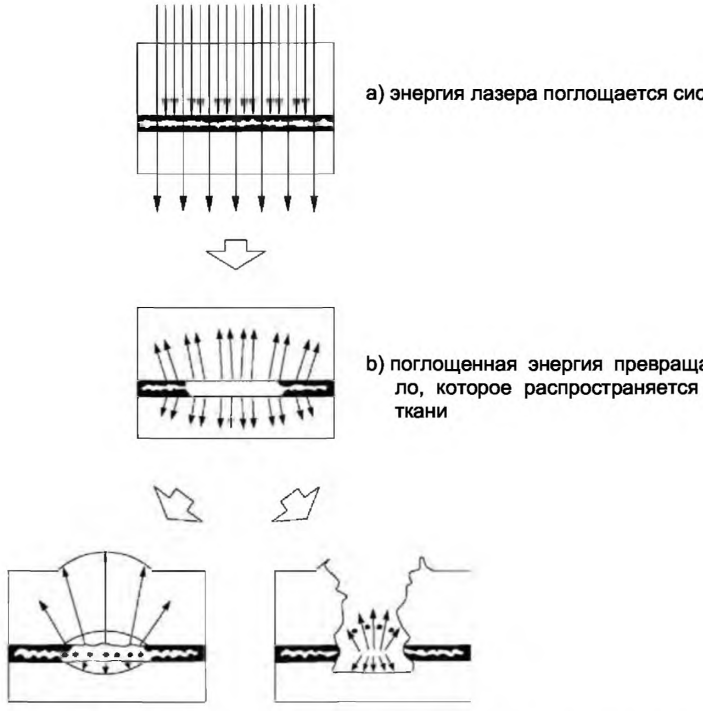


Рисунок D.2 – Схема лазерного повреждения биологических систем

Фотохимические эффекты. С другой стороны, эффекты повреждения могут быть прямым результатом фотохимического процесса. Этот процесс активизируется при поглощении определенной световой энергии. Вместо выделения энергии вещество подвергается химической реакции, специфической для его возбужденного состояния. Считается, что химическая реакция является причиной повреждения при низких уровнях облучения. Посредством этого механизма в некоторых биологических тканях, таких как кожа, хрусталик глаза и особенно сетчатка, могут произойти необратимые изменения, вызванные продолжительным облучением излучением средней интенсивности в ультрафиолетовой и коротковолновой видимой областях спектра. Такие изменения, вызванные фотохимическими эффектами, могут привести к повреждениям в системе, если длительность облучения чрезмерная или если непродолжительное облучение повторяется в течение длительного времени. Некоторые из фотохимических реакций, инициированные лазерным облучением, могут быть необычными или чрезмерно усиливать обычные процессы. Фотохимические реакции обычно происходят в соответствии с законом Бунзена – Роско за время порядка от 1 до 3 ч или менее (когда восстановительные механизмы не могут справиться с развитием повреждения); порог повреждения, выраженный через энергетическую экспозицию, постоянен в широком диапазоне длительностей облучения. Зависимость повреждения от размеров пятна, которая присуща тепловым эффектам повреждения вследствие диффузии тепла, для фотохимических эффектов отсутствует.

Нелинейные эффекты. Лазеры с короткой длительностью импульсов и высокой пиковой мощностью (т. е. лазеры с модулированной добротностью или синхронизацией мод) могут привести к повреждениям ткани при различных комбинациях вызывающих их механизмов. Энергия поступает в биологический объект за очень короткое время, и при этом создается очень высокая облученность. Облучаемые ткани испытывают такой быстрый подъем температуры, что жидкие компоненты их кле-

ток превращаются в газ. В большинстве случаев эти фазовые изменения настолько быстры, что они вызывают взрыв и разрыв клеток. При тепловом расширении могут возникнуть перепады давления, и два этих процесса из-за объемных физических перемещений могут привести к разрывам тканей, удаленных от поглощающих слоев. При субнаносекундных облучениях самофокусировка в глазной среде еще более концентрирует лазерную энергию коллимированного пучка и понижает порог для импульсов длительностью примерно от 10 пс до 1 нс. Кроме того, в субнаносекундной области в повреждении сетчатки, по всей видимости, играют роль и другие оптические механизмы.

Как было показано, все вышеописанные механизмы повреждения оказывают влияние на сетчатку, и это отражается в точках перегиба или изменениях наклона зависимости уровней безопасного облучения от времени, описанных в настоящем стандарте.

D.2.2 Опасности для глаз

Краткое описание анатомии глаза представлено в D.1. Глаз специально приспособлен для восприятия и преобразования оптического излучения. Патологии, вызываемые чрезмерным облучением, сведены в таблице D.1. Механизмы теплового воздействия показаны на рисунке D.2. Лазеры, генерирующие излучение ультрафиолетового и дальнего инфракрасного диапазонов представляют опасность для роговицы, в то время как излучение видимого и ближнего инфракрасного диапазонов достигает сетчатки.

Лазерное излучение видимого и ближнего инфракрасного диапазонов представляет особую опасность для глаз, потому что свойства глаза, необходимые для того, чтобы он мог эффективно передавать свет, обусловливают высокую энергетическую экспозицию на сильно пигментированных тканях. Увеличение облученности при переходе от роговицы к сетчатке примерно соответствует отношению площади зрачка к площади изображения на сетчатке. Это увеличение происходит потому, что свет, который поступает в зрачок, фокусируется в «точку» на сетчатке. Зрачок представляет собой изменяющуюся апертуру, но ее диаметр может достигать не более 7 мм, когда зрачок максимально расширен у молодого глаза. Изображение на сетчатке, соответствующее такому зрачку, может быть от 10 до 20 мкм в диаметре. С учетом внутриглазного рассеяния и аберраций роговицы увеличение облученности при переходе от роговицы к сетчатке может составлять порядка 2×10^5 раз.

Таблица D.1 – Сводка патологических эффектов, связанных с превышением светового облучения

Спектральный диапазон по классификации CIE [a]	Глаз	Кожа
Ультрафиолетовый C (от 180 до 280 нм)	Фотокератит	Эритема (солнечный ожог) Ускорение старения кожи Усиленная пигментация
Ультрафиолетовый B (от 280 до 315 нм)		
Ультрафиолетовый A (от 315 до 400 нм)	Фотохимическая катаракта	Потемнение пигмента Фоточувствительные реакции Кожный ожог
Видимый (от 400 до 780 нм)	Фотохимическое и тепловое повреждения сетчатки	
Инфракрасный A (от 780 до 1 400 нм)	Катаракта, ожог сетчатки	Кожный ожог
Инфракрасный B (от 1,4 до 3,0 мкм)	Расширение жидкости, катаракта, ожог роговицы	
Инфракрасный C (от 3 мкм до 1 мм)	Только ожог роговицы	
[a] Спектральные диапазоны, установленные CIE, имеют краткие обозначения, полезные при описании биологических эффектов, они могут не согласовываться со спектральными опорными точками для ПДУ в таблицах A.1 – A.3 (приложение A).		

Если предполагаемое увеличение облученности составляет 2×10^5 раз, то облученность на роговице 50 Вт·м$^{-2}$ преобразуется в облученность на сетчатке 1×10^7 Вт·м$^{-2}$. В настоящем стандарте зрачок диаметром 7 мм рассматривается как ограничивающая апертура, так как при таком диаметре реализуется наихудшее условие. Этот размер получен на основе результатов измерения диаметров зрачков молодого глаза. Исключение для предположения о диаметре зрачка 7 мм было сделано при выводе пределов облучения для защиты от светового повреждения сетчатки при наблюдении яркого видимого (от 400 до 700 нм) лазерного излучения в течение более 10 с. В этой ситуации для наихуд-

шего случая предполагалось принимать диаметр зрачка 3 мм; однако для измерений облученности рассматривается усреднение по апертуре диаметром 7 мм вследствие физиологических движений зрачка в пространстве. Поэтому ПИДИ для длительностей более 10 с определяются для апертуры диаметром 7 мм.

Когда интенсивный пучок лазерного света фокусируется на сетчатке, только малая его часть (до 5 %) поглощается зрительными пигментами палочек и колбочек. Большая часть света поглощается пигментом, называемым меланин, содержащимся в пигментном эпителии. (В области макулы часть энергии в спектральном диапазоне от 400 до 500 нм поглощается желтым пигментом макулы.) Поглощенная энергия вызывает локальный нагрев и ожог пигментного эпителия и расположенных рядом светочувствительных палочек и колбочек. Этот ожог или повреждение может привести к потере зрения. Фотохимические повреждения, хотя и не являются тепловыми, также локализованы в пигментном эпителии.

В зависимости от величины облучения такая потеря зрения может быть постоянной или временной. Ухудшение зрения обычно отмечается субъективно облученным индивидуумом только тогда, когда задействована центральная или фовеальная область ямки желтого пятна. Центральная ямка в центре желтого пятна является наиболее важной частью сетчатки, так как она обеспечивает наиболее острое зрение. Это именно та часть сетчатки, которая используется для того, чтобы «смотреть прямо на что-либо». Угловое поле центральной ямки примерно равно угловому полю луны. Если эта область повреждается, то ухудшение зрения может вначале проявиться как туманное белое пятно, закрывающее центральное поле зрения; однако через одну или более недель оно может превратиться в темное пятно. В итоге жертва может перестать осознавать наличие этого слепого пятна (скотомы) при обычном видении. Однако оно может немедленно проявиться, если смотреть на визуально чистую поверхность, такую как чистый лист белой бумаги. Периферические повреждения отмечаются субъективно только тогда, когда имеется сильное повреждение сетчатки. Малые периферические повреждения остаются незамеченными и могут даже не обнаруживаться при офтальмологическом исследовании глаз.

В диапазоне длин волн от 400 до 1 400 нм наибольшую опасность представляет повреждение сетчатки. Роговица, водянистая влага, хрусталик и стекловидное тело прозрачны для излучения этих длин волн. Для хорошо коллимированного пучка степень опасности практически не зависит от расстояния между источником излучения и глазом, так как считается, что изображение источника на сетчатке представляет собой пятно диаметром от 10 до 20 мкм, размеры которого ограничены дифракцией. В этом случае, в предположении теплового равновесия, опасная зона на сетчатке определяется предельным угловым размером α_{min}, который обычно соответствует пятну на сетчатке диаметром около 25 мкм.

Для протяженного источника степень опасности изменяется с изменением расстояния между источником и глазом, потому что мгновенная облученность сетчатки зависит только от энергетической яркости источника и характеристик хрусталика глаза, а тепловая диффузия энергии от бóльших изображений на сетчатке менее существенна, что приводит к зависимости от размеров пятна для теплового повреждения, которая отсутствует для фотохимического повреждения (доминирующего только в спектральной области от 400 до 600 нм). Кроме того, движения глаз способствуют распространению поглощенной энергии при облучении излучением непрерывного лазера, что приводит к различным зависимостям риска для различных размеров изображения на сетчатке.

При определении пределов облучения для глаз, учитывающих опасность повреждения сетчатки, поправочные коэффициенты на движения глаз применимы только для длительностей наблюдения более 10 с. Хотя физиологические движения глаз, известные как скачкообразные, действительно распределяют поглощенную энергию по минимальному изображению на сетчатке (около 25 мкм или менее) в режиме наблюдения от 0,1 до 10 с, пределы предусматривают необходимый дополнительный коэффициент безопасности для таких условий наблюдения. При длительности 0,25 с средний диаметр пятна на сетчатке примерно равен 50 мкм. При 10 с диаметр освещенной зоны на сетчатке достигает примерно 75 мкм и дополнительный коэффициент безопасности при учете временной зависимости размера пятна и условии получения минимального изображения становится равным 1,7 по сравнению с неподвижным глазом. При 100 с редко удается достичь размера освещенной зоны (измеренного в 50 % точек) не более 135 мкм, что приводит к дополнительному коэффициенту безопасности 2,3 или более при условии получения минимального изображения.

Результаты изучения непроизвольных движений глаз и теплового повреждения сетчатки были скомбинированы, чтобы получить точку перегиба зависимости от времени наблюдения T_2, для которого движения глаз учтены при определении повышенного теоретического риска теплового повреж-

дения для увеличенных длительностей облучения по сравнению с тем, как если бы глаз был зафиксирован неподвижно. Так как порог теплового повреждения, выраженный как мощность излучения, попавшего в глаз, уменьшается по мере увеличения времени облучения t в степени −0,25 (т. е. снижается только на 44 % при десятикратном увеличении длительности), то только умеренные увеличения площади облученной сетчатки будут компенсировать повышенный риск при более длительных временах наблюдения. В результате увеличения площади облучаемой сетчатки, обусловленного большей подвижностью глаз при большем времени наблюдения, требуется больше времени, чтобы компенсировать уменьшенное влияние диффузии тепла для бóльших протяженных источников. Так, при возрастании углового размера источника α точка перегиба T_2 увеличивается с 10 с для точечных источников до 100 с для бóльших источников. После 100 с отсутствует дальнейшее повышение риска теплового повреждения для изображений малых и промежуточных размеров. При установлении пределов и условий измерений пытаются учесть эти изменения с некоторыми упрощениями, приводящими к заниженному определению риска. Традиционно предполагается, что пороги теплового повреждения сетчатки изменяются обратно пропорционально линейному размеру изображения (стабилизированного) на сетчатке в диапазоне приблизительно от 25 мкм до 1 мм (что соответствует угловым размерам от 1,5 до 59 мрад), если размер превышает 1,7 мм (что соответствует угловым размерам более 100 мрад), зависимость от размера пятна отсутствует.

Для стабилизированного изображения на сетчатке отсутствует зависимость фотохимического повреждения сетчатки от размера пятна. В отличие от механизма теплового повреждения пороги фотохимического повреждения зависят в значительной степени от длины волны и от дозы облучения, т. е. пороги уменьшаются обратно пропорционально увеличению длительности облучения. Исследования фотохимического повреждения сетчатки излучением электрической дуги, применяемой при сварке, с угловым размером видимого источника от 1 до 1,5 мрад показали, что типичные размеры повреждений составляют от 185 до 200 мкм (что соответствует угловым размерам от 11 до 12 мрад), что ясно демонстрирует влияние движений глаз при фиксированном взгляде; эти и другие исследования движений глаз при фиксированном взгляде привели к установлению ПДУ для защиты от фотохимического повреждения сетчатки. Эти исследования также привели к тому, что ПДУ облученности для длительностей облучения от 10 до 100 с определен как усредненный по углу 11 мрад. Отсюда следует, что источники с угловыми размерами α менее 11 мрад рассматриваются как точечные источники и концепция α_{min} распространена на наблюдение излучения непрерывных лазеров. Этот подход не совсем корректен, так как измеренная облученность от источника с угловым размером 11 мрад не эквивалентна облученности, усредненной по полю зрения (γ) 11 мрад, если источник не имеет прямоугольного распределения энергетической яркости по поверхности. Поэтому в настоящем стандарте сделано различие между угловым размером источника и облученностью, усредняемой для определения фотохимических значений ПДУ. Для времени наблюдения, превышающего приблизительно длительность от 30 до 60 с, движения, обусловленные зрительной задачей, обычно преобладают над скачкообразными движениями глаз при фиксированном взгляде, и совершенно неразумно полагать, что изображение источника света будет расположено исключительно в центральной ямке для длительностей более 100 с. По этой причине угол восприятия γ_{th} линейно увеличивается с увеличением квадратного корня из t. Минимальный угловой размер α_{min} остается равным опорному углу 1,5 мрад при любой длительности облучения, используемой при оценивании теплового повреждения сетчатки. Однако при оценивании степени фотохимической опасности принцип совершенно иной, так как угол γ_{ph} является линейным углом восприятия при измерении облученности, и это важно применять только для протяженных источников, больших, чем приблизительно 11 мрад.

Расстояние наблюдения. Для точечного источника с расходящимся пучком степень опасности снижается с увеличением расстояния между перетяжкой пучка и глазом. Причина заключается в том, что с уменьшением расстояния увеличивается мощность попадающего в глаз излучения, в то время как размер изображения на сетчатке, как предполагается, остается постоянным, равным дифракционному пределу для реальных лазерных источников вплоть до расстояния 100 мм (вследствие аккомодационной способности глаза). Наивысшая степень опасности характерна для наименьшего расстояния аккомодации. При дальнейшем уменьшении расстояния степень опасности для невооруженного глаза также снижается, так как происходит резкое увеличение изображения на сетчатке и соответствующее уменьшение облученности, даже при том, что больше мощности излучения может быть собрано глазом. Чтобы смоделировать риск при наблюдении коллимированного пучка оптически вооруженным глазом с применением биноклей или телескопов, принимают наименьшее расстояние равным 2 м при диаметре апертуры 50 мм, что обеспечивает наименьшее расстояние для четкого зрения.

В настоящем стандарте наименьшее расстояние аккомодации глаза установлено равным 100 мм для всех длин волн от 400 до 1 400 нм. Это расстояние было выбрано в результате компромиссного, так как почти все молодые люди и за малым исключением близорукие люди не могут аккомодировать свои глаза на расстояние менее 100 мм. Это расстояние может использоваться для измерения облученности при наблюдении внутри пучка (см. таблицу 11).

Для длин волн менее 400 нм или более 1 400 нм самая большая опасность – повреждение роговицы или хрусталика. В зависимости от длины волны оптическое излучение поглощается преимущественно или исключительно роговицей или хрусталиком (см. таблицу D.1). Для источников с расходящимся пучком (протяженных или точечных), испускающих излучение на этих длинах волн, следует избегать наблюдения с малых расстояний.

В диапазоне длин волн от 1 500 до 2 600 нм излучение проникает в стекловидное тело. Поэтому нагревание распространяется по большему объему глазного яблока, вследствие чего ПДУ увеличиваются для длительностей облучения короче 10 с. Наибольшее увеличение ПДУ происходит для очень коротких длительностей импульсов в диапазоне длин волн от 1 500 до 1 800 нм, для которых поглощающий объем наибольший. При длительности более 10 с теплопроводность перераспределяет тепловую энергию так, что влияние глубины проникновения излучения больше не имеет значения.

D.2.3 Виды опасности повреждения кожи

В общем случае кожа может выдерживать гораздо большие энергии облучения лазерного пучка, чем глаз. Биологический результат облучения кожи лазерами, генерирующими излучение в видимой (от 400 до 700 нм) и инфракрасной (более 700 нм) спектральных областях может варьироваться от слабо выраженной эритемы до сильных волдырей. При облучении лазерами с очень короткими импульсами и высокой пиковой мощностью происходит сильное поверхностное поглощение излучения и, как следствие, обугливание тканей. Это не может сопровождаться возникновением эритемы.

При чрезвычайно высоких значениях облученности может происходить пигментация, появление язв, рубцевание кожи и повреждение подкожных органов. Скрытые эффекты или эффекты накопления при лазерном облучении незначительны. Однако в отдельных немногочисленных исследованиях предполагается, что при некоторых особых условиях небольшие участки ткани человека могут стать чувствительными вследствие воздействия повторяющегося локального облучения, в результате чего уровень облучения для минимальной реакции изменяется и реакции в тканях более выражены для такого низкого уровня облучения.

В диапазоне длин волн от 1 500 до 2 600 нм исследования биологического порога показывают, что риск повреждения кожи подобен риску повреждения глаз. Для этого спектрального диапазона ПДУ увеличен для длительностей облучения вплоть до 10 с.

D.3 Предельно допустимые уровни и усреднение облученности

В настоящем стандарте приняты значения ПДУ, рекомендованные Международной комиссией по защите от неионизирующего излучения (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP). Были приняты рекомендованные ICNIRP размеры апертур, по которым производится усреднение облученности (измерительные апертуры), или применен дополнительный коэффициент безопасности согласно IEC/TC 76. Определение и установление ПИДИ, хотя в общем случае они базируются на ПДУ, неизбежно влекут за собой необходимость анализа рисков и определения разумно предвидимых условий облучения. Выбор измерительной апертуры играет роль в установлении ПИДИ и отражает влияние как биофизических, так и физиологических факторов. В некоторых случаях заметную роль играют факторы оценки рисков и упрощение выражений. В таблице D.2 приведены факторы, принятые во внимание при выборе измерительной апертуры. В общем случае учитывались рекомендации ICNIRP или применялись дополнительные коэффициенты безопасности.

Таблица D.2 – Пояснения к выбору измерительных апертур, относящихся к ПДУ

Спектральная полоса λ, нм	Длительность облучения t	Диаметр апертуры, мм	Комментарии и обоснование выбора диаметра апертуры
От 180 до 400	$t < 3 \times 10^4$ с	1	IEC учитывает рассеяние в эпителии роговицы и роговом слое кожи до 1 мм; предположение об отсутствии движений экспонируемой ткани для условий непрерывного облучения. Однако ICNIRP рекомендован диаметр 3,5 мм для длительных облучений с учетом движения глаз
От 400 до 600, фотохимическая	$t > 10$ с	3 – для установления ПДУ, 7 – для выполнения измерений	Боковое движение зрачка диаметром 3 мм в пространстве обусловливает применение апертуры диаметром 7 мм при усреднении интенсивности непрерывного излучения для оценивания повреждения по фотохимическому механизму
От 400 до 1 400, тепловая	Для всех t	7	Диаметр расширенного зрачка и учет боковых смещений при облучении непрерывным излучением
$\lambda > 1\,400$	$t < 0{,}35$ с	1	Тепловая диффузия в слое роговицы и тканях эпителия
$\lambda > 1\,400$	$0{,}35\text{ с} < t < 10$ с $t > 10$ с	$1{,}5 \times t^{3/8}$ 3,5	Более обширная тепловая диффузия и смещение облучаемой ткани относительно пучка спустя 0,35 с
$10^5 \le \lambda \le 10^6$	Для всех t	11	Для выполнения точных измерений апертура должна быть больше, чем дифракционный предел (примерно в 10 раз)

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 ultrashort 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., Delory, 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)

Представление предельно допустимых уровней и пределов интенсивности доступного излучения через энергетическую яркость

Е.1 Основные положения

Для больших протяженных источников может быть легче анализировать потенциальную опасность повреждения сетчатки с использованием энергетической яркости источника. В настоящем приложении представлены таблица и графики максимальной допустимой энергетической яркости, основанные на ПИДИ для лазерных изделий классов 1 и 1М, и соответствующие значения ПДУ для диапазона длин волн от 400 до 1 400 нм, представляющего опасность повреждения сетчатки, для условий наблюдения, когда предполагается, что угловой размер видимого источника больше α_{max}. В соответствии с законом сохранения энергетической яркости все протяженные источники, которые излучают диффузно и имеют интенсивность ниже установленной в таблице Е.1 или на рисунке Е.1, не могут превышать ПИДИ для класса 1 независимо от оптических элементов, помещенных перед диффузно испускающим источником.

Е.2 Значения энергетической яркости

Значения энергетической яркости в таблице Е.1 основываются на уровнях ПДУ IEC/ICNIRP. Так как ПДУ обычно выражается в единицах энергетической экспозиции ($Дж \cdot м^{-2}$) или облученности ($Вт \cdot м^{-2}$), необходимо преобразовать значения ПДУ в значения энергетической яркости ($Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$). Затем значения энергетической яркости наносят на график как функцию длины волны (см. Е.3).

В таблице Е.1 представлены значения допустимой энергетической яркости как функции длины волны для длительности облучения 100 с, когда угловой размер α больше или равен 100 мрад. Из пределов фотохимического или теплового повреждения представлены наиболее ограничивающие. Пределы фотохимического повреждения сетчатки выделены курсивом.

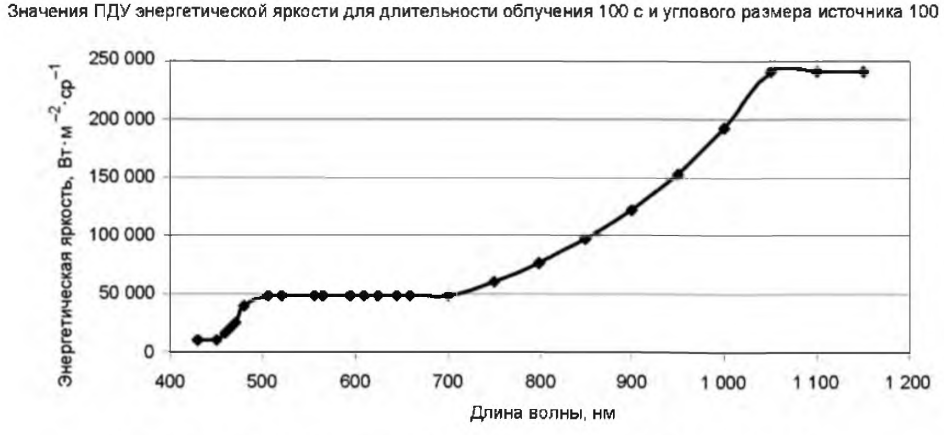


Рисунок Е.1 – Энергетическая яркость как функция длины волны

Таблица Е.1 – Максимальная энергетическая яркость диффузного источника для класса 1

Длина волны, нм	Энергетическая яркость, $Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$	Энергетическая яркость, $Вт \cdot см^{-2} \cdot ср^{-1}$
430	*10 000*	*1,00*
450	*10 000*	*1,00*
460	*15 848*	*1,58*
465	*19 952*	*2,00*
470	*25 119*	*2,51*
480	*39 811*	*3,98*
505	48 316	4,83
520	48 316	4,83
555	48 316	4,83
565	48 316	4,83
595	48 316	4,83
610	48 316	4,83
625	48 316	4,83
645	48 316	4,83
660	48 316	4,83
700	48 316	4,83
750	60 826	6,08
800	76 576	7,66
850	96 403	9,64
900	121 365	12,13
950	152 789	15,28
1 000	192 350	19,24
1 050	241 580	24,16
1 100	241 580	24,16
1 150	241 580	24,16
Числа, выделенные курсивом, относятся к пределам фотохимического повреждения сетчатки.		

Е.3 Логическое обоснование

Значения энергетической яркости рассчитаны на основе уровней ПДУ, установленных IEC/ICNIRP. Так как ПДУ обычно выражается в единицах энергетической экспозиции ($Дж \cdot м^{-2}$) или облученности ($Вт \cdot м^{-2}$), необходимо преобразовать значения ПДУ в значения энергетической яркости ($Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$). Затем значения энергетической яркости наносят на график как функцию длины волны.

Для представления ПДУ через облученность применяют следующий метод вычисления энергетической яркости. Энергетическая яркость определяется по формуле

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

где Φ – мощность излучения;

Ω – телесный угол;

A – площадь источника.

ПДУ часто выражают в единицах облученности, которая определяется как

$$E = \frac{d\Phi}{dA}. \quad (Е.2)$$

Подставляя формулу (Е.2) в (Е.1), получают формулу расчета энергетической яркости через облученность:

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

Необходимо найти телесный угол Ω и угол наблюдения по отношению к нормали к поверхности θ. Используя следующую формулу для Ω:

$$\Omega = \frac{\pi\alpha^2}{4} \tag{E.4}$$

и полагая наихудшее условие наблюдения, когда $\theta = 0°$ (наблюдатель смотрит прямо в пучок), преобразуют формулу (E.3):

$$L = \frac{4E}{\pi\alpha^2}. \tag{E.5}$$

Для ПДУ, представленного через энергетическую экспозицию, используют несколько другой метод. Энергетическая экспозиция выражается формулой

$$H = \frac{dQ}{dA}. \tag{E.6}$$

где Q – энергия излучения, Дж.

Деление на время дает:

$$\frac{H}{dt} = \frac{dQ}{dA \cdot dt}. \tag{E.7}$$

Так как мощность излучения определяется формулой

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}, \tag{E.8}$$

то формулу (E.8) можно подставить в формулу (E.7), при этом получают

$$\frac{H}{dt} = \frac{d\Phi}{dA}. \tag{E.9}$$

Возвращаясь к формуле (E.1), подставляют в нее (E.9) и получают

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

Подставляя в (E.10) формулу (E.4) и полагая в наихудшем случае $\theta = 0°$, получают

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

При вычислениях предполагался наихудший случай, когда угловой размер источника равен 100 мрад и длительность облучения составляет 100 с. Результаты приведены в таблице E.1 и на рисунке E.1.

Приложение F
(справочное)

Сводные таблицы

В таблице F.1 сведены физические величины, используемые в настоящем стандарте, а также единицы (и обозначения единиц), используемые для каждой из них. Определения основных единиц СИ взяты из ISO 1000. Наименования единиц и обозначения взяты из IEC 60027-1. В таблице F.2 сведены требования к изготовителям.

Таблица F.1 – Сводка физических величин, используемых в настоящем стандарте

Величина	Наименование единицы	Обозначение единицы	Определение
Длина	Метр	м	Метр – длина пути, пройденного светом в вакууме за интервал времени, равный 1/299 792 458 секунды
	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	Килограмм – единица массы, 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, при которой за одну секунду происходит один цикл процесса
Плоский угол	Радиан	рад	Плоский 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, образующий на поверхности сферы площадку с площадью, равной площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы
Сила	Ньютон	Н	1 $м \cdot кг \cdot с^{-2}$
Энергия	Джоуль	Дж	1 Н·м
Энергетическая экспозиция	Джоуль на квадратный метр	$Дж \cdot м^{-2}$	1 $Дж \cdot м^{-2}$
Интегральная энергетическая яркость	Джоуль на квадратный метр на стерадиан	$Дж \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$	1 $Дж \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$
Мощность	Ватт	Вт	1 $Дж \cdot с^{-1}$
	Милливатт	мВт	10^{-3} Вт
Облученность	Ватт на квадратный метр	$Вт \cdot м^{-2}$	1 $Вт \cdot м^{-2}$
Энергетическая яркость	Ватт на квадратный метр на стерадиан	$Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$	1 $Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$
Примечание – Для удобства в таблицу включены в отдельных местах дольные единицы.			

Таблица F.2 – Сводка требований к изготовителям

Элемент стандарта	Классификация						
	Класс 1	Класс 1М	Класс 2	Класс 2М	Класс 3R	Класс 3В	Класс 4
Описание класса опасности (приложение С)	Изделия безопасны при всех разумно предвидимых обстоятельствах	Как для класса 1, за исключением того, что изделия могут быть опасными при использовании оптических устройств	Низкая мощность; защита глаз обычно обеспечивается реакцией зажмуривания	Как для класса 2, за исключением того, что изделия могут быть более опасными при использовании оптических устройств	Прямое наблюдение излучения в пучке может быть опасным	Прямое наблюдение излучения в пучке обычно опасно	Высокая мощность; диффузное отражение может быть опасным
Защитный кожух (4.2)		Требуется для каждого лазерного изделия; ограничивает доступ, необходимый для выполнения функций изделий					
Блокировка безопасности в защитном кожухе (4.3)	За счет конструкции должна быть обеспечена невозможность удаления панели доступа, если интенсивность доступного излучения не будет ниже, чем предусмотрено для изделия класса 3R				За счет конструкции должна быть обеспечена невозможность удаления панели доступа, если интенсивность доступного излучения не будет ниже, чем предусмотрено для изделий класса 3В или некоторых изделий класса 3R		
Дистанционная блокировка (4.4)	Не требуется					Допускается легко осуществимое добавление внешней блокировки в лазерную установку	
Ручной перезапуск (4.5)	Не требуется						Требуется наличие устройства ручного перезапуска, применяемого, когда излучение прерывается или срабатывает дистанционная блокировка
Ключ управления (4.6)	Не требуется					Лазер не может функционировать, когда ключ вынут	
Устройство, предупреждающее о лазерном излучении (4.7)	Не требуется				Устройство дает звуковое или зрительное предупреждение, когда лазер включен или когда конденсатор импульсного лазера заряжен. Для лазера класса 3R применяется только тогда, когда излучение невидимо		
Ослабитель (4.8)	Не требуется					Дает возможность на время заблокировать излучение	
Панель управления (4.9)	Не требуется				Панель управления располагают так, чтобы не было опасности подвергнуться облучению с ПИДИ выше, чем для классов 1 или 2 при выполнении юстировки		

Окончание таблицы F.2

Элемент стандарта	Классификация						
	Класс 1	Класс 1М	Класс 2	Класс 2М	Класс 3R	Класс 3В	Класс 4
Оптические элементы наблюдения (4.10)	Не требуются		Интенсивность излучения при использовании всех систем наблюдения должна быть ниже ПИДИ для класса 1М				
Сканирование (4.11)	Неисправности при сканировании не должны приводить к тому, что изделие будет превышать свой класс						
Этикетка с указанием класса (5.1 – 5.6)	Требуемый текст		Рисунки 1 и 2 и требуемый текст				
Апертурная этикетка (5.7)	Не требуется				Требуемый установленный текст		
Этикетки на панелях (5.9.1)	Не требуется	Требуется в соответствии с классом доступного излучения					
Этикетки для панелей блокировок, обеспечивающих безопасность (5.9.2)	Требуется при определенных условиях в соответствии с классом используемого лазера						
Этикетки о диапазоне длин волн (5.10 и 5.11)	Требуется для определенных диапазонов длин волн						
Информация для пользователя (6.1)	Руководства по работе с изделием должны содержать инструкции по безопасной работе. Дополнительные требования применимы для изделий классов 1М и 2М						
Информация для покупателей и сервисного обслуживания (6.2)	В рекламных брошюрах должен быть указан установленный класс изделия; руководства по сервисному обслуживанию должны содержать информацию по обеспечению безопасности						
Медицинские изделия (7.2)	Не требуется					Для обеспечения безопасности медицинских изделий применяют IEC 60601-2-22	
Примечание – В данной таблице представлено удобное краткое изложение требований. Для ознакомления с полными требованиями следует обращаться к основному тексту стандарта.							

Приложение G
(справочное)

Обзор взаимосвязанных частей IEC 60825

Взаимосвязанные части IEC 60825 предназначены для применения совместно с основным стандартом (IEC 60825-1). Каждая часть имеет определенную область применения и содержит дополнительные обязательные требования и информацию, необходимую изготовителю или пользователю, чтобы корректно классифицировать и использовать изделие безопасным образом, принимая во внимание специфические условия эксплуатации и компетенцию/квалификацию оператора/пользователя. Представленная информация может включать логическое обоснование, примеры, пояснения, методы, маркировку и дополнительные ограничения и требования (см. таблицу G.1).

Таблица G.1 – Обзор дополнительных сведений, содержащихся в взаимосвязанных частях IEC 60825

Номер части	Тип	Описание	Конструктор изделия	Поставщик изделия	Пользователь изделия	Поставщик узлов, к которым предъявляются основные требования по безопасности	Методы испытаний	Оценивание опасности	Связанные стандарты
1	Стандарт	Классификация оборудования и требования	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
2	Стандарт	Безопасность систем оптоволоконной связи (предоставляет указания по применению и примеры)	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
3	Технический отчет	Руководство по проведению лазерных зрелищных мероприятий	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да	
4	Стандарт	Лазерные ограждения (также касается способности высокомощных лазеров разрушать защитные материалы)	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
5	Технический отчет	Перечень контрольных вопросов для изготовителя, касающихся IEC 60825-1 (подходит для использования в отчете о безопасности)	Да	Да	Нет	Да	Нет	Нет	
6	Технические условия (отменены)								
7	Технические условия (отменены)								
8	Технический отчет	Руководящие указания по безопасному использованию лазеров в медицине	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	IEC 60601-2-22

Окончание таблицы G.1

Номер части	Тип	Описание	Конструктор изделия	Поставщик изделия	Пользователь изделия	Поставщик узлов, к которым предъявляются основные требования по безопасности	Методы испытаний	Оценивание опасности	Связанные стандарты
9	Технический отчет	Компиляция данных по предельно допустимым уровням облучения некогерентным оптическим излучением (широкополосные источники)	Нет	Нет	Да	Нет	Да	Да	
10	Технический отчет	Руководящие указания по безопасному применению лазеров и поясняющие примечания	Да	Да	Нет	Нет	Да	Нет	ISO 13694
12	Стандарт	Безопасность беспроводных 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 – В таблице приведена информация о содержании; для ознакомления с полными требованиями следует обращаться к тексту конкретного стандарта. Некоторые части, указанные выше, находятся в стадии разработки и могут быть не опубликованы официально.									

Библиография

IEC 60027-1:1992	Letter symbols to be used in electrical technology – Part 1: General (Обозначения буквенные, применяемые в электротехнике. Часть 1. Общие положения)
IEC 60065:2005	Audio, video and similar apparatus – Safety requirements (Аудио-, видео- и аналогичная электронная аппаратура. Требования безопасности)
IEC 60079 (все части)	Electrical apparatus for explosive gas atmospheres (Оборудование электрическое для взрывоопасных газовых сред)
IEC 60079-0:2004	Electrical apparatus for explosive gas atmospheres – Part 0: General requirements (Оборудование электрическое для взрывоопасных газовых сред. Часть 0. Общие требования)
IEC 60204-1:2009	Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements (Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Часть 1. Общие требования)
IEC 60825-2:2007	Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fiber communication systems (OFCS) (Безопасность лазерных изделий. Часть 2. Безопасность оптоволоконных систем связи [ОВСС])
IEC/TR 60825-3:2008	Safety of laser products – Part 3: Guidance for laser displays and shows (Безопасность лазерных изделий. Часть 3. Руководство по применению лазеров для зрелищных мероприятий)
IEC 60825-4:2009	Safety of laser products – Part 4: Laser guards (Безопасность лазерных изделий. Часть 4. Лазерные ограждения)
IEC/TR 60825-5:2005	Safety of laser products – Part 5: Manufacturer's checklist for IEC 60825-1 (Безопасность лазерных изделий. Часть 5. Контрольный лист изготовителя по IEC 60825-1)
IEC/TR 60825-8:2006	Safety of laser products – Part 8: Guidelines for the safe use of laser beams on humans (Безопасность лазерных изделий. Часть 8. Руководство по безопасному использованию воздействия лазерного излучения на людей)
IEC/TR 60825-9:1999	Safety of laser products – Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation (Безопасность лазерных изделий. Часть 9. Компиляция данных по предельно допустимым уровням облучения некогерентным оптическим излучением)
IEC/TR 60825-10:2002 *	Safety of laser products – Part 10: Application guidelines and explanatory notes to IEC 60825-1 (Безопасность лазерных изделий. Часть 10. Руководство по применению и пояснительные примечания к IEC 60825-1)
IEC 60825-12:2005	Safety of laser products – Part 12: Safety of free space optical communication systems used for transmission of information (Безопасность лазерных изделий. Часть 12. Безопасность беспроводных оптических систем связи, используемых для передачи информации)

* Действует только для применения настоящего стандарта.

IEC/TR 60825-13:2006	Safety of laser products – Part 13: Measurements for classification of laser products (Безопасность лазерных изделий. Часть 13. Измерения для проведения классификации лазерных изделий)
IEC/TR 60825-14:2004	Safety of laser products – Part 14: A user's guide (Безопасность лазерных изделий. Часть 14. Руководство пользователя)
IEC 60950 (все части)	Information technology equipment – Safety (Оборудование информационных технологий. Безопасность)
IEC 61040:1990	Power and energy measuring detectors, instruments and equipment for laser radiation (Детекторы, измерительные приборы и оборудование для измерения мощности и энергии лазерного излучения)
IEC 61508 (все части)	Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems (Функциональная безопасность электрически/электронно-программируемых электронных систем безопасности)
IEC 62115:2004	Electric toys – Safety (Игрушки электрические. Безопасность)
IEC 62471:2006 (CIE S009:2002)	Photobiological safety of lamps and lamp systems (Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем)
ISO 11146-1:2005	Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios – Part 1: Stigmatic and simple astigmatic beams (Лазеры и относящееся к лазерам оборудование. Методы испытаний для определения ширин, углов расходимости и параметров качества пучка. Часть 1. Стигматические пучки и пучки с простым астигматизмом)
IEC/ISO 11553-1:2005	Safety of machinery – Laser processing machines – Part 1: General safety requirements (Безопасность машин. Лазерные обрабатывающие машины. Часть 1. Общие требования безопасности)
ISO 12100:2010 *	Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction (Безопасность машин. Общие принципы конструирования. Оценка риска и снижение риска)
ISO 13694:2000	Optics and optical instruments – Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser beam power (energy) density distribution (Оптика и оптические приборы. Лазеры и относящееся к лазерам оборудование. Методы испытаний для определения распределения плотности мощности (энергии) лазерного излучения)
ISO 18000-1:2009 **	Quantities and units – Part 1: General (Величины и единицы. Часть 1. Общие положения)

* Действует взамен ISO 12100-1:2003 и ISO 12100-2:2003.
** Действует взамен ISO 1000:1992.

Ответственный за выпуск *В. Л. Гуревич*

Сдано в набор 17.02.2011. Подписано в печать 29.03.2011. Формат бумаги 60×84/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Arial. Печать ризографическая. Усл. печ. л. 9,64 Уч.-изд. л. 6,02 Тираж 25 экз. Заказ 571

Издатель и полиграфическое исполнение:
Научно-производственное республиканское унитарное предприятие
«Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации» (БелГИСС).
ЛИ № 02330/0552843 от 08.04.2009.
ул. Мележа, 3, комн. 406, 220113, Минск.

gost.e-ecolog.ru