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

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC 60825-2— 2025

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛАЗЕРНОЙ АППАРАТУРЫ

Часть 2

Безопасность волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)

(IEC 60825-2:2021, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

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

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «ВПГ Лазеруан» (ООО «ВПГ Лазеруан») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 29 августа 2025 г. № 188-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узбекское агентство по техническому регулированию

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 августа 2025 г. № 964-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 60825-2—2025 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 сентября 2026 г. с правом досрочного применения

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 60825—2:2021 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 2. Безопасность волоконно-оптических систем связи (ВОСС)» («Safety of laser products — Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCSs)», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом ТС 76 «Безопасность оптического излучения и лазерное оборудование» Международной электротехнической комиссии (IEC).

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

6 ВЗАМЕН ГОСТ IEC 60825-2—2013

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

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

© IEC, 2021
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025



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

Содержание

1 Область применения и назначения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Требования 4
4.1 Общие положения 4
4.2 Защитный кожух 5
4.3 Волоконно-оптические кабели 5
4.4 Кабельные коннекторы 5
4.5 Маркировка 6
4.6 Организационные требования 9
4.7 Оценка уровня опасности 10
4.8 Автоматическое понижение мощности (АПМ) 14
4.9 Требования к уровню опасности в зависимости от типа зоны размещения 16
Приложение А (справочное) Обоснование 18
Приложение В (справочное) Разъяснение значения термина «уровень опасности» 19
Приложение С (справочное) Методы анализа опасности/безопасности 21
Приложение D (рекомендуемое) Рекомендации по безопасному использованию ВОЛС 22
Приложение Е (справочное) Руководство по техническому обслуживанию 39
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочного международного стандарта ссылочному межгосударственному стандарту 41
Библиография 42

Введение

Международный стандарт IEC 60825-2 был подготовлен Техническим комитетом 76 «Безопасность оптического излучения и лазерное оборудование».

Четвертое издание аннулирует и заменяет издание стандарта, опубликованного в 2004 году, Поправка 1:2006 и Поправка 2:2010. Четвертое издание представляет собой технический пересмотр.

Это издание включает в себя следующие существенные технические изменения по сравнению с предыдущим изданием.

a) Были уточнены рекомендации по отдельным компонентам и узлам сборки; см. пункт 1 раздела 3.

b) C_7 был пересмотрен в соответствии с IEC 60825-1:2014, но с дополнительным ограничением, связанным с предельно допустимым уровнем (ПДУ) для кожи; см. 4.7.2.

c) Изменено условие 2 и добавлено подробное описание метода измерения и определения уровня опасности; см. 4.7.1 и 4.7.2.

d) Приложение B перенесено в раздел 4.9. Приложение F перенесено в качестве приложения B.

e) Пункт D.4 Примеры оценки уровня опасности — добавлены дополнительные примеры.

f) Пункт D.5 Анализ неисправностей — объяснение и рекомендации были упрощены.

Целями стандарта являются:

- защита людей от оптического излучения, испускаемого ВОЛС;
- изложение требований к изготовителям, монтажным организациям, обслуживающим организациям и эксплуатирующим организациям с целью установления процедур и предоставления информации, позволяющей принимать надлежащие меры безопасности;
- обеспечение предоставления надлежащих предупреждений отдельным лицам относительно потенциальных опасностей, связанных с ВОЛС, с помощью знаков, маркировки и инструкций.

В приложении A приведено более подробное обоснование этого стандарта.

Безопасность ВОЛС в значительной степени зависит от характеристик оборудования, установленного в этой системе связи. В зависимости от характеристик оборудования соответствующая информация по технике безопасности должна быть нанесена на изделие или включена в руководство по эксплуатации.

Там, где этого требует уровень потенциальной опасности, монтажная организация или конечный пользователь/эксплуатирующая организация или и та, и другая несут ответственность за безопасное развертывание и использование ВОЛС.

Монтажная организация и обслуживающая организация несут ответственность за соблюдение инструкций по технике безопасности при монтаже и техническом обслуживании, соответственно. Конечный пользователь или эксплуатирующая организация несут ответственность за соблюдение инструкций по технике безопасности при эксплуатации и текущем обслуживании.

Пользователь стандарта может относиться к одной или нескольким из вышеупомянутых категорий, т. е. изготовитель, монтажная организация, конечный пользователь или эксплуатирующая организация.

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛАЗЕРНОЙ АППАРАТУРЫ

Часть 2

Безопасность волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)

Safety of laser products.
Part 2. Safety of optical fibre communication systems (OFCSs)

Дата введения — 2026—09—01
с правом досрочного применения

1 Область применения и назначения

Настоящий стандарт содержит требования и конкретные рекомендации по безопасной эксплуатации и техническому обслуживанию волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). В этих системах оптическая мощность может быть доступна за пределами передающего оборудования и/или на большом расстоянии от источника оптического излучения.

Настоящий стандарт требует оценки уровня опасности в каждой доступной зоне ВОЛС в качестве замены классификации продукции в соответствии с IEC 60825-1. Настоящий стандарт применим к установленным ВОЛС как собранной комплексной системе для генерации, передачи и приема оптического излучения, исходящего от лазеров, светодиодов (СИД) или оптических усилителей, в которых передача осуществляется посредством оптического волокна для целей связи и/или управления.

Примечание — В настоящем стандарте термин «лазер» используется для обозначения в том числе светодиодов и оптических усилителей.

Отдельные компоненты и узлы, которые подпадают под определение лазерного изделия, относятся к области применения подразделов IEC 60825-1. Настоящий стандарт применим к отдельным компонентам и узлам, предназначенным для установки в ВОЛС.

Настоящий стандарт не распространяется на лазерные изделия, предназначенные для передачи оптической мощности в таких целях, как обработка материалов или медицинские применения.

В дополнение к опасностям, связанным с лазерным излучением, ВОЛС могут создавать другие опасности, такие как воспламенение.

В настоящем стандарте не рассматриваются вопросы, связанные со взрыво- или пожаробезопасностью в отношении ВОЛС, используемых во взрывоопасных средах.

Примечание — Опасность, которую представляет оптическое излучение, исходящее от волокна, зависит от длины волны и мощности, а также оптических характеристик самого волокна (см. приложение А).

2 Нормативные ссылки

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

IEC 60825-1:2014, Safety of laser products — Part 1: Equipment classification and requirements (Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования и требования)

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по IEC 60825-1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **доступная зона** (accessible location): Часть зоны в пределах ВОЛС, в которой, при обоснованно прогнозируемых событиях без использования инструмента, возможен доступ человека к лазерному излучению.

3.2 **автоматическое понижение мощности;** АПМ (automatic power reduction; APR): Свойство передающего устройства ВОЛС, позволяющее уменьшать доступную мощность до определенного уровня за определенное время всякий раз при возникновении случая, который может привести к воздействию лазерного излучения на человека.

Примечание 1 — Термин «автоматическое понижение мощности» (далее — АПМ), используемый в настоящем стандарте, охватывает следующие термины, используемые в рекомендации ITU-T G.664 [1]:

- автоматическое отключение лазера (automatic laser shutdown; ALS);
- автоматическое понижение мощности (automatic power reduction; APR);
- автоматическое отключение питания (automatic power shutdown; APSD).

Примечание 2 — Также некоторыми изготовителями может использоваться термин «автоматическое отключение лазера» (automatic laser shut off; ALSO).

Примечание 3 — Пример случая, который может привести к воздействию излучения на человека — обрыв оптоволоконного кабеля.

3.3 **конечный пользователь** (end-user): Лицо или организация, использующие ВОЛС по назначению.

Примечание 1 — Конечный пользователь не обязательно может непосредственно контролировать мощность, генерируемую и передаваемую внутри линии связи.

Примечание 2 — Если лицо или организация использует ВОЛС способом, отличным от рекомендованного изготовителем, то это лицо/организация несет ответственность, в соответствии с настоящим стандартом, как изготовитель или монтажная организация.

3.4 **уровень опасности** (hazard level): Уровень потенциальной опасности в любой доступной зоне в пределах ВОЛС.

Примечание — Основан на уровне лазерного излучения, которое может стать доступным в обоснованно прогнозируемом случае, например при обрыве оптоволоконного кабеля. Связан с классификацией лазерной опасности, определенной в 5.3 IEC 60825-1:2014. Значение уровня опасности разъяснено в приложении В.

3.5 **уровень опасности 1** (hazard level 1): Уровень опасности, при котором при обоснованно прогнозируемом событии доступ человека к лазерному излучению (интенсивность доступного излучения), оцениваемый по условиям измерения для уровня опасности 1, как определено в 4.7.2 а) и 4.7.3, не превысит допустимых пределов интенсивности доступного излучения (ПИДИ) для класса 1 по IEC 60825-1 для применимой длины волны и длительности излучения с дополнительными ограничениями, определенными в 4.7.2 а).

Примечание — «Дополнительные ограничения» означают дополнительные и более строгие ограничения, налагаемые 4.7.2 а) настоящего стандарта на значения, указанные в IEC 60825-1:2014 для ПИДИ класса 1 в диапазоне длин волн от 1200 нм до 1400 нм.

3.6 **уровень опасности 1М** (hazard level 1M): Уровень опасности, при котором при обоснованно прогнозируемом событии доступ человека к лазерному излучению (интенсивность доступного излучения), оцениваемый по условиям измерения для уровня опасности 1М, как определено в 4.7.2 а) и 4.7.3, не превысит пределов интенсивности доступного излучения (ПИДИ) для класса 1 в IEC 60825-1 для соответствующей длины волны и длительности излучения с дополнительными ограничениями, как определено в 4.7.2 а)

Примечание — «Дополнительные ограничения» означают дополнительные и более строгие ограничения, налагаемые 4.7.2 а) настоящего стандарта на значения, указанные в IEC 60825-1:2014 для ПИДИ класса 1 в диапазоне длин волн от 1200 нм до 1400 нм.

3.7 **уровень опасности 2** (hazard level 2): Уровень опасности, при котором при обоснованно прогнозируемом событии доступ человека к лазерному излучению (интенсивность доступного излучения),

оцениваемый по условиям измерения для уровня опасности 2, как определено в 4.7.2 b) и 4.7.3, не превысит пределов интенсивности доступного излучения (ПИДИ) для класса 2 в IEC 60825-1 для соответствующей длины волны и длительности излучения.

3.8 **уровень опасности 2M** (hazard level 2M): Уровень опасности, при котором при обоснованно прогнозируемом событии доступ человека к лазерному излучению (интенсивность доступного излучения), оцениваемый по условиям измерения для уровня опасности 2M, как определено в 4.7.2 b) и 4.7.3, не превысит пределов интенсивности доступного излучения (ПИДИ) для класса 2 в IEC 60825-1 для соответствующей длины волны и длительности излучения.

3.9 **уровень опасности 3R** (hazard level 3R): Уровень опасности, при котором при обоснованно прогнозируемом событии доступ человека к лазерному излучению (интенсивность доступного излучения), оцениваемый условиями измерения для уровня опасности 3R, как определено в 4.7.2 c) и 4.7.3, не превысит пределов интенсивности доступного излучения (ПИДИ) для класса 3R в IEC 60825-1 для применимой длины волны и длительности излучения с дополнительными ограничениями, определенными в 4.7.2 c).

Примечание — «Дополнительные ограничения» означают дополнительные и более строгие ограничения, налагаемые 4.7.2 c) настоящего стандарта на значения, указанные в IEC 60825-1:2014 для ПИДИ класса 3R в диапазоне длин волн от 1200 нм до 1400 нм.

3.10 **уровень опасности 3B** (hazard level 3B): Уровень опасности, при котором при обоснованно прогнозируемом событии доступ человека к лазерному излучению (интенсивность доступного излучения), оцениваемый условиями измерения для уровня опасности 3B, как определено в 4.7.2 d) и 4.7.3, не превысит пределов интенсивности доступного излучения (ПИДИ) для класса 3B в IEC 60825-1 для соответствующей длины волны и продолжительности излучения.

3.11 **уровень опасности 4** (hazard level 4): Уровень опасности, при котором при обоснованно прогнозируемом событии доступ человека к лазерному излучению (интенсивность доступного излучения), оцениваемый условиями измерения для уровня опасности 4, как определено в 4.7.2 e) и 4.7.3, превысит пределы интенсивности доступного излучения (ПИДИ) для класса 3B в IEC 60825-1 для применимой длины волны и продолжительности излучения.

Примечание — Настоящий стандарт применим к эксплуатации и техническому обслуживанию ВОЛС. Для обеспечения надлежащего уровня безопасности лиц, которые могут находиться на пути распространения оптического излучения, согласно настоящему стандарту не допускается уровень опасности 4. Разрешается использовать системы защиты, такие как автоматическое понижение мощности, для достижения требуемого уровня опасности, когда передаваемая мощность при нормальных условиях эксплуатации (таких как отсутствие неисправности в оптоволоконном тракте) превышает допустимую для определенного типа зоны размещения. Например, для доступных частей ВОЛС возможен класс опасности 1, даже если мощность, передаваемая по оптоволокну при нормальных условиях эксплуатации, относится к классу 4.

3.12 **монтажная организация** (installation organization): Организация или физическое лицо, ответственное за установку ВОЛС.

3.13 **контролируемая зона** (controlled location); **зона с контролируемым доступом** (location with controlled access): Доступная зона (помещение), в которой осуществляется технический или административный контроль, исключающий доступ посторонних лиц, кроме уполномоченного персонала, прошедшего обучение лазерной безопасности.

Примечание — Примеры см. в D.2.1 a).

3.14 **ограниченная зона** (restricted location); **зона с ограниченным доступом** (location with restricted access): Доступная зона (помещение), доступ в которую ограничен для посторонних лиц посредством мер административного или технического контроля, но доступная для персонала, в том числе не имеющего подготовки по лазерной безопасности.

Примечание — Примеры см. в D.2.1 b).

3.15 **неограниченная зона** (unrestricted location); **зона с неограниченным доступом** (location with unrestricted access): Доступная зона (помещение), где нет мер, ограничивающих доступ (для посторонних лиц).

Примечание — Примеры см. в D.2.1 c).

3.16 **изготовитель** (manufacturer): Организация или физическое лицо, которое конструирует или модифицирует ВОЛС путем монтирования или объединения оптических устройств и других компонентов.

Примечание — Типичные компоненты ВОЛС приведены в D.2.2.

3.17 **эксплуатирующая организация** (operating organization): Организация или частное лицо, ответственное за эксплуатацию ВОЛС.

3.18 **волоконно-оптическая линия связи;** ВОЛС (optical fibre communication system; OFCS): Собранная комплексная система для генерации, передачи и приема оптического излучения, исходящего от лазеров, светодиодов (СИД) или оптических усилителей, в которой передача информации осуществляется посредством оптического волокна для целей связи и/или управления.

3.19 **обоснованно прогнозируемое событие** (reasonably foreseeable event): Событие, возникновение которого при данных обстоятельствах может быть спрогнозировано довольно точно, и вероятность возникновения или частота возникновения не является низкой или очень низкой.

Примечание 1 — Примерами обоснованно прогнозируемых событий могут быть: обрыв оптоволоконного кабеля, отсоединение оптического коннектора, ошибка оператора или невнимание к безопасности при работе.

Примечание 2 — Любое преднамеренное действие, направленное на возникновение опасности, не рассматривается как обоснованно прогнозируемое событие.

3.20 **обслуживающая организация** (service organization): Организация или физическое лицо, ответственное за обслуживание ВОЛС.

3.21 **сборочный узел** (subassembly): Отдельный блок, подсистема, сетевой элемент или модуль ВОЛС, содержащий оптический излучатель или оптический усилитель.

4 Требования

4.1 Общие положения

Данный раздел определяет ограничения, которые должны быть установлены для ВОЛС, и типы зон размещения, в которых ВОЛС может работать, в соответствии с опасностью, возникающей из-за того, что оптическое излучение становится доступным в результате обоснованно прогнозируемого события, такого как отсоединение оптического коннектора или обрыв оптоволоконного кабеля и т. д. Всякий раз, когда в ВОЛС вносятся одно или несколько изменений, организация, ответственная за такие изменения, должна определить, может ли каждое изменение повлиять на первоначально присвоенный уровень опасности. Если первоначально присвоенный уровень опасности изменился, организация, ответственная за внесение изменений, при необходимости, должна повторно обозначить доступные зоны, чтобы обеспечить постоянное соответствие настоящему стандарту.

Каждая доступная зона в ВОЛС должна быть отдельно оценена для определения уровня опасности в этой зоне. Если в зоне имеется несколько линий связи, уровень опасности для данной зоны должен оцениваться следующими методами в зависимости от типов оптоволоконных кабелей:

a) Для обычного оптоволоконного кабеля со свободной трубкой без ленточных волоконных структур излучение должно оцениваться индивидуально по каждому из волокон в кабеле, и максимальное излучение от одного волокна должно использоваться в качестве основы для оценки уровня опасности.

b) Для ленточного оптоволоконного кабеля суммарное излучение от одного плоского ленточного волокна должно оцениваться как протяженный источник либо как точечный источник, в зависимости от обстоятельств.

Нет необходимости выполнять полную оценку для протяженных источников, если упрощенный анализ точечных источников для ленточных волокон приводит к уровню опасности, приемлемому для эксплуатирующей организации. Кроме того, для анализа протяженных источников необходимо знать излучение от каждого отдельного волокна в ленте. Если эта информация недоступна, применяется анализ точечных источников с использованием $C_6 = 1$.

Исходя из определенного уровня опасности, должны быть предприняты соответствующие действия для обеспечения соответствия настоящему стандарту. Эти действия могут, например включать ограничение доступа в зону, внедрение дополнительных функций безопасности или перепроектирование линии оптической связи для снижения уровня опасности.

Следует избегать визуального обследования торцов волокон с использованием увеличительной оптики в ситуациях, когда существует потенциальная возможность наличия оптического излучения в волокне.

Кабели для передачи электроэнергии, включающие в себя ВОЛС с оптоволоконными кабелями, определенными в серии стандартов IEC 60794-4 [3], должны соответствовать требованиям любого применимого электротехнического стандарта, помимо настоящего стандарта.

4.2 Защитный кожух

Каждый элемент ВОЛС должен иметь защитный кожух, который, когда он установлен, предотвращает доступ человека к лазерному излучению, превышающему предельно допустимые излучения для уровня опасности 1 при нормальных условиях эксплуатации.

4.3 Волоконно-оптические кабели

При всех уровнях опасности оптоволоконный кабель должен обладать механическими свойствами, соответствующими его физическому местоположению. Кабели для различных физических местоположений описаны в стандартах серий IEC 60794-2 [4], IEC 60794-3 [5] и IEC 60794-4 [3]. Там, где это необходимо, может потребоваться дополнительная защита, например короба, кабель-каналы или трасса для внутренней прокладки кабелей, для мест, где волокно в противном случае было бы уязвимо к повреждениям. Даже если потенциальная опасность в любой доступной зоне в пределах ВОЛС соответствует самому низкому уровню опасности, механические свойства должны приниматься во внимание, поскольку мощность излучения в оптоволоконном кабеле может превышать ПДУ.

4.4 Кабельные коннекторы

4.4.1 Общие положения

Следующие требования к кабельным коннекторам могут быть выполнены за счет механической конструкции коннекторов или за счет расположения коннектора, или любым другим подходящим способом. Какой бы способ ни был выбран, должен быть предотвращен доступ человека к излучению, превышающему допустимый уровень для коннекторов в зонах размещения соответствующего типа.

Для коннекторов требуется более строгий уровень опасности, чем для оптоволоконных кабелей. Например, в неограниченной зоне допустимый уровень излучения не должен превышать уровень опасности 1М для кабелей, в то время как интенсивность доступного излучения от оптического коннектора ограничена уровнем опасности 1.

Примечание — Использование инструмента для отсоединения является одним из примеров решения за счет механической конструкции.

4.4.2 Неограниченная зона

В неограниченных зонах,

- если доступный уровень излучения превышает уровень опасности 2 в диапазоне длин волн от 400 нм до 700 нм, то подходящие средства должны ограничивать доступ к излучению, превышающему уровень опасности 2, от коннектора,
- если доступный уровень излучения превышает уровень опасности 1 во всех остальных случаях, то подходящие средства должны ограничивать доступ к излучению, превышающему уровень опасности 1, от коннектора.

Примечание — В неограниченной зоне наивысшим уровнем опасности является уровень опасности 2М для диапазона длин волн 400 нм до 700 нм и уровень опасности 1М во всех остальных случаях (см. 4.9.2)

4.4.3 Зона с ограниченным доступом

В зонах с ограниченным доступом,

- если доступный уровень излучения превышает уровень опасности 2М в диапазоне длин волн от 400 нм до 700 нм, то подходящие средства должны ограничивать доступ к излучению, превышающему уровень опасности 2М от коннектора,
- если доступный уровень излучения превышает уровень опасности 1М во всех остальных случаях, то подходящие средства должны ограничивать доступ к излучению, превышающему уровень опасности 1М от коннектора.

Примечание — В зонах с ограниченным доступом наивысшим уровнем опасности является уровень опасности 1М, 2М или 3R, в зависимости от того, какой из них выше (см. 4.9.3).

4.4.4 Контролируемая зона

В контролируемых зонах,

- если доступный уровень излучения превышает уровень опасности 2М в диапазоне длин волн от 400 нм до 700 нм, то подходящие средства должны ограничивать доступ к излучению, превышающему уровень опасности 2М от коннектора,
- если доступный уровень излучения превышает уровень опасности 1М во всех остальных случаях, то подходящие средства должны ограничивать доступ к излучению, превышающему уровень опасности 1М от коннектора.

Примечание — В контролируемой зоне наивысшим уровнем опасности является уровень опасности 3В (см. 4.9.4).

4.5 Маркировка

4.5.1 Общие требования

В соответствии с требованиями этого подраздела каждый оптический коннектор, оптическая муфта или другая деталь, испускающие излучение при открытии, должны быть маркированы (например, на этикетке, гильзе, бирке, липкой ленте и т. д.), если уровень опасности в данной зоне превышает уровень опасности 1. Информация должна состоять из сведений, указанных в таблице 1, таблице 2 или таблице 3, в зависимости от применимости.

Если интенсивность доступного излучения в точках разъединения соответствует уровню опасности 1 или уровню опасности 1М, допускается предоставление вышеуказанной информации в эксплуатационной документации (разделе информация для пользователя), а не путем маркировки на изделии.

Маркировка уровня опасности 1М разрешена, но не обязательна, поскольку только в зонах с ограниченным доступом или контролируемых зонах разрешается использовать коннекторы, которым присвоен уровень опасности 1М, и только соответствующим образом обученному техническому персоналу разрешается работать в таких зонах.

Маркировка должна быть выполнена черным цветом на желтом фоне. Надписи, воспроизведенные в документации, предоставленной изготовителем или эксплуатирующей организацией, могут быть черными на белом фоне.

Допускается уменьшение размера маркировки при условии, что она будет разборчивой.

Ответственность за маркировку всех уровней опасности несет монтажная организация или конечный пользователь/эксплуатирующая организация, включая маркировку сборочных узлов, содержащих лазеры или оптические усилители. Уровень опасности является характеристикой ВОЛС в целом и следовательно может зависеть от общесистемных функций, таких как АПМ и т. д.

За исключением сборочных узлов, используемых для автономного применения, каждый оптический коннектор, оптическая муфта или другая деталь, предназначенная для обеспечения доступа к оптическому излучению при открытии, должны быть маркированы (например, на этикетке, гильзе, бирке, липкой ленте и т. д.) в соответствии с таблицей 1, таблицей 2 или таблицей 3, в зависимости от применимости.

Сборочным узлам, используемым для автономного применения, должен быть присвоен класс опасности и маркировка в соответствии с IEC 60825-1.

Сборочным узлам, устанавливаемым как часть ВОЛС, должен быть присвоен уровень опасности и нанесена маркировка в соответствии с настоящим стандартом.

Таблица 1 — Маркировка в неограниченных зонах

Доступный уровень опасности	Требуемая маркировка — Неограниченная зона
1	Маркировка не требуется
1М	Маркировка не требуется[a]
2	 b **ВНИМАНИЕ** ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ УРОВЕНЬ ОПАСНОСТИ 2 НЕ СМОТРЕТЬ В ПУЧОК c, d, e

Окончание таблицы 1

Доступный уровень опасности	Требуемая маркировка — Неограниченная зона
2M	 b **ВНИМАНИЕ** ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ УРОВЕНЬ ОПАСНОСТИ 2M НЕ СМОТРЕТЬ В ПУЧОК И НЕ ПОДВЕРГАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ c, d, e
3R	Не допускается
3B	Не допускается
Примечание — См. 4.5.5, касающийся опасностей, связанных с невидимым лазерным лучом.	
[a] Пункт 4.4.2 требует, чтобы доступ к излучению от коннектора был ограничен до уровня опасности 1 подходящими средствами и механическая конструкция оптоволоконных кабелей соответствовала соответствующим разделам IEC 60794 [3], [4], [5] (см. 4.3). Следовательно, требования не распространяются на маркировку уровня опасности 1M. [b] Предупреждающая маркировка со знаком опасности в соответствии с рисунком 3 IEC 60825-1:2014. [c] Если источником излучения является светодиод, приведенное выше слово «ЛАЗЕР» следует заменить на «СВЕТОДИОД (СИД)». [d] Замена слова «ИЗЛУЧЕНИЕ» на «СВЕТ» для излучения в диапазоне от 400 нм до 700 нм не обязательна. [e] Поясняющая маркировка (табличка) в соответствии с рисунком 4 IEC 60825-1:2014. Допускается, чтобы эта табличка также включала знак опасности в соответствии с рисунком 3 IEC 60825-1:2014.	

Таблица 2 — Маркировка в зонах с ограниченным доступом

Доступный уровень опасности	Требуемая маркировка — Зона с ограниченным доступом
1	Маркировка не требуется
1M	Маркировка требуется только в тех случаях, когда не соблюдаются требования к кабельным коннекторам в неограниченных зонах (см. 4.4.2):[e]
	 a **ВНИМАНИЕ** ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ УРОВЕНЬ ОПАСНОСТИ 1M НЕ СМОТРЕТЬ В ПУЧОК И НЕ ПОДВЕРГАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ b, c, d
2	 a **ВНИМАНИЕ** ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ УРОВЕНЬ ОПАСНОСТИ 2 НЕ СМОТРЕТЬ В ПУЧОК b, c, d
2M	 a **ВНИМАНИЕ** ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ УРОВЕНЬ ОПАСНОСТИ 2M НЕ СМОТРЕТЬ В ПУЧОК И НЕ ПОДВЕРГАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ b, c, d
3R	 a **ВНИМАНИЕ** ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ УРОВЕНЬ ОПАСНОСТИ 3R ИЗБЕГАТЬ ПРЯМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГЛАЗА b, c, d
3B	Не допускается

Окончание таблицы 2

Примечание — См. 4.5.5, касающийся опасностей, связанных с невидимым лазерным лучом.
[a] Предупреждающая маркировка со знаком опасности в соответствии с рисунком 3 IEC 60825-1:2014. [b] Если источником излучения является светодиод, слово «ЛАЗЕР», указанное выше, должно быть заменено на «СВЕТОДИОД (СИД)». [c] Если излучение находится в диапазоне от 400 до 700 нм, необязательно заменять слово «ИЗЛУЧЕНИЕ» на «СВЕТ». [d] Поясняющая маркировка (табличка) в соответствии с рисунком 4 IEC 60825-1:2014. Допускается, чтобы эта табличка также включала знак опасности в соответствии с рисунком 3 IEC 60825-1:2014. [e] Если интенсивность доступного излучения в точках разъединения соответствует уровню опасности 1 или 1M, допускается указать это в эксплуатационной документации вместо маркировки, например на изделии, оптоволокне или коннекторе.

Таблица 3 — Маркировка в контролируемых зонах

Доступный уровень опасности	Требуемая маркировка — Контролируемая зона
1	Маркировка не требуется
1M	Маркировка не требуется
2	 a **ВНИМАНИЕ** ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ УРОВЕНЬ ОПАСНОСТИ 2 НЕ СМОТРЕТЬ В ПУЧОК b, c, d
2M	 a **ВНИМАНИЕ** ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ УРОВЕНЬ ОПАСНОСТИ 2M НЕ СМОТРЕТЬ В ПУЧОК И НЕ ПОДВЕРГАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ b, c, d
3R	 a **ВНИМАНИЕ** ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ УРОВЕНЬ ОПАСНОСТИ 3R ИЗБЕГАТЬ ПРЯМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГЛАЗА b, c, d
3B	 a **ВНИМАНИЕ** ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ УРОВЕНЬ ОПАСНОСТИ 3B ИЗБЕГАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПУЧКА b, c, d
Примечание — См. 4.5.5, касающийся опасностей, связанных с невидимым лазерным лучом.	
[a] Предупреждающая маркировка со знаком опасности в соответствии с рисунком 3 IEC 60825-1:2014. [b] Если источником излучения является светодиод, слово «ЛАЗЕР», указанное выше, должно быть заменено на «СВЕТОДИОД (СИД)». [c] Если излучение находится в диапазоне от 400 до 700 нм, не обязательно заменять слово «ИЗЛУЧЕНИЕ» на «СВЕТ». [d] Поясняющая маркировка (табличка) в соответствии с рисунком 4 IEC 60825-1:2014. Допускается, чтобы эта табличка также включала знак опасности в соответствии с рисунком 3 IEC 60825-1:2014. [e] Рекомендуется, но не обязательно, идентифицировать коннекторы, имеющие оптический выход, с помощью предупреждающей маркировки в соответствии с рисунком 3 IEC 60825-1:2014.	

4.5.2 Маркировка коннекторов оптических передатчиков и оптических усилителей

Для коннекторов оптических передатчиков и оптических усилителей, в каждом из которых оптический порт (оптический коннектор) может быть подключен к оптическому волокну, требования 4.5.1 изменяются, как указано ниже. То же самое относится к группе оптических портов (оптических коннекторов), см. 4.5.3.

Если 4.5.1 требует наличие маркировки, то к информации, уже требуемой таблицей 1, таблицей 2 или таблицей 3, должен быть добавлен диапазон длин волн. Предпочтительными значениями диапазонов длин волн являются:

- от 400 нм до 700 нм;
- от 700 нм до 1150 нм;
- от 1200 нм до 1250 нм;
- от 1400 нм до 1600 нм.

В диапазоне от 1150 нм до 1200 нм и от 1250 нм до 1400 нм должна быть указана точная длина волны.

Примечание 1 — В диапазонах от 1150 нм до 1200 нм и от 1250 нм до 1400 нм значение C_7 (и, следовательно, значение соответствующего ПИДИ значительно увеличивается с длиной волны (см. IEC 60825-1:2014).

Примечание 2 — Приведенные выше диапазоны длин волн являются примерами: фактический рабочий диапазон длин волн должен быть указан в маркировке, например от 1300 нм до 1600 нм.

Входные порты, например усилителей на основе эффекта вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) также должны быть соответствующим образом маркированы, чтобы подтвердить предупреждение о том, что из таких портов могут исходить опасные уровни оптического излучения.

4.5.3 Маркировка для групп коннекторов

Группы коннекторов, такие как коммутационные панели, могут быть маркированы как группа только с одной четко видимой маркировкой уровня опасности, вместо того чтобы маркировать каждый коннектор по отдельности. Если группа коннекторов заключена в корпус и существует прогнозируемое событие, при котором доступ к коннекторам в этом корпусе может привести к воздействию оптического излучения выше уровня опасности 1M, то маркировка должна быть четко видна как до, так и после вскрытия корпуса. Это может потребовать использования более чем одной маркировки.

4.5.4 Долговечность — требования к нестираемости маркировки безопасности

Любая маркировка, требуемая настоящим стандартом, должна быть прочной и разборчивой. При рассмотрении долговечности маркировки следует принимать во внимание влияние нормальных условий эксплуатации.

Примечание — Требования и испытание на долговечность содержатся в 1.7.11 IEC 60950-1:2005 [6] и IEC 62368-1 [7].

4.5.5 Предупреждение о невидимом излучении

Если выходное излучение лазера находится за пределами диапазона длин волн от 400 нм до 700 нм, то формулировка «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ» на поясняющей маркировке в таблице 1, таблице 2 или таблице 3 должна быть заменена на: «НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ», или, если выходной сигнал имеет длины волн как внутри, так и за пределами этого диапазона длин волн, то следует указать «ВИДИМОЕ И НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ». Если изделие классифицируется на основе уровня видимого лазерного излучения, а также испускает излучение, превышающее ПИДИ класса 1 на невидимых длинах волн, на поясняющей маркировке должны быть указаны слова «ВИДИМОЕ И НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ» вместо «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ».

4.6 Организационные требования

4.6.1 Изготовители готовых к использованию ВОЛС или систем «под ключ»

Изготовители готовых к использованию ВОЛС или систем «под ключ» должны:

a) убедиться, что оборудование удовлетворяет применимым требованиям настоящего стандарта;

b) предоставить следующую информацию:

1) адекватное описание конструктивных особенностей, реализованных в изделии, для предотвращения воздействия излучения, превышающего допустимые значения ПДУ;

2) адекватные инструкции по правильной сборке, техническому обслуживанию и безопасному использованию, включая четкие предупреждения о мерах безопасности во избежание возможного воздействия облучения, превышающего допустимые значения ПДУ;

3) адекватные инструкции для монтажных и обслуживающих организаций, гарантирующие, что изделие будет устанавливаться и обслуживаться таким образом, чтобы излучение, доступное при обоснованно прогнозируемых событиях, соответствовало требованиям раздела 4;

4) уровни опасности в доступных зонах внутри ВОЛС и параметры, на которых основаны эти уровни опасности;

5) для ВОЛС с АПМ:

- время реакции и рабочие параметры АПМ;
- в тех случаях, когда установка или обслуживание требуют отключения АПМ, должна быть включена информация, позволяющая эксплуатирующей организации указать безопасные методы работы при отключении АПМ и безопасные процедуры восстановления и тестирования таких систем;
- если перезапуск, инициированный вручную, временно отключает АПМ, время перезапуска должно быть четко указано в руководстве по эксплуатации;
- все ситуации (например, удаление или отказ контроллера, или другого элемента), при которых АПМ не будет функционировать, включая соответствующие меры безопасности, которые необходимо принять в таких условиях;

6) любую другую информацию, относящуюся к безопасному использованию ВОЛС;

7) указание о том, что оборудование должно быть установлено в соответствии с инструкциями изготовителя, включая предупреждение: «ВНИМАНИЕ: Использование органов управления или настроек, или выполнение процедур, отличных от указанных в настоящем стандарте, может привести к опасному облучению».

4.6.2 Монтажная и обслуживающая организации

Организация, ответственная за установку и обслуживание ВОЛС, должна следовать инструкциям изготовителя по установке оборудования таким образом, чтобы гарантировать, что интенсивность доступного излучения при обоснованно прогнозируемых событиях удовлетворяет требованиям раздела 4.

Монтажная или обслуживающая организация перед вводом ВОЛС в эксплуатацию должна проверить, что АПМ (если оно используется в системе) соответствует требованиям, указанным в 4.7.3, 4.7.4, 4.7.5 и 4.8.

Для ВОЛС с доступными зонами, в которых уровень опасности отличен от 1 или 2, монтажная и/или обслуживающая организация должны:

a) обеспечить надлежащую подготовку по лазерной безопасности персонала, ответственного за выполнение работ по установке и обслуживанию;

b) обеспечить использование соответствующих средств контроля доступа и предупреждающих знаков (маркировки) в контролируемых зонах и зонах с ограниченным доступом.

4.6.3 Эксплуатирующая организация

Эксплуатирующая организация несет полную ответственность за безопасность всей ВОЛС в целом. Это включает, в частности:

a) определение типа зон размещения во всех доступных зонах всей ВОЛС;

b) обеспечение непревышения уровней опасности для всех типов зон размещения при обоснованно прогнозируемых событиях;

c) обеспечение монтажа и сервисного обслуживания только организациями, удовлетворяющими требованиям 4.2—4.9;

d) обеспечение надлежащего доступа в зоны с ограниченным доступом и контролируемые зоны в соответствии с требованиями лазерной безопасности;

e) обеспечение постоянного соблюдения требований к изготовлению, эксплуатации, монтажу, обслуживанию и безопасности ВОЛС.

Примечание — Руководство по техническому обслуживанию описано в приложении Е.

4.7 Оценка уровня опасности

4.7.1 Определение уровня опасности и использование условия 2

Уровень опасности определяется путем измерения параметров оптического излучения, которое может стать доступным после любого обоснованно прогнозируемого события (например, обрыва оптоволокна) во время эксплуатации и технического обслуживания. Методы определения соответствия указанным предельным значениям излучения для условия 2 используются в соответствии с таблицами 4 и 4.7.2 в дополнение к условиям 1 и 3, которые являются такими же, как те, которые описаны для классификации в IEC 60825-1.

Для определения уровня опасности для всех длин волн необходимо следовать таблице 4.

Таблица 4 — Измеряемые диаметры апертуры и расстояния для стандартной (упрощенной) оценки

Длина волны, нм	Условие 1		Условие 2[a]		Условие 3	
	применяется к коллимированным пучкам, когда, например использование телескопа или бинокля повышает опасность		применяется к расходящимся пучкам, где, например монокулярные лупы или мощные увеличительные стекла повышают опасность		применяется для просмотра невооруженным глазом или с помощью маломощных увеличительных стекол	
	апертурная диафрагма, мм	расстояние, мм	апертурная диафрагма, мм	расстояние, мм	апертурная диафрагма/ ограничивающая апертура, мм	расстояние, мм
< 302,5	—	—	—	—	см. IEC 60825-1	см. IEC 60825-1
≥ 302,5 до 400	см. IEC 60825-1	см. IEC 60825-1	3,5	35	см. IEC 60825-1	см. IEC 60825-1
≥ 400 до 1 400	см. IEC 60825-1	см. IEC 60825-1	3,5	35	см. IEC 60825-1	см. IEC 60825-1
≥ 1 400 до 4 000	см. IEC 60825-1	см. IEC 60825-1	3,5	14	см. IEC 60825-1	см. IEC 60825-1
≥ 4 000 до 10^5	—	—	—	—	см. IEC 60825-1	см. IEC 60825-1
≥ 10^5 до 10^6	—	—	—	—	см. IEC 60825-1	см. IEC 60825-1
Ограничения схемы классификации рассмотрены в пункте 3 IEC 60825-1:2014, в котором предлагаются случаи, когда может потребоваться дополнительный анализ рисков и предупреждения.						

Примечание — Описания под заголовками «Условие» в качестве типичных случаев даны только для информации и не претендуют на исключительность.

[a] Определение условия 2 в этой таблице смоделировано на основе увеличительной оптики ×7 и ×18 для диапазонов длин волн от 302,5 нм до 1 400 нм и от 1 400 нм до 4 000 нм соответственно. Это представлено апертурной диафрагмой диаметром 3,5 мм на расстоянии 35 мм или 14 мм от торца волокна. Диаметр апертурной диафрагмы 3,5 мм (а не 7 мм) используется потому, что увеличивающая оптика использовалась бы только в ситуации, когда света достаточно, и, таким образом, зрачок будет сужен. Также следует обратить внимание на то, что когда в ВОЛС используются многомодовые волокна с большим диаметром сердцевины, учитывается подавляющий эффект большого углового размера.

4.7.2 Присвоение ВОЛС уровней опасности

а) Уровни опасности 1 и 1М

Для длин волн менее 302,5 нм и более 4000 нм, если уровень доступного излучения

- меньше или равен ПИДИ класса 1 для условия 3, то ВОЛС присваивается уровень опасности 1.

Для длин волн от 302,5 нм до 4000 нм, если уровень доступного излучения

- меньше или равен ПИДИ класса 1 для условия 1, а также для условий 2 и 3,

тогда ВОЛС присваивается уровень опасности 1;

в противном случае, если уровень доступного излучения

- больше, чем ПИДИ класса 1 для условия 1 или условия 2, и
- меньше, чем ПИДИ класса 3В для условия 1 и условия 2, и
- меньше или равен ПИДИ класса 1 для условия 3,

то ВОЛС присваивается уровень опасности 1М.

Примечание 1 — ПИДИ определено в IEC 60825-1:2014, 3.3.

Примечание 2 — Как правило, допустимый уровень излучения 1М превышает ПИДИ класса 1 либо для условия 1, либо для условия 2. Однако лазерное изделие также классифицируется как 1М, когда максимальное значение излучения превышает значение ПИДИ как для условия 1, так и для условия 2.

Примечание 3 — Причиной проверки ПИДИ класса 3В является ограничение максимальной мощности, проходящей через оптический прибор.

Для длин волн от 1200 нм до 1400 нм ПИДИ класса 1 должно быть ограничено эквивалентной мощностью излучения, соответствующей ПДУ для кожи, оцениваемой с помощью апертуры диаметром 3,5 мм (см. D.4.1).

Примечание 4 — Вышеупомянутая проверка на ПДУ для кожи является дополнительной и более строгой, чем значение ПИДИ для класса 3В, как указано в сносках d) и f) к таблицам 3 и 4 IEC 60825-1:2014, соответственно.

Примечание 5 — Обоснование предельного значения ПДУ для кожи основано на следующей сноске в таблицах А.1—А.4 IEC 60825-1:2014: «В диапазоне длины волны от 1250 до 1400 нм ограничения для защиты сетчатки, представленные в таблице, могут недостаточно защитить передние отделы глаза (роговицу, радужную оболочку), в связи с чем следует соблюдать осторожность. В случае если воздействие не превышает значения ПДУ для кожи, беспокоиться о передних отделах глаза не следует». Значения ПДУ для кожи приведены в таблице А.5 IEC 60825-1:2014.

Для всех длин волн, при уровнях опасности 1 и 1 М, уровень доступного излучения, определяемый с помощью апертуры диаметром 3,5 мм, расположенной на торце волокна, не должен превышать ПИДИ класса 3В.

Примечание 6 — Возможно, что лазерное изделие класса 1М с сильно расходящимся пучком может создавать достаточно высокие уровни освещенности вблизи источника или в контакте с ним (например, торцом волокна), так что возможно повреждение кожи.

b) Уровни опасности 2 и 2М

Уровни опасности 2 и 2М применимы к диапазону длин волн от 400 нм до 700 нм. Если уровень доступного излучения превышает пределы, требуемые для класса 1 и для класса 1М, и

- меньше или равен ПИДИ класса 2 для условия 1, а также для условия 2 и условия 3, то ВОЛС присваивается уровень опасности 2.

Если уровень доступного излучения превышает пределы, требуемые для класса 1 и для класса 1М, и составляет

- больше, чем ПИДИ класса 2 для условия 1 или условия 2, и
- меньше, чем ПИДИ класса 3В для условия 1 и условия 2, и
- меньше или равен ПИДИ класса 2 для условия 3,

тогда ВОЛС присваивается уровень опасности 2М.

Примечание 7 — Как правило, уровень доступного излучения 2М превышает ПИДИ класса 2 либо для условия 1, либо для условия 2. Тем не менее, он также классифицируется как уровень опасности 2М, когда она превышает ПИДИ класса 2 для условия 1 и условия 2.

Примечание 8 — Причиной проверки ПИДИ класса 3В является ограничение максимальной мощности, проходящей через оптический прибор, и исключение высоких уровней излучения вблизи расходящихся источников или в контакте с ними, чтобы не привести к повреждению кожи.

При уровнях опасности 2 и 2М допустимый уровень излучения, определяемый с помощью апертуры диаметром 3,5 мм, расположенной на кончике волокна, не должен превышать ПИДИ класса 3В.

Примечание 9 — Возможно, что лазерное изделие класса 2М с сильно расходящимся лучом может создавать достаточно высокие уровни излучения вблизи источника или в контакте с ним (например, наконечником волокна), так что возможно повреждение кожи.

c) Уровень опасности 3R

Для длин волн менее 302,5 нм и более или равных 4 000 нм, если уровень доступного излучения для условия 3

- меньше или равен ПИДИ класса 3R, и
- превышает ПИДИ класса 1, тогда ВОЛС присваивается уровень опасности 3R.

Для длин волн, превышающих или равных 302,5 нм и менее 4 000 нм, если уровень доступного излучения

- меньше или равен ПИДИ класса 3R для условия 1, а также для условия 2 и условия 3, и
- превышает ПИДИ для класса 1 и класса 2 для условия 3,

тогда ВОЛС присваивается уровень опасности 3R.

Для длин волн от 1 200 нм до 1 400 нм ПИДИ класса 3R должно быть ограничено эквивалентной мощностью излучения, соответствующей пятикратному значению ПДУ для кожи, оцениваемому с помощью апертуры диаметром 3,5 мм.

Примечание 10 — Вышеупомянутая проверка пятикратного превышения ПДУ для кожи является дополнительной и более строгой, чем проверка на ПИДИ класса 3B, указанная в сносках d) и c) к таблицам 6 и 7 IEC 60825-1:2014, соответственно.

Примечание 11 — См. D.4.1.

Для всех длин волн, при уровне опасности 3R, уровень доступного излучения определяется с помощью апертуры диаметром 3,5 мм, расположенной на торце волокна, и не должен превышать ПИДИ класса 3B.

d) Уровень опасности 3B

Для длин волн менее 302,5 нм и более или равных 4000 нм, если уровень доступного излучения при условии 3

- меньше или равен ПИДИ класса 3B и
- превышает ПИДИ класса 3R,

тогда ВОЛС присваивается уровень опасности 3B.

Для длин волн, превышающих или равных 302,5 нм и менее 4 000 нм, если уровень доступного излучения

- меньше или равен ПИДИ класса 3B для условия 1, и условия 2, и условия 3, и
- превышает ПИДИ для класса 3R при условии 1 или при условии 2, или при условии 3, и
- превышает ПИДИ для класса 1 и класса 2 при условии 3,

тогда ВОЛС присваивается уровень опасности 3B.

Для всех длин волн, относящихся к уровням опасности 3B, уровень доступного излучения, определяемый с помощью апертуры диаметром 3,5 мм, расположенной на торце волокна, не должен превышать ПИДИ класса 3B.

e) Уровень опасности 4

Если полный уровень доступного излучения с торца волокна (или измеренный с помощью апертуры диаметром 3,5 мм, расположенной на торце волокна) превышает ПИДИ для класса 3B, ВОЛС присваивается уровень опасности 4.

4.7.3 Дополнительные требования, применимые ко всем уровням опасности

Должна быть проведена оценка уровня опасности с автоматическим понижением мощности и без него:

- через 1 с после обоснованно прогнозируемого события (например, обрыва волокна) для неограниченных зон, если только измерение в более позднее время не приведет к большему воздействию;
- через 3 с после обоснованно прогнозируемого события в зонах с ограниченным доступом и контролируемых зонах, если только измерение в более позднее время не приведет к большему воздействию.

В случае, когда трудно провести прямые измерения, допустимо делать оценку уровня опасности на основе расчетов. Например, зная мощность лазера или усилителя и ослабление в оптоволокне можно оценить опасность в любом конкретном месте.

Для ВОЛС с автоматическим понижением мощности уровень опасности будет определяться доступным излучением (импульсным или непрерывным) по истечении указанного выше интервала времени (1 с для неограниченных зон, 3 с для зон с ограниченным доступом и контролируемых зон). Кроме того, должно быть выполнено требование ПДУ, изложенное в 4.7.4.

Примечание 1 — Уровень воздействия определяется в зоне, где можно обоснованно предположить, что человек может подвергнуться воздействию излучения, исходящего от ВОЛС. Если ВОЛС включает систему АПМ, уровень воздействия поддерживается на уровне, который не превышает значение ПДУ, которое в данном случае определяется с учетом времени полного срабатывания системы АПМ, как указано в 4.7.4.

Примечание 2 — Во многих странах национальным законодательством предусмотрены меры по защите глаз и кожи персонала на рабочем месте и населения в целом. Эти обязательные по закону национальные нормы допустимого воздействия могут отличаться и переопределять ПДУ, приведенные в приложении A IEC 60825-1:2014.

4.7.4 Требования к кратковременному доступному воздействию при использовании АПМ

ВОЛС использует функцию автоматического понижения мощности для соответствия пределам уровня опасности ниже того, который был бы присвоен, если бы функция автоматического понижения мощности отсутствовала. В течение максимального промежутка времени до достижения более низкого уровня опасности, указанного в 4.7.1, который составляет не более 1 с для зон с неограниченным доступом, не более 3 с для зон с ограниченным доступом и контролируемых зон, облученность или

энергетическая экспозиция не должны превышать пределов воздействия на глаза или кожу (эквивалент ПДУ для глаз и кожи), в соответствии с временем срабатывания АПМ. Для зон с неограниченным/ограниченным доступом и контролируемых зон расстояния измерения составляют, соответственно, 100 мм и 250 мм только для 4.7.4.

Примечание 1 — Если время срабатывания АПМ превышает 1 с для неограниченных зон или 3 с для ограниченных/контролируемых зон, то вышеуказанные оценки ПДУ проводятся для времени воздействия 1 с для неограниченных зон или 3 с для ограниченных/контролируемых зон.

Примечание 2 — См. также D.7.

4.7.5 Условия проведения испытаний и оценок

Испытания и оценки должны проводиться при обоснованно прогнозируемых неисправностях. В некоторых сложных ВОЛС (например, где выходные оптические характеристики зависят от целостности других компонентов, схемотехники и программного обеспечения) при необходимости могут использоваться другие обоснованные методы оценки опасности/безопасности (см. приложение С).

Однако неисправности, которые приводят к выходу излучения, превышающего заданный уровень опасности, не обязательно учитывать, если:

- это неисправность, относящаяся только к ограниченному периоду времени, в течение которого уровень излучения может превышать заданный уровень опасности; и
- нет возможности обоснованно предвидеть, что доступ человека к излучению произойдет до того, как линия будет выведена из эксплуатации.

Примечание — При применении соответствующего требования ПДУ в 4.7 в отношении лазерного пучка выходящего, например из сломанного конца оптоволокна или разомкнутого коннектора, важны два вопроса:

a) Можно ли обоснованно предположить, что лазерный пучок может попасть в глаза человека?

b) Можно ли обоснованно предположить, что лазерный пучок может попасть на кожу человека?

При определении обоснованности прогнозируемого события учитывается физическое положение точки выхода лазерного пучка (апертуры), расстояние между апертурой и глазом или кожей, а также время, необходимое АПМ для снижения воздействия до уровня, требуемого 4.9.

Даже если воздействие на незащищенные глаза или кожу обоснованно не предвидится, помимо этого следует учитывать возможность возникновения пожара.

4.8 Автоматическое понижение мощности (АПМ)

4.8.1 Общие положения

Если ВОЛС использует функцию АПМ для достижения требуемого уровня опасности, то функция перезапуска должна работать в соответствии с ограничениями, которые описаны в 4.8.2, 4.8.3 или 4.8.4, в зависимости от их применимости. Кроме того, АПМ должно быть спроектировано таким образом, чтобы иметь достаточный уровень надежности.

Примечание 1 — Примеры расчета надежности систем АПМ приведены в D.5.

Примечание 2 — Интервал перезапуска, описанный в следующих ситуациях, зависит от длины волны.

Примечание 3 — Для получения дополнительной информации об АПМ см. ITU-T G.664 [1].

4.8.2 Автоматический перезапуск

В случае, когда перезапуск инициируется автоматически, временные интервалы и мощность излучения в процессе перезапуска ограничиваются так, чтобы не превышать уровень опасности, присвоенный каждой доступной зоне ВОЛС.

4.8.3 Ручной перезапуск с гарантированной целостностью

В случае, когда перезапуск инициируется вручную и целостность линии связи гарантируется административными средствами контроля или другими средствами, время процесса перезапуска и мощность излучения не ограничены.

Примечание — Поскольку в этом случае время процесса перезапуска и мощность излучения не ограничены, административные или другие средства контроля должны будут учитывать повышение риска возникновения каких-либо новых опасностей (например пожара). Важно, чтобы эти дополнительные средства контроля были задокументированы в соответствующих инструкциях по обслуживанию.

В документации изготовителя должно быть указано, что административный контроль (или другие средства) должны учитывать, что во время процедуры перезапуска может быть превышен установленный уровень опасности в любой доступной зоне.

4.8.4 Ручной перезапуск без гарантированной целостности

В случае, когда перезапуск инициируется вручную и целостность линии связи не гарантирована, время процесса перезапуска и мощность оптического излучения должны быть ограничены так, чтобы не превышать уровень опасности, присвоенный каждой доступной зоне системы.

4.8.5 Отключение АПМ

Если перезагрузка линии, инициированная вручную, временно отключает АПМ, система должна указать, что АПМ неработоспособно на время перезагрузки, чтобы эксплуатирующая организация могла принять соответствующие меры безопасности. Если эти условия не соблюдены, уровень опасности должен быть присвоен в соответствии с уровнем оптической мощности передаваемого сигнала, предполагая, что АПМ не используется.

Отключение механизма АПМ не допускается для передающих мощностей классов 3В и 4, без соблюдения всех нижеперечисленных условий:

a) отключение необходимо только в редких случаях при установке и обслуживании ВОЛС;

b) отключение возможно только с помощью надежных программных команд или системы ручной блокировки.

Примечание 1 — По вопросам надежности программного обеспечения см. серию стандартов IEC 61508 [8];

c) если отключение производится с помощью программных команд, то в такое программное обеспечение встроена система безопасности, предотвращающая непреднамеренное отключение механизма АПМ;

d) программное обеспечение содержит предупреждающий индикатор о том, что АПМ будет отключено, если процедура будет продолжена;

e) продолжение работы передающих данные ВОЛС с отключенным АПМ должно быть остановлено подходящими инженерными средствами.

Примечание 2 — Примером «подходящего технического средства» является система управления, которая автоматически повторно включает АПМ как можно скорее по истечении интервала времени, достаточного для выполнения задачи, которая привела к первоначальному отключению АПМ;

f) включение в документацию соответствующих инструкций по безопасному использованию оборудования с отключенным АПМ;

g) отключение АПМ навсегда невозможно — АПМ автоматически включается повторно [см. также примечание в 4.8.5 e)];

h) отключение АПМ возможно только с помощью действий, предпринятых локально на передающем оборудовании (т. е. удаленное отключение АПМ обычно не допускается), за исключением случаев прямой связи с лицами (возможно, в удаленных местах), которые могут подвергнуться воздействию более высоких уровней излучения, чем до отключения АПМ.

Примечание 3 — Системы на основе эффекта ВКР обычно излучают большую мощность со стороны приемного пункта;

i) четкое и недвусмысленное предупреждение отображается непрерывно, пока АПМ остается отключенным;

j) ВОЛС высокой мощности с отключенным АПМ перезагружаются только посредством ручного запуска или перезапуска.

Общепризнано, что системы передачи данных на большие расстояния обычно используют высокие мощности для обеспечения непрерывности передачи. Таким образом, разрешается использовать высокие мощности (класс 4) при первоначальном запуске системы, при условии, что это выполняется обученным персоналом в определенных условиях.

Управляющая (административная) организация должна приложить усилия для обеспечения целостности ВОЛС [например, проверка целостности методом оптической рефлектометрии во временной области (OTDR)] и для обеспечения того, чтобы персонал не подвергался воздействию излучения класса 3В или 4. Это также может быть сделано с помощью строгого административного контроля.

За исключением случаев, когда явно указано иное, настоящий стандарт не разрешает эксплуатацию ВОЛС, если доступные зоны в этой системе относятся к уровню опасности 4.

Примечание 4 — Если мощность передатчика, усилителя и так далее соответствует классу 4 и АПМ было бы отключено, то в результате были бы доступны зоны, работающие на уровне опасности 4. Тем не менее, иногда необходимо отключать АПМ в определенных условиях, но эти условия должны тщательно контролироваться и быть ограничены по времени, так чтобы вероятность воздействия излучения класса 4 была очень мала.

Примечание 5 — Один час — это подходящее время, по истечении которого АПМ повторно включается вручную или автоматически.

4.9 Требования к уровню опасности в зависимости от типа зоны размещения

4.9.1 Общие положения

Требуемый уровень опасности должен быть определен для каждой доступной зоны в пределах ВОЛС.

Примечание 1 — Это включает доступ к оптическим волокнам, которые могут быть повреждены.

Примечание 2 — Настоящий стандарт применим к эксплуатации и техническому обслуживанию ВОЛС. Если в линиях используются уровни мощности передачи, в нормальных условиях превышающие допустимый уровень опасности для конкретного типа зоны размещения, фактический уровень опасности определяется с использованием систем защиты, таких как автоматическое понижение мощности.

В таблице 5 приведена сводная информация о типах зоны размещения в ВОЛС.

4.9.2 Зоны с неограниченным доступом

В зоне с неограниченным доступом уровень опасности должен составлять 1, 1M, 2 или 2M.

Примечание — Если применяемый предел уровня опасности 1M превышает предел уровня опасности 2 и меньше предела уровня опасности 3B, присваивается уровень опасности 1M [см. определение уровня опасности 1M в 4.7.2 a)].

4.9.3 Зоны с ограниченным доступом

В зоне с ограниченным доступом уровень опасности должен составлять 1, 1M, 2, 2M или 3R.

Примечание 1 — Если применяемый предел уровня опасности 1M или 2M превышает предел уровня опасности 3R и меньше предела уровня опасности 3B, присваивается уровень опасности 1M или 2M соответственно [см. определения уровней опасности 1M и 2M в 4.7.2 a) и b) соответственно].

Примечание 2 — Если применяемый предел уровня опасности 1M превышает предел уровня опасности 2 и меньше предела уровня опасности 3B, присваивается уровень опасности 1M [см. определение уровня опасности 1M в 4.7.2 a)].

4.9.4 Контролируемые зоны

В контролируемой зоне доступный уровень опасности должен составлять 1, 1M, 2, 2M, 3R или 3B.

Таблица 5 — Краткое изложение требований к типам зон размещения на ВОЛС

Уровень опасности	Тип зоны размещения		
	с неограниченным доступом	с ограниченным доступом	контролируемая
1	Нет требований	Нет требований	Нет требований
1M	Уровень опасности 1 для выходной мощности из коннекторов, которые могут быть открыты конечным пользователем[a]. Этикетки или маркировка не требуются[b]	Этикетки или маркировка не требуются, если выходная мощность из коннекторов, которые могут быть открыты конечным пользователем, соответствует уровню опасности 1. Если выходная мощность соответствует уровню опасности 1M, то требуется нанесение маркировки[b]	Нет требований
2	Этикетки или маркировка[b]	Этикетки или маркировка[b]	Этикетки или маркировка[b]
2M	Этикетки или маркировка[b] и уровень опасности 2 от коннектора[a]	Этикетки или маркировка[b]	Этикетки или маркировка[b]

Окончание таблицы 5

Уровень опасности	Тип зоны размещения		
	с неограниченным доступом	с ограниченным доступом	контролируемая
3R	Не допускается[c]	Этикетки или маркировка[b] и уровень опасности 1M или 2M от коннектора[a]	Этикетки или маркировка[b] и уровень опасности 1M или 2M от коннектора[a]
3B	Не допускается[c]	Не допускается[c]	Этикетки или маркировка[b] и уровень опасности 1M или 2M от коннектора[a]
4	Не допускается[c]	Не допускается[c]	Не допускается[c]

[a] См. 4.4.

[b] См. 4.5.

[c] В тех случаях, когда в ВОЛС используются обычные уровни мощности передачи, в нормальных условиях превышающие допустимый уровень опасности для конкретного типа зоны размещения (см. 4.9), для определения фактического уровня опасности могут использоваться системы защиты, такие как автоматическое понижение мощности.

См. 4.7.2 и 4.8.

Приложение А
(справочное)

Обоснование

Безопасность лазерных изделий, классификация оборудования, требования и руководство пользователя описаны в IEC 60825-1 и IEC TR 60825-14 [9]. IEC 60825-1 в первую очередь предназначен для автономных устройств, находящихся под эффективным локальным контролем. ВОЛС будет безопасна при нормальных условиях работы, поскольку оптическое излучение полностью изолировано при предполагаемой эксплуатации. Однако из-за протяженного характера ВОЛС (где оптическая мощность при определенных условиях может быть доступна за много километров от источника оптического излучения) необходимые меры предосторожности для минимизации опасности будут отличаться от тех, которые применяются для лазерных источников, находящихся под местным контролем оператора. Многие ВОЛС содержат светодиоды, которые исключены из сферы применения IEC 60825-1.

Потенциальная опасность ВОЛС зависит от вероятности повреждения защитных кожухов (например, отсоединение оптического коннектора или обрыв оптоволоконного кабеля) и от характера оптического излучения, которое впоследствии может стать доступным. Технические требования и меры предосторожности пользователя, необходимые для минимизации опасности, указаны в настоящем стандарте.

Каждой доступной зоне в ВОЛС эксплуатирующая организация или ее представитель присваивает уровень опасности, который дает представление о потенциальной опасности, если оптическое излучение становится доступным. Уровни опасности описаны аналогично процедуре классификации в IEC 60825-1 как уровни опасности 1—4. В волоконно-оптических применениях пределы уровней опасности 1M и 2M часто выше предела уровня опасности 3R, но меньше предела уровня опасности 3B. Для таких применений уровень опасности 3R не допустим.

В тех случаях, когда эксплуатирующие организации заключают договор субподряда на установку, эксплуатацию или техническое обслуживание ВОЛС, они должны определить ответственность за лазерную безопасность.

Таким образом, основные различия между IEC 60825-1 и настоящим стандартом заключаются в следующем:

- ВОЛС не должны классифицироваться в соответствии с требованиями IEC 60825-1. Это связано с тем, что при предполагаемой эксплуатации оптическое излучение полностью изолировано, и можно утверждать, что, строгая интерпретация IEC 60825-1 присвоила бы всем ВОЛС класс 1, что может некорректно отражать потенциальную опасность. Однако, если источником излучения можно управлять отдельно, его следует классифицировать в соответствии с IEC 60825-1.

- Каждая доступная зона в протяженной закрытой оптической системе передачи данных должна быть обозначена по уровню опасности, следуя процедурам, аналогичным процедурам классификации в IEC 60825-1. Однако этот уровень будет основан не на доступном излучении, а на излучении, которое может стать доступным при обоснованно прогнозируемых событиях (обрыв оптоволоконного кабеля, отсоединенный оптоволоконный коннектор и т. д.).

- Сущность мер предосторожности, необходимых для любого конкретного уровня опасности, будет зависеть от типа зоны размещения, т. е. бытовых помещений, промышленных зон, где доступ будет ограничен, и коммутационных центров, где может быть контролируемый доступ. Например, требуется, чтобы в домашних условиях отсоединенный оптоволоконный коннектор был способен испускать только излучения соответствующие классу 1 или 2, в то время как в контролируемых зонах оно может быть выше.

- В этом стандарте измерение с помощью увеличительной оптики для определения уровней опасности при условии 2 применяется также и для условий 1 и 3.

Приложение В
(справочное)

Разъяснение значения термина «уровень опасности»

В.1 Общие положения

В приложении В дополнительно разъясняется разница между «классом лазера», определенным в IEC 60825-1, и «уровнем опасности», определенным в настоящем стандарте.

В.2 Класс

Слово «класс» относится к схеме, по которой изделия или встроенные излучатели на основе уровней их излучения могут быть классифицированы с точки зрения их безопасности. Эти уровни описаны в таблицах пределов интенсивности доступного излучения в IEC 60825-1. Классы варьируются от класса 1, который безопасен при обоснованно прогнозируемых условиях, до класса 4, который потенциально является наиболее опасным. Согласно IEC 60825-1 классификация изделий основана на обоснованно прогнозируемых условиях эксплуатации, включая условия единичного отказа.

В.3 Уровень опасности

«Уровень опасности» — это термин, используемый в настоящем стандарте, который относится к потенциальной опасности от лазерного излучения в любом месте ВОЛС, которое может быть доступно во время эксплуатации или технического обслуживания, или в случае сбоя, отсоединения коннекторов, или другого нарушения целостности волокна, такого как обрыв. При оценке уровня опасности используются таблицы пределов интенсивности доступного излучения, которые применяются для определения класса изделия, заданного в IEC 60825-1. Оценка уровня опасности описана в 4.7. Оценка может быть проведена путем фактического измерения или основываться на расчете излучаемой мощности и известных постоянных времени.

В приложении А дается следующее дополнительное разъяснение: «ВОЛС не будут классифицироваться таким же образом, как того требует IEC 60825-1. Это связано с тем, что при предполагаемой эксплуатации оптическое излучение полностью изолировано, и можно утверждать, что, строгая интерпретация IEC 60825-1 присвоила бы всем ВОЛС класс 1, что может некорректно отражать потенциальную опасность». Основываясь на этом утверждении, ВОЛС целиком можно рассматривать как лазерное изделие класса 1, поскольку при нормальных условиях источник излучения полностью закрыт (как в лазерном принтере) и никакое излучение не должно выходить за пределы защитного кожуха. Только после разрыва оптоволокна или отсоединения оптического коннектора кто-либо может подвергнуться воздействию оптического излучения, уровень которого потенциально опасен (если внутренние излучатели или выходы усилителя имеют достаточно высокую мощность).

Следовательно, уровень опасности необходимо оценивать для каждого оптического выходного порта. Границы уровня опасности зависят от «доминирующего» диапазона длин волн, принимая во внимание, что IEC 60825-1:2014 определяет различные пределы для различных диапазонов длин волн и правила спектральной аддитивности для глаза, как показано в таблице 1 IEC 60825-1:2014. Кроме того, этот стандарт разрешает использовать методы автоматического понижения мощности для достижения более низкого (менее опасного) уровня опасности, на основании нормального уровня мощности в волокне и скорости автоматического понижения мощности.

В.4 Обоснование к 4.7

Концепция 4.7.1 основана на предположениях, которые уже существуют в IEC 60825-1 и IEC 60825-2. Однако значительная часть ВОЛС иногда может быть классифицирована как «недоступная при обоснованно прогнозируемых условиях».

4.7.4 Требует, чтобы ПДУ не превышалось, если какое-либо лицо подвергается воздействию излучения, выходящего из коннектора или трещины с момента разрыва или разъединения. Предполагается, что мощность остается постоянной на своем максимальном значении до истечения времени срабатывания АПМ.

а) Неограниченные зоны:

Требования к отключению в течение 1 с, приведенные в 4.7.3, основаны на предположении, что даже если волокно намеренно перерезано, крайне маловероятно, что в течение 1 с человек сможет приблизиться на 100 мм и расположить увеличительную оптику таким образом, чтобы подвергнуться неблагоприятному воздействию. Кроме того, следует иметь в виду, что оптические сигналы ослабляются по мере их распространения по волокну, поэтому выходная мощность при неисправности в неограниченной зоне может быть значительно ниже, чем вблизи передатчика или усилителя.

b) Зоны с ограниченным доступом:

Требования к отключению в течение 3 с, приведенные в 4.7.3, основаны на предположении, что любой сбой системы в ограниченной зоне будет носить случайный характер, а трехсекундный предел для отключения или понижения мощности будет приемлемым периодом времени «после обоснованно прогнозируемого события». Также крайне маловероятно, что за этот период времени человек сможет приблизится на 100 мм и расположить коллимирующую оптику таким образом, чтобы подвергаться неблагоприятному воздействию. Следует также иметь в виду, что оптические сигналы ослабляются по мере их распространения по волокну, поэтому выходная мощность при неисправности в ограниченной зоне может быть значительно ниже, чем вблизи передатчика или усилителя.

c) Контролируемые зоны:

Лица, работающие в помещениях с контролируемым доступом, должны пройти соответствующую подготовку по лазерной безопасности, которая должна включать понимание того, что поврежденное волокно следует осматривать только в том случае, если ВОЛС была должным образом деактивирована.

B.5 Обоснование к D.5

Приложение D носит информативный характер. Использование термина «рекомендуемый» не должно быть истолковано как запрещающее использование альтернативных методов анализа. Метод анализа неисправностей и выбор соответствующего уровня безопасности является прерогативой пользователя.

Приложение С
(справочное)

Методы анализа опасности/безопасности

Некоторые методы анализа опасности/безопасности включают следующее:

a) предварительный анализ опасности (PHA), включая анализ электрической схемы. Этот метод может использоваться сам по себе, но является важным первым этапом в применении других методов оценки опасности/безопасности;

b) анализ последствий — см. серию стандартов IEC 61508 [8];

c) анализ режимов и последствий отказа (FMEA);

d) анализ режимов, последствий и критичности отказов (FMECA) (см. IEC 60812 [10]);

e) анализ дерева отказов (FTA);

f) анализ дерева событий;

g) исследования опасностей и эксплуатационной пригодности (HAZOPS).

При необходимости в дополнение к анализу следует проводить соответствующие испытания. Метод анализа и любые допущения, сделанные при проведении анализа, должны быть указаны изготовителем/пользователем.

Приложение D
(рекомендуемое)

Рекомендации по безопасному использованию ВОЛС

D.1 Обзор

Приложение D содержит рекомендации по применению настоящего стандарта в конкретных практических ситуациях. Это информативное приложение призвано помочь пользователям настоящего стандарта в применении требований IEC 60825-1 и настоящего стандарта для их конкретного случая (использования). Оно не содержит каких-либо требований.

Настоящий стандарт применяется к ВОЛС. В таких системах оптическая мощность может передаваться на большие расстояния за пределы источника оптического излучения, и необходимо принять меры для обеспечения того, чтобы потенциальные опасности, связанные с повреждением линии связи, были сведены к минимуму. Чтобы узнать степень потенциальной опасности, существующей в ВОЛС, необходимо присвоить уровень опасности тем зонам, которые могут стать доступными: это схоже с обозначением класса лазерной опасности изделия в соответствии с IEC 60825-1, но заменяет его.

Можно настроить ВОЛС таким образом, чтобы она действовала как система управления с замкнутым контуром таким образом, что при разрыве линии связи мощность передаваемого сигнала автоматически понижалась в течение короткого периода времени до безопасного значения. Таким образом возможно иметь две линии, одну с автоматическим понижением мощности (АПМ), а другую без АПМ, обе имеют одинаковый уровень опасности (и, следовательно одинаковую степень безопасности): уровень сигнала при нормальных условиях эксплуатации в линии с АПМ может быть намного выше, чем уровень сигнала в линии без АПМ. Поскольку функция АПМ имеет решающее значение для безопасности, надежность этой функции должна быть достаточной, и соответствовать рекомендациям данного приложения.

В то время как IEC 60825-1 применяется к автономным лазерным изделиям, настоящий стандарт применяется к ВОЛС в целом. Поскольку подсистемы, генерирующие или усиливающие оптическое излучение, имеют критическое значение для безопасности ВОЛС, и поскольку они должны соответствовать части требований, эти элементы также включены в сферу применения настоящего стандарта. Изготовители отдельных пассивных компонентов или подсистем, которые еще не включены в конечные системы, могут не знать соответствующий уровень опасности, и поэтому эти элементы исключены из сферы применения настоящего стандарта.

В настоящем стандарте не рассматриваются вопросы безопасности, связанные со взрывом или пожаром, в отношении ВОЛС, развернутых в опасных местах.

D.2 Области применения

D.2.1 Типичные места размещения ВОЛС

a) Зоны с контролируемым доступом (см. 3.13):

- кабельные каналы;
- уличные шкафы;
- выделенные и разграниченные зоны распределительных центров;
- испытательные помещения на кабельных судах.

В тех случаях, когда служебный доступ к кабельным каналам и уличным шкафам может подвергнуть посторонних лиц воздействию излучения, превышающего предел интенсивности доступного излучения для класса 1, следует предусмотреть подходящее временное ограждение (например, будку);

b) Зоны с ограниченным доступом (см. 3.14):

- охраняемые зоны в производственных помещениях, закрытые для посторонних лиц;
- охраняемые зоны в деловых/коммерческих помещениях, закрытые для посторонних лиц (например, комнаты автоматических телефонных станций (АТС), помещения для компьютерных систем и т. д.);
- общие зоны в пределах коммутационных центров;
- ограниченные зоны, закрытые для посторонних лиц в поездах, на судах или других транспортных средствах;

c) Зоны с неограниченным доступом (см. 3.15):

- бытовые помещения;
- помещения сферы услуг, открытые для широкой публики (например, магазины и гостиницы);
- общественные зоны в поездах, на кораблях или других транспортных средствах;
- открытые общественные зоны, такие как парки, улицы и т. д.;
- неохраняемые зоны в деловых/промышленных/коммерческих помещениях, куда разрешен доступ представителям общественности, например в некоторых офисных помещениях.

ВОЛС могут проходить через неограниченные общественные зоны (например, дома), зоны с ограниченным доступом в промышленных помещениях, а также контролируемые зоны, такие как кабельные каналы или уличные шкафы.

Оптические локальные вычислительные сети (ЛВС) могут быть полностью развернуты в бизнес-помещениях с ограниченным доступом.

Оптоволоконные системы могут располагаться полностью в бытовых помещениях с неограниченным доступом, такие как соединения Hi-Fi аппаратуры.

Требования к инфракрасным (ИК) беспроводным локальным сетям или оптическим системам связи свободного пространства приведены в IEC 60825-12 [11].

D.2.2 Типичные компоненты системы

a) Оптоволоконные кабели:

1) конструкция из одиночного волокна/нескольких волокон/ленты;
2) одномодовые/многомодовые;
3) полностью диэлектрическая или гибридная конструкция;
4) передающие одну/несколько рабочих длин волн;
5) однонаправленная/двунаправленная передача в волокне;
6) связь/передача энергии.

b) источники оптического излучения:

1) светодиоды, поверхностно-излучающие лазеры с вертикальным резонатором (VCSEL), лазеры с резонатором Фабри-Перо или лазеры с распределенной обратной связью (РОС-лазеры), лазеры накачки;
2) оптические усилители;
3) объемные/распределенные;
4) непрерывные или импульсные с низкой/высокой частотой повторения.

c) Коннекторы:

1) симплексные/дуплексные/многоканальные;
2) гибридные.

d) Пассивные компоненты:

1) объединители/разветвители мощности;
2) мультиплексоры/демультиплексоры длин волн;
3) аттенюаторы;

e) защитные оболочки и кожухи;

f) кассеты для размещения волокна.

D.2.3 Типичные эксплуатационные функции

a) Установка.

b) Эксплуатация.

c) Поддержка.

d) Техническое обслуживание.

e) Поиск неисправностей.

f) Измерение (включая OTDR).

D.3 Пределы мощности ВОЛС

Максимальная средняя мощность в волокне для каждого уровня опасности для наиболее важных длин волн и типов оптических волокон, используемых в ВОЛС, представлена в таблице D.1. Указанные значения предполагают, что АПМ не используется. Для большинства типичных ВОЛС со скважностью от 10 % до 100 % пиковая мощность может быть увеличена обратно пропорционально скважности. Однако при скважности ≤ 50 % проще всего ограничить пиковую мощность на значении в два раза выше предела средней мощности, хотя IEC 60825-1 можно использовать для более сложного анализа, чтобы определить допустимое для систем такого типа увеличение пиковой мощности. Это особенно актуально, когда используются «видимые источники» с длинами волн в диапазоне фотохимической опасности.

Для наиболее распространенных одномодовых волокон необходимо применять ограничения для точечного источника, в то время как для многомодовых волокон с градиентным профилем показателя преломления с диаметром сердцевины 62,5 мкм (GI 62,5) влияние углового размера, который связан с C_6, необходимо учитывать для длин волн от 400 нм до 1 400 нм. См. примечание 5 в таблице D.1 для многомодовых волокон, которые необходимо рассматривать как протяженные источники.

Для измерений по условию 2 следует использовать следующие диаметр апертуры и расстояния измерения:

- 3,5 мм при 35 мм для длин волн ≥ 302,5 нм и < 1400 нм;
- 3,5 мм при 14 мм для длин волн ≥ 1400 нм и < 4000 нм.

Примечание 1 — Для одномодовых волокон с длинами волн ≥ 1400 нм в подавляющем большинстве случаев по условию 2 будет измеряться все излучение, исходящее от волокна, и следовательно будет учитываться при любом уровне увеличения.

Примечание 2 — Альтернативой этому условию для одномодовых волокон с длинами волн ≥ 1400 нм является простое измерение всего излучения из волокна с учетом того, что в некоторых случаях это может привести к завышению фактической опасности.

Примечание 3 — Для ВОЛС уровня опасности 3В полное излучение от оптоволокна ограничено величиной, меньшей чем ПИДИ класса 3В (таким образом мощность оптического излучения в волокне эффективно ограничивается на уровне 500 мВт при воздействии свыше 0,25 с и на соответствующем уровне для более коротких экспозиций, включая например импульсы перезапуска системы).

Таблица D.1 — Ограничения мощности для ВОЛС на основе одномодовых волокон (ОМ) с диаметром модового поля (ДМП) 11 мкм и многомодовых волокон (ММ) с числовой апертурой 0,18 (диаметр сердцевины 50 мкм)

Длина волны и тип волокна	Уровень опасности					
	1	1М	2	2М	3R	3В
633 нм (ММ)	1,95 мВт (+2,9 дБм)	3,77 мВт (+5,8 дБм)	5,00 мВт (+7,0 дБм)	9,66 мВт (+9,9 дБм)	25,0 мВт (+14,0 дБм)	500 мВт (+27,0 дБм)
780 нм (ММ)	2,82 мВт (+4,5 дБм)	5,45 мВт (+7,4 дБм)	—	—	14,5 мВт (+11,6 дБм)	500 мВт (+27,0 дБм)
850 нм (ММ)	3,89 мВт (+5,9 дБм)	7,52 мВт (+8,8 дБм)	—	—	20,0 мВт (+13,0 дБм)	500 мВт (+27,0 дБм)
980 нм (ММ)	7,08 мВт (+8,5 дБм)	13,7 мВт (+11,4 дБм)	—	—	36,3 мВт (+15,6 дБм)	500 мВт (+27,0 дБм)
980 нм (ОМ)	1,80 мВт (+2,5 дБм)	2,66 мВт (+4,2 дБм)	—	—	9,21 мВт (+9,6 дБм)	500 мВт (+27,0 дБм)
1270 нм (ММ)	140 мВт (+21,4 дБм)	270 мВт (+24,3 дБм)	—	—	500 мВт (+27,0 дБм)	500 мВт (+27,0 дБм)
1270 нм (ОМ)	46,2 мВт (+16,6 дБм)	76,5 мВт (+18,8 дБм)	—	—	237 мВт (+23,7 дБм)	500 мВт (+27,0 дБм)
1310 нм (ММ)	481 мВт (+26,8 дБм)	500 мВт (+27,0 дБм)	—	—	500 мВт (+27,0 дБм)	500 мВт (+27,0 дБм)
1310 нм (ОМ)	166 мВт (+22,2 дБм)	277 мВт (+24,4 дБм)	—	—	500 мВт (+27,0 дБм)	500 мВт (+27,0 дБм)
1400 нм до 1600 нм (ММ)	13,3 мВт (+11,2 дБм)	371 мВт (+25,7 дБм)	—	—	Примечание 1 в 4.9.3	500 мВт (+27,0 дБм)
1420 нм (ОМ)	10,1 мВт (+10,0 дБм)	115 мВт (+20,6 дБм)	—	—	Примечание 1 в 4.9.3	500 мВт (+27,0 дБм)
1550 нм (ОМ)	10,2 мВт (+10,1 дБм)	136 мВт (+21,3 дБм)	—	—	Примечание 1 в 4.9.3	500 мВт (+27,0 дБм)

Примечание 1 — Уровни опасности 1М и 2 М.

Максимальная мощность, указанная в таблице для волокна с диаметром модового поля 11 мкм ограничена интенсивностью излучения. Таким образом, точное ограничение мощности в оптоволокне определяется минимальным ожидаемым углом расходимостью пучка, которая, в свою очередь, зависит от диаметра модового поля одномодового оптоволокна. Оно может изменяться для разных значений диаметра модового поля, и при этом происходят значительные изменения в пределах класса. Некоторые коннекторы используют увеличенный диаметр модового поля, и расходимость в дальнем поле для них ниже. Эти коннекторы могут привести к более высокому уровню опасности, и при использовании этих коннекторов ВОЛС присваивается более высокий уровень опасности.

Окончание таблицы D.1

Примечание 2 — Длина волны 1270 нм.

Длина волны 1270 нм соответствует самой короткой длине волны в приложениях datacom, например LAN-WDM 8.

Примечание 3 — Параметры волокна.

Используемые параметры волокна являются наиболее консервативными случаями; при одномодовой передаче значения рассчитаны для волокна с диаметром модового поля 11 мкм, а при многомодовой — для волокна с числовой апертурой 0,18. Многие ВОЛС, работающие на длинах волн 980 нм и 1550 нм, используют волокна с меньшим диаметром модового поля. Например, ограничение для уровня опасности 1M, когда длина волны 1550 нм передается по волокну со смещенной дисперсией, имеющем верхние предельные значения диаметра модового поля 9,1 мкм, составляет 197 мВт.

Примечание 4 — Пределы уровня опасности 1M для < 900 нм.

Пределы уровня опасности 1M для одномодовых волокон при длинах волн меньше 900 нм здесь не представлены, поскольку расходимость, которую будет испытывать излучение на этих длинах волн, довольно изменчива. Это связано с тем, что такое коротковолновое излучение в стандартных, одномодовых на длине волны 1310 нм волокнах, фактически является многомодовым, и точная величина расходимости будет зависеть от довольно непредсказуемой степени смешивания мод. Эта изменчивость смешивания мод также является потенциальной проблемой при попытке сделать оценки для этих длин волн на истинно многомодовом волокне. Если необходимо рассчитать значения для этих случаев, предположение о том, что волокно передает всю свою мощность в основной моде, и использование уравнений одномодового режима дадут консервативную оценку.

Примечание 5 — Многомодовые оптоволоконные кабели с одной жилой.

Для длин волн от 400 нм до 1400 нм ПИДИ класса 1 рассчитывают с учетом углового размера диаметра жилы даже для оптики с низким увеличением (см. D.4.1.2). Следовательно, когда угловой размер превышает 1,5 мрад, эти волокна считаются протяженными источниками. При условии 3, т. е. измерении с расстояния 100 мм, волокно с измеренным диаметром сердцевины более 150 мкм является протяженным источником. Например, твердосплавные кварцевые волокна (HCS) с диаметром сердцевины 200 мкм или пластиковые оптические волокна с диаметром сердцевины 1000 мкм являются протяженными источниками. Применимый размер источника зависит от степени заполнения мод и детально определяется перед вычислением предельных значений. Даже при соблюдении условия 2, т. е. при измерении с расстояния 35 мм, волокно с измеренным диаметром сердцевины более 52,5 мкм рассматривается как протяженный источник. Таким образом волокна GI 50, показанные в этой таблице, рассматривают как точечные источники, а волокна GI 62.5 — как протяженные источники при условии 2.

Примечание 6 — Многоволоконные и ленточные кабели.

Ограничения в таблице рассчитаны только для одиночных волокон. Если необходимо оценить несколько волокон или ленточные волокна с одиночными волокнами, расположенными в непосредственной близости друг от друга, оценивается каждое отдельное волокно и каждая возможная группа волокон (см. D.4.6).

Примечание 7 — Предел мощности для длины волны 1420 нм.

Пределы мощности для длины волны 1420 нм рассчитаны для диапазона длин волн усиления на основе эффекта ВКР от 1420 нм (накачка) до 1500 нм (сигнал).

D.4 Примеры оценки уровня опасности

D.4.1 Одна длина волны по одному волокну

D.4.1.1 Общие положения

Для расчета ПИДИ и ПДУ с заданной апертурой требуется знать диаметр расходящегося пучка d_{63}, который содержит 63 % общей мощности или энергии на расстоянии r от видимого точечного источника, такого как торец оптического волокна, который зависит от числовой апертуры (NA). NA точечного источника определяется как синус половины угла расходимости φ выходного пучка, измеренного в точках с 5 % от пиковой освещенности по формуле

$$\frac{\varphi}{2} = \arcsin(NA). \tag{D.1}$$

Для гауссова пучка диаметр пучка d_{63} задают формулой

$$d_{63} = \frac{2r}{1{,}7}\tan\left[\arcsin(NA)\right] \approx \frac{2rNA}{1{,}7}, \tag{D.2}$$

где знаменатель 1,7 — это отношение диаметра пучка d_{95}, который соответствует точкам с 5 % от пиковой освещенности, к d_{63}, т. е. d_{95}/d_{63} = 1,7.

В случае одномодового волокна, которое является частным случаем точечного источника, диаметр пучка d_{63} на расстоянии r вычисляют по формуле

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2}\, r\lambda}{\pi\omega_0}, \tag{D.3}$$

где λ — длина волны;

ω_0 — диаметр основной моды оптоволокна по уровню интенсивности $1/e^2$.

В соответствии со спецификациями измерений, приведенными в 4.7.1, максимальная выходная мощность $P_{1,max}$ уровня опасности 1 определяется таким образом, чтобы ПИДИ $P_{ПИДИ}$ класса 1 была равна суммарной мощности, проходящей через круглое отверстие диаметром $d_{a,1}$ = 3,5 мм на расстоянии r, указанном в условии 2. $P_{ПИДИ}$ может быть оценена в соответствии с таблицей 3 IEC 60825-1:2014, когда угловой размер α с расстояния r меньше α_{min} = 1,5 мрад, т. е. рассматривается наблюдение прямого или зеркально отраженного излучения, или таблицей 4 IEC 60825-1:2014, когда α превышает α_{min} (см. D.4.1.2).

Максимальную выходную мощность $P_{1,max}$ уровня опасности 1 указывают в формуле

$$P_{1,max} = \frac{P_{ПИДИ}}{\eta_1}, \tag{D.4}$$

где η_1 — эффективность сбора гауссова пучка, проходящего через апертуру, которую определяют по формуле

$$\eta_1 = 1 - \exp\left[-\left(\frac{d_{a,1}}{d_{63}}\right)^2\right], \tag{D.5}$$

где $d_{63} << d_{a,1}$, $P_{1,max}$ задается $P_{ПИДИ}$, поскольку полная мощность от точечного источника проходит через апертуру.

Как показано в таблице A.5 IEC 60825-1:2014, ПДУ для кожи при 700 нм < λ < 1400 нм составляет: 2000 × C_4 Вт · м$^{-2}$ = 2000 × 5 Вт · м$^{-2}$ = 10 мВт · мм$^{-2}$.

Из диаметра апертуры для кожи 3,5 мм в таблице A.6 IEC 60825-1:2014, площадь апертуры равна π $(3,5/2)^2$ = 9,62 мм^2. Следовательно, верхний предел $P_{ПИДИ}$ получается следующим образом: 10 мВт·мм$^{-2}$ × 9,62 мм^2 = 96,2 мВт.

Выходную мощность P_{1M}, соответствующую максимальному уровню опасности 1М, излучаемую точечным источником, определяют таким образом, что $P_{ПИДИ}$ равна суммарной мощности, проходящей через круговую апертуру диаметром $d_{a,1M}$ = 7 мм для длин волн от 400 нм до 1400 нм и 3,5 мм для длин волн от 1400 нм до 4000 нм, расположенную на расстоянии r = 100 мм, как указано в условии 3.

Следовательно $P_{1M,max}$ задают формулой

$$P_{1M,max} = \frac{P_{ПИДИ}}{\eta_{1M}}, \tag{D.6}$$

где η_{1M} — эффективность сбора гауссова пучка, проходящего через апертуру, которую определяют формулой

$$\eta_{1M} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{d_{a,1M}}{d_{63}}\right)^2\right], \tag{D.7}$$

где $d_{63} << d_{a,1M}$, $P_{1,max}$ задается $P_{ПИДИ}$, так как общая мощность от точечного источника проходит через апертуру.

D.4.1.2 Многомодовое волокно

Для длин волн от 400 нм до 1400 нм многомодовое волокно с одной сердцевиной рассматривается как

a) протяженный источник, когда диаметр сердцевины больше 52,5 мкм, что соответствует угловому размеру α_{min} = 1,5 мрад с расстояния 35 мм, или как

b) точечный источник в противном случае.

Следовательно, ПИДИ $P_{ПИДИ}$ класса 1 необходимо рассчитывать с учетом углового размера диаметра сердцевины.

Рассчитывают максимальные уровни опасности для стандартных многомодовых волокон с диаметром сердцевины 50 мкм или 62,5 мкм и числовой апертурой 0,18, которые излучают непрерывный оптический сигнал с длиной волны 850 нм. Таким образом базовый промежуток времени, используемый для системы класса 1, составляет 100 с.

Для точечного источника, то есть когда угловой размер α на расстоянии r = 35 мм меньше, чем α_{min} = = 1,5 мрад, значение $P_{ПИДИ}$ указывают в соответствии с таблицей 3 IEC 60825-1:2014: $P_{ПИДИ}$ = 3,9 × 10^{-4} C_4 C_7 Вт, где $C_4 = 10^{0,002\ (\lambda\ -\ 700)}$ и C_7 являются поправочными коэффициентами для длины волны в таблице 9 IEC 60825-1:2014. В примере с диаметром сердцевины 50 мкм, который соответствует угловому размеру α = 1,43 мрад (< α_{min}), $P_{ПИДИ}$ вычисляют равным 0,78 мВт, где $C_4 = 10^{0,002\ (\lambda - 700)}$ = 2,00 и C_7 = 1,00.

Для протяженного источника, то есть когда α превышает α_{min} (и меньше α_{max} = 100 мрад), значение $P_{ПИДИ}$ указывают в соответствии с таблицей 4 IEC 60825-1:2014:

$P_{ПИДИ} = 7 \times 10^{-4}\ C_4\ C_6\ C_7\ T_2^{-0,25}$ Вт, где $C_6 = \alpha/\alpha_{min}$ и $T_2 = 10 \times 10^{(\alpha - \alpha min)/98,5}$ с также являются поправочными коэффициентами из таблицы 9 IEC 60825-1:2014. В примере с диаметром сердцевины 62,5 мкм, который соответствует угловому размеру α = 1,79 мрад (между α_{min} и α_{max}), $P_{ПИДИ}$ вычисляются равным 0,934 мВт, где $C_4 = 10^{0,002\ (\lambda - 700)} = 2,00$, $C_6 = \alpha/\alpha_{min} = 1,19$, $C_7 = 1,00$ и $T_2 = 10 \times 10^{(\alpha - \alpha min)/98,5} = 10,1$ с.

Таким образом в приведенных выше примерах мощность $P_{ПИДИ}$ не превышает верхнего предела в 96,2 мВт, определяемого ПДУ для кожи (см. 4.7.2 а).

Согласно таблице 4 измерение выполняют при r = 35 мм. Следовательно, d_{63} равен: $d_{63} \approx \frac{2r}{1,7} = \frac{2 \times 35\ мм \times 0,18}{1,7} = 7,41\ мм.$

Таким образом максимальную выходную мощность $P_{1,\,max}$ уровня опасности 1 получают путем вычисления: $P_{1,\,max} = \frac{P_{ПИДИ}}{\eta_1} = \frac{P_{ПИДИ}}{\left\{1 - \exp\left[-\left(\frac{3,5\ мм}{7,41\ мм}\right)^2\right]\right\}} = \frac{P_{ПИДИ}}{0,2}$ Вт.

Для сердцевины диаметром 50 мкм (точечный источник) и сердцевины диаметром 62,5 мкм (протяженный источник) значения $P_{1,max}$ рассчитывают как 3,89 мВт и 4,67 мВт соответственно.

ВОЛС присваивается уровень опасности 1М, когда уровень излучения, определенный в соответствии с таблицей 4, превышает ПИДИ класса 1 для условий 1 и 2 и меньше чем 500 мВт, что соответствует ПИДИ класса 3В, но уровень излучения, измеренный с помощью апертурного ограничителя диаметром 7 мм на расстоянии 100 мм от точечного источника, меньше или равен ПИДИ класса 1. Таким образом одиночное многомодовое волокно рассматривается как протяженный источник, когда диаметр сердцевины превышает 150 мкм, что соответствует угловому размеру α_{min} = 1,5 мрад с расстояния 100 мм, и как точечный источник в противном случае.

На расстоянии 100 мм угловые размеры α сердцевины 50 мкм и сердцевины 62,5 мкм рассчитаны как 0,5 мрад и 0,625 мрад соответственно, что ниже чем α_{min}. Таким образом $P_{ПИДИ}$ задается в соответствии с таблицей 3 IEC 60825-1:2014: $P_{ПИДИ} = 3,9 \times 10^{-4}\ C_4\ C_7$ Вт = 0,78 мВт.

Диаметр пучка на расстоянии измерения 100 мм равен $d_{63} \approx \frac{2rNA}{1,7} = \frac{2 \times 100\ мм \times 0,18}{1,7} = 21,2\ мм.$

Выходную мощность $P_{1M,max}$, соответствующую максимальному уровню опасности 1М, определяют долей полной излучаемой мощности, проходящей через измерительную апертуру:

$$P_{1M,max} = \frac{P_{ПИДИ}}{\eta_{1M}} = \frac{0,78\ мВт}{\left\{1 - \exp\left[-\left(\frac{7\ мм}{21,2\ мм}\right)^2\right]\right\}} = 7,52\ мВт.$$

Это значение меньше, чем ПИДИ класса 3В. Следовательно в данном примере, $P_{1M,\,max}$ = 7,52 мВт.

В случае непрерывного оптического излучения на длине волны 1270 нм максимальная выходная мощность $P_{1,\,max}$ уровня опасности 1 изменяется из-за увеличения C_7 следующим образом.

В этом примере угловые размеры α сердцевины 50 мкм и сердцевины 62,5 мкм составляют 1,43 мрад (< α_{min}) и 1,79 мрад (между α_{min} и α_{max}) соответственно; таким образом, применяются $P_{ПИДИ}$ точечного источника и (промежуточная) $P_{ПИДИ}$ протяженного источника соответственно. При применении длины волны и базового промежутка времени 100 с в соответствии с таблицами 3 и 4 IEC 60825-1:2014, $P_{ПИДИ}$ для точечного источника и протяженного источника задают как:

- $P_{ПИДИ} = 3,9 \times 10^{-4}\ C_4\ C_7 = 27,9$ мВт для точечного источника,
- $P_{ПИДИ} = 7 \times 10^{-4}\ C_4\ C_6\ C_7\ T_2^{-0,25} = 33,4$ мВт для протяженного источника,

где $C_4 = 5$, $C_6 = \alpha/\alpha_{min} = 1,19$, $C_7 = 8 + 10^{0,04\ (\lambda - 1\,250)} = 14,3$, $T_2 = 10 \times 10^{(\alpha - \alpha\ min)/98,5} = 10,1$ с.

Следовательно в этом примере $P_{ПИДИ}$ не превышает верхнего предела в 96,2 мВт, рассчитанного в D.4.1.1.

Для этой длины волны d_{63} составляет 7,41 мм. Таким образом максимальную выходную мощность $P_{1,max}$ уровня опасности 1 для сердцевины 50 мкм (точечный источник) и сердцевины 62,5 мкм (протяженный источник) получают как $P_{1,max} = \frac{P_{ПИДИ}}{\eta_1} = \frac{P_{ПИДИ}}{\left\{1 - \exp\left[-\left(\frac{3,5\ мм}{7,41\ мм}\right)^2\right]\right\}} = \frac{P_{ПИДИ}}{0,2}$ Вт, что составляет 140 мВт и 167 мВт соответственно.

Рассчитывают выходную мощность $P_{1M,max}$, соответствующую максимальному уровню опасности 1М.

В этом примере на расстоянии 100 мм угловые размеры α сердцевины 50 мкм и сердцевины 62,5 мкм рассчитаны как равные 0,5 мрад и 0,625 мрад соответственно, что ниже чем α_{min}.

Таким образом $P_{ПИДИ}$ приведена в соответствии с таблицей 3 IEC 60825-1:2014:

$P_{ПИДИ} = 3{,}9 \times 10^{-4}\ C_4\ C_7 = 27{,}9$ мВт.

Диаметр пучка на расстоянии 100 мм равен: $d_{63} \approx \frac{2rNA}{1{,}7} = \frac{2 \times 100\ \text{мм} \times 0{,}18}{1{,}7} = 21{,}2$ мм.

Выходную мощность $P_{1M,max}$, соответствующую максимальному уровню опасности 1М, определяют долей полной излучаемой мощности, проходящей через измерительную апертуру $P_{1M,max} = \frac{27{,}9\ \text{мВт}}{\left\{1 - \exp\left[-\left(\frac{7\text{мм}}{21{,}2\ \text{мм}}\right)^2\right]\right\}} = 270$ мВт.

Это значение меньше, чем ПИДИ класса 3В. Следовательно, в данном примере $P_{1M\ max}$ составляет 270 мВт.

D.4.1.3 Одномодовое волокно

Рассчитывают максимальные уровни опасности для одномодового волокна с диаметром модового поля 11 мкм, которое излучает непрерывный оптический сигнал на длине волны 1270 нм.

Применяя указанную длину волны и базовый промежуток времени, используемый для системы класса 1 и равный 100 с, в таблице 3 IEC 60825-1:2014: $P_{ПИДИ} = 3{,}9 \times 10^{-4}\ C_4\ C_7$ Вт, где $C_4 = 5$ и $C_7 = 8 + 10^{0{,}04\ (\lambda\ -\ 1\ 250)} = 14{,}3$ из таблицы 9 в IEC 60825-1:2014. Следовательно $P_{ПИДИ} = 27{,}9$ мВт, что не превышает верхнего предела в 96,2 мВт.

В этом примере измерение выполняют при $r = 35$ мм. Следовательно d_{63} равен

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2}r\lambda}{\pi\omega_0} = \frac{2\sqrt{2} \times 35\ \text{мм} \times 1270\ \text{нм}}{\pi \times 11\ \text{мкм}} = 3{,}64\ \text{мм}.$$

Таким образом максимальную выходную мощность $P_{1,\ max}$ уровня опасности 1 получают

$$P_{1,max} = \frac{P_{ПИДИ}}{\eta_1} = \frac{27{,}9\ \text{мВт}}{\left\{1 - \exp\left[-\left(\frac{3{,}5\ \text{мм}}{3{,}64\ \text{мм}}\right)^2\right]\right\}} = 46{,}2\ \text{мВт}.$$

Рассчитывают выходную мощность $P_{1M,max}$, соответствующую максимальному уровню опасности 1М.

В этом примере диаметр пучка на расстоянии измерения 100 мм равен

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2}r\lambda}{\pi\omega_0} = \frac{2\sqrt{2} \times 100\ \text{мм} \times 1270\ \text{нм}}{\pi \times 11\ \text{мкм}} = 10{,}4\ \text{мм}.$$

Выходную мощность $P_{1M,max}$, соответствующую максимальному уровню опасности 1М, определяют долей полной излучаемой мощности, проходящей через измерительную апертуру диаметром 7 мм

$$P_{1M,max} = \frac{P_{ПИДИ}}{\eta_{1M}} = \frac{27{,}9\ \text{мВт}}{\left\{1 - \exp\left[-\left(\frac{7\ \text{мм}}{10{,}4\ \text{мм}}\right)^2\right]\right\}} = 76{,}5\ \text{мВт}.$$

Это значение меньше, чем ПИДИ класса 3В. Следовательно, в данном примере $P_{1M\ ,max} = 76{,}5$ мВт.

В случае непрерывного оптического излучения на длине волны 1310 нм максимальная выходная мощность $P_{1,\ max}$ уровня опасности 1 увеличивается из-за зависимости C_7 от длины волны следующим образом.

При применении длины волны и базового промежутка времени 100 с в таблице 3 IEC 60825-1:2014 $P_{ПИДИ}$ рассчитывают следующим образом

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

где $C_4 = 5$ и $C_7 = 8 + 10^{0{,}04\ (\lambda\ -\ 1\ 250)} = 259{,}19$. Следовательно $P_{ПИДИ} = 505{,}4$ мВт. Полученный $P_{ПИДИ}$ превышает верхний предел, подлежащий замене на $P_{ПИДИ} = 96{,}2$ мВт.

Из условия 2, указанного в таблице 4, измерение выполняют при $r = 35$ мм. Следовательно

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2}r\lambda}{\pi\omega_0} = \frac{2\sqrt{2} \times 35\ \text{мм} \times 1310\ \text{нм}}{\pi \times 11\ \text{мкм}} = 3{,}75\ \text{мм}.$$

Таким образом максимальную выходную мощность $P_{1,\ max}$ уровня опасности 1 получают

$$P_{1,max} = \frac{P_{ПИДИ}}{\eta_1} = \frac{96{,}2\text{мВт}}{\left\{1 - \exp\left[-\left(\frac{3{,}5\text{мм}}{3{,}75\ \text{мм}}\right)^2\right]\right\}} = 165\ \text{мВт}.$$

Рассчитывают выходную мощность $P_{1M,max}$, соответствующую максимальному уровню опасности 1М.

Для этой длины волны диаметр пучка на расстоянии измерения 100 мм равен

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2}r\lambda}{\pi\omega_0} = \frac{2\sqrt{2} \times 100\ \text{мм} \times 1310\ \text{нм}}{\pi \times 11\ \text{мкм}} = 10{,}7\ \text{мм}.$$

Выходную мощность $P_{1M,max}$, соответствующую максимальному уровню опасности 1М, определяют долей полной излучаемой мощности, проходящей через измерительную апертуру

$$P_{1M,max} = \frac{P_{ПИДИ}}{\eta_{1M}} = \frac{96{,}2\ мВт}{\left\{1 - \exp\left[-\left(\frac{7\ мм}{10{,}7\ мм}\right)^2\right]\right\}} = 277\ мВт.$$

Это значение меньше, чем ПИДИ класса 3В. Таким образом, в данном примере максимальная выходная мощность уровня опасности 1М составляет 277 мВт.

D.4.2 Несколько длин волн по одному волокну

D.4.2.1 Общие положения

Когда по одному волокну передается более одной длины волны, например в системе мультиплексирования с разделением длин волн (WDM), уровень опасности зависит как от уровней мощности, так и от того, являются ли длины волн аддитивными. При воздействии на кожу длин волн, обычно используемых в ВОЛС, опасность всегда является аддитивной. Для большинства волоконных систем 1400 нм — это граница, при которой меняются условия аддитивности:

a) если обе длины волн ниже 1400 нм, опасности суммируются, т. е. совокупная опасность выше;

b) если обе длины волн превышают 1400 нм, опасности суммируются, т. е. совокупная опасность выше;

c) если одна длина волны выше 1400 нм, а другая ниже, то опасности не суммируются, т. е. совокупная опасность не увеличивается.

Опасность для кожи и сетчатки необходимо рассчитывать отдельно.

Чтобы рассчитать уровень опасности для системы с множеством длин волн, необходимо рассчитать мощность системы на каждой длине волны как долю ПИДИ для данного класса на этой длине волны (например, 25 %, 60 % и т. д., вплоть до 100 %), а затем сложить эти компоненты вместе. Если суммарная доля превышает 1 (100 %), то уровень опасности превышает предел интенсивности доступного излучения для данного класса. Эту процедуру также следует использовать при определении времени АПМ, используя таблицу ПДУ вместо таблиц ПИДИ.

D.4.2.2 Пример с множеством длин волн

Оптическая система передачи, использующая одномодовое волокно с диаметром модового поля 11 мкм, передает шесть оптических сигналов: на длинах волн 1270 нм, 1280 нм, 1290 нм, 1300 нм, 1310 нм и 1320 нм.

Каждый из этих сигналов имеет максимальную усредненную по времени мощность 10 дБм (10 мВт). Необходимо определить уровень опасности в месте установки передатчика.

При отсутствии какой-либо другой информации о продолжительности излучения передатчика при отсоединении коннектора предполагают, что система отключения не работает, а затем определяют уровень опасности на основе уровней мощности излучения, к которому есть доступ на коннекторе передатчика (отсоединение коннектора является обоснованно прогнозируемым событием).

Оценки на основе длительности излучения t = 100 с при непреднамеренном наблюдении в 4.3 e) IEC 60825-1:2014

В таблице 1 IEC 60825-1:2014 указано, что влияние всех длин волн является аддитивным. Следовательно оценку следует проводить на основе отношения эмиссии доступного излучения на каждой длине волны к ПИДИ для применимого класса на этой длине волны (см. 4.3 b) IEC 60825-1:2014).

Сначала сравнивают уровни излучения с ПИДИ для класса 1.

Поскольку есть точечный источник с диаметром модового поля 11 мкм, то угловой размер α источника меньше α_{min}, что соответствует C_6 = 1. Из таблицы 3 IEC 60825-1:2014: $P_{ПИДИ} = 3{,}9 \times 10^{-4}\ C_4\ C_7$ Вт, где C_4 = 5 для длин волн ≥ 1050 нм и $C_7 = 8 + 10^{0{,}04\ (\lambda\ -\ 1\ 250)}$ для длин волн ≥ 1 200 нм.

Следовательно для длин волн 1270 нм, 1280 нм, 1290 нм, 1300 нм, 1310 нм и 1320 нм, ПИДИ составляют 27,9 мВт, 46,5 мВт, 93,2 мВт, 96,2 мВт, 96,2 мВт и 96,2 мВт, соответственно, где ПИДИ для длин волн более 1290,4 нм ограничены 96,2 мВт значениями, полученными из ПДУ для кожи.

Технические характеристики измерений, приведенные в подразделе 5.4 IEC 60825-1:2014, требуют применения наиболее строгого условия, приведенного в таблице 4. Для расходящегося пучка из оптического волокна наиболее строгим условием является условие 2. Согласно таблице 4, диаметр апертуры составляет 3,5 мм, а расстояние измерения — 35 мм для температурных пределов.

Используя выражение для диаметра пучка на расстоянии r от оптического волокна, диаметр по уровню 63 % (1/e) для одномодового волокна с ω_0, который является диаметром модового поля, определенным по уровню интенсивности $1/e^2$, равен:

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2}r\lambda}{\pi\omega_0} = \frac{2\sqrt{2} \times 35\ мм \times 1310\ нм}{\pi \times 11\ мкм} = 3{,}75\ мм.$$

Таким образом эффективность сбора η_1 при прохождении через апертуру диаметром 3,5 мм вычисляют как

$$\eta_1 = 1 - \exp\left[-\left(\frac{3{,}5\ \text{мм}}{3{,}75\ \text{мм}}\right)^2\right] = 0{,}582.$$

Таким образом в этом случае 58,2 % мощности излучения будет собираться апертурой диаметром 3,5 мм на расстоянии 35 мм от торца одномодового волокна. И хотя эффективность сбора η_1 зависит от длины волны, ниже применяется наиболее консервативная эффективность сбора η_1, составляющая 60 % при длине волны 1 270 нм.

Суммирование соотношений соответствующей мощности сбора к соответствующим ПИДИ $P_{\text{ПИДИ},k}$ на каждой длине волны дает

$$\sum_k \left[\frac{(\text{Power})}{P_{\text{ПИДИ},k}}\right] = \frac{10\ \text{мВт} \times 0{,}6}{27{,}9\ \text{мВт}} + \frac{10\ \text{мВт} \times 0{,}6}{46{,}5\ \text{мВт}} + \frac{10\ \text{мВт} \times 0{,}6}{93{,}2\ \text{мВт}} + 3 \times \frac{10\ \text{мВт} \times 0{,}6}{96{,}2\ \text{мВт}} = 0{,}594.$$

Это соотношение меньше 1; таким образом интенсивность доступного излучения находится в пределах класса 1, и следовательно в этой зоне применяется уровень опасности 1.

D.4.3 Двунаправленная (полнодуплексная) передача

Каждое отдельное направление передачи не дает аддитивного эффекта, поскольку каждый сломанный конец оптоволоконного кабеля представляет отдельную опасность в случае разрыва волокна. Уровень опасности определяется направлением передачи с большей мощностью.

D.4.4 Автоматическое понижение мощности

D.4.4.1 Общие положения

При использовании функции автоматического понижения мощности в ВОЛС можно назначить более низкий уровень опасности, чем тот, который был бы при ее отсутствии. Это важно, когда уровень опасности внутренних оптических передатчиков/усилителей ВОЛС может накладывать ограничения на то, где эта линия может быть развернута. См. таблицу 5.

Автоматическое понижение мощности не должно заменять надлежащие методы работы и техническое обслуживание. Кроме того, при оценке уровня опасности следует учитывать надежность механизма АПМ.

Оценку уровня опасности необходимо проводить в момент обоснованно прогнозируемого доступа человека к излучению (например, после разрыва оптоволокна), если только измерение в более позднее время не приведет к большему облучению (см. 4.7.1 и 4.7.2).

АПМ не рассматривается как универсальная мера защиты, поскольку при разрыве волокна обычной практикой является использование оптической тестовой установки (обычно оптического рефлектометра во временной области, OTDR) для определения места разрыва. Этот прибор подает лазерное излучение по тестируемому волокну. Таким образом, даже если обычный телекоммуникационный передатчик выключен или извлечен, диагностический прибор может позже подать лазерное излучение в волокно.

Эти рефлектометры обычно работают в классе 1, поэтому потенциальная опасность для таких источников отсутствует.

Однако системы с более высокой мощностью имеют больший радиус действия и могут требовать рефлектометры класса 1M, класса 3R или класса 3B для обнаружения обрыва. Кроме того, сигналы рефлектометра могут быть усилены до более высокого класса, если они передаются через систему с оптическим усилением.

За исключением систем «под ключ», предназначенных для использования в неограниченных зонах, важно, чтобы специалист по лазерной безопасности или оператор ВОЛС определил для каждой зоны (или для всего участка сети) допустимый уровень опасности в соответствии с уровнем лазерной подготовки, предоставляемой их персоналу и другим лицам, которые могли бы получить доступ к их сети. Уровень опасности 1M или уровень опасности 3R часто выбирают потому, что работники могли быть проинструктированы не использовать какие-либо оптические (коллимирующие) приборы, которые увеличивали бы опасность, и, как правило, у них не было бы необходимости осматривать волокно с близкого расстояния. Уровень опасности 3B допустим в контролируемых зонах при надлежащей маркировке и состоянии коннекторов.

В подразделе D.4.4 рассматривается АПМ при нескольких обстоятельствах:

- в системах с оптическими усилителями;
- на легкодоступном волокне в лотке для сращивания;
- на волоконно-оптическом коннекторе;
- на волокне, доступ к которому затруднен в подводном/заглубленном кабеле;
- в ограниченных и неограниченных зонах;
- в случае ленточных кабелей.

Верхние предельные значения для типичных длин волн приведены в разделе D.3 и таблице D.1.

D.4.4.2 Оптические усилители

Оптические усилители обладают способностью генерировать значительные уровни оптической мощности. Значения мощности ≥ 500 мВт не являются редкостью. Это может привести к потенциальной опасности без использования защитных механизмов. По этой причине важно использовать подходящие средства для ограничения таких уровней мощности при обращении к усилителям для ремонта или технического обслуживания. Может потре-

боваться рассмотрение соответствующих механизмов, включая, но не ограничиваясь, АПМ для снижения уровня опасности и использование коннекторов со шторками.

D.4.4.3 АПМ для ВОЛС с распределенным оптическим усилением

АПМ для ВОЛС с распределенным оптическим усилением (например, на основе эффекта ВКР) требуется не только для основных источников сигнала, но также и для лазеров накачки. Для такой системы с распределенным оптическим усилением может потребоваться более быстрый отклик, чем для других систем (с меньшей мощностью), в зависимости от фактической мощности накачки в рассматриваемой системе ВКР-усиления.

D.4.4.4 Волокно в модуле сращивания

По мере увеличения мощности в ВОЛС важно, чтобы при операции сварки волокон, в которых потенциально присутствует излучение уровня опасности 3В, учитывалась безопасность оператора, и, в таких случаях следует использовать полностью закрытый аппарат для сварки. Если сварка не выполняется в защитном корпусе, то автоматическое понижение мощности — это вариант снижения уровня опасности и следовательно воздействия.

D.4.4.5 Системы с разъемными соединениями

Другой является ситуация, когда доступ к оптоволокну, в котором распространяется мощное излучение, может быть обоснованно спрогнозирован, когда в системе имеется одно или несколько волокон, отсоединенных от волоконно-оптического коннектора. Существует ряд решений для достижения более низкого уровня опасности при разъединении оптических разъемных соединений. Например, одним из механических решений, которое можно рассмотреть, является использование коннекторов со шторками. Такое решение при условии, что коннекторы отвечают требованиям по характеристикам надежности, описанным в D.5, обеспечивают контроль излучения от несоединенных коннекторов. Эти шторки должны срабатывать в течение 1 с в зонах с неограниченным доступом и 3 с в ограниченных и контролируемых зонах. Шторки могут оказаться непрактичными или нежелательными для контроля уровней оптической мощности, превышающих опасные уровни 1M, 2M или 3R. В этих ситуациях АПМ может быть единственным решением.

D.4.4.6 Подводный/заглубленный кабель для подводных ВОЛС

Некоторые подводные ВОЛС потенциально могут передавать значительные уровни оптической мощности. Как правило, повреждение оптоволоконного кабеля происходит на подводной части, а не на заглубленной наземной части. Поскольку оптоволоконный кабель находится под водой, для извлечения кабеля и его ремонта необходимо соответствующее транспортное судно, что может занять часы или дни. Поскольку АПМ может оказаться неуместным или непрактичным для этих линий, возможно потребуется использовать строгий административный контроль, включая процедуры ручного отключения лазеров. Это позволит убедиться, что надлежащие условия работы поддерживаются ниже уровня опасности 4, как указано в настоящем стандарте.

Ручное отключение ВОЛС при ремонте/техническом обслуживании в настоящее время является практикой многих операторов из-за опасного уровня линии электропитания, связанного с подводным кабелем. Эта линия используется для питания подводных усилителей вдоль маршрута. В будущем для систем без усилителей эта линия электропитания может больше не быть частью кабеля. Тем не менее рабочая практика по отключению оптического сигнала в оптоволокне перед извлечением должна быть продолжена из-за опасностей, связанных с соответствующей оптической мощностью.

D.4.4.7 АПМ для зон с ограниченным и неограниченным доступом

Проектировщикам ВОЛС необходимо знать об ограничениях, приведенных в 4.9, при рассмотрении зон с ограниченным и неограниченным доступом. Для этих зон проектировщикам следует рассмотреть возможность включения АПМ в любую систему, которая потенциально может подвергать людей воздействию оптической мощности класса 3В или выше. При проектировании системы отключения мощности следует принять соответствующие меры по обнаружению обрыва и обеспечению надежности.

D.4.4.8 АПМ для ленточных кабелей

Использование ленточных кабелей может привести к повышению уровня опасности для ВОЛС. Должна быть проведена тщательная оценка опасности, как описано в D.4.6, и должны быть оценены и внедрены соответствующие меры по АПМ, перекрытию излучения и сварным соединениям с учетом потенциально повышенного уровня опасности и расположения ВОЛС.

D.4.5 Множественные волокна

Опасность, связанная с пучками разорванного (т. е. несколотого) волокна в разорванном оптоволоконном кабеле, не превышает опасность, связанную с наихудшим случаем для волокна в этом кабеле. Это было показано значительным количеством измерений на концах разорванного волокна, учетом отражения и рассеяния на торцах волокон, а также случайного расположения и перемещения концов волокон.

Было показано, что эти измерения и рекомендации также применимы к разорванному ленточному волокну, но не к ленточному волокну, сколотому как единое целое (см. D.4.6).

D.4.6 Ленточный кабель

D.4.6.1 Общие положения

Торцы ленточного волокна, сколотого как единое целое, могут иметь более высокий уровень опасности, чем у отдельного волокна. Примером могут служить восемь волокон в ленте, каждое из которых имеет уровень мощности в пределах уровня опасности 1M. По отдельности они имеют относительно безопасный уровень опасности 1 M; однако, когда они сколоты вместе, уровень опасности может достигать 3В, что представляет реальную опасность

для глаз. Это объясняется небольшим расстоянием между центрами типичного ленточного волокна — 150 мкм до 250 мкм. Малый угловой размер нескольких равномерно расположенных волокон приводит к кумулятивному эффекту. При расчетном расстоянии 35 мм α одного одномодового волокна меньше, чем α_{min} для непрерывного излучения [α_{min} = 1,5 мрад, см. 4.3 c) IEC 60825-1:2014].

Угловой размер ленты в ее плоскости будет зависеть от количества волокон и расстояния между ними (например, восьмиволоконная лента с расстоянием между волокнами 200 мкм будет растягиваться на 21 мрад на расстоянии 35 мм для среднего значения α). Этот угловой размер превышает α_{min}, и лента должна рассматриваться как протяженный источник, и ПИДИ точечного источника может быть увеличен на коэффициент C_6. Любой угловой размер, который больше α_{max} (α_{max} = 100 мрад) или меньше α_{min} (1,5 мрад) перед определением среднего значения следует ограничить значением α_{max} или α_{min}, соответственно.

Полная мощность, допустимая в ленточном волокне, определяется наихудшей комбинацией любых отдельных волокон. Подробности см. в подразделе 4.3 d), правила классификации неоднородных, некруглых или множественных видимых источников, IEC 60825-1:2014.

D.4.6.2 Пример расчета для ленточного волокна

Ленточный кабель состоит из восьми одномодовых волокон с диаметром модового поля 11 мкм, расположенных на равном расстоянии друг от друга (по 200 мкм). Какова максимально допустимая выходная мощность при непрерывном излучении уровня опасности 1 на волокно для длин волн: a) 1310 нм и b) 1550 нм?

a) Оценка при длине волны 1310 нм

Оценки, которые должны быть проведены для каждого отдельного волокна или группы волокон, необходимы, чтобы убедиться, что источник не превышал ПИДИ для любого возможного углового размера α, под которым видна каждая частичная область, где $\alpha_{min} < \alpha \leq \alpha_{max}$. В таблице D.2 показано ПИДИ для каждой комбинации волокон, а также результирующая максимально допустимая мощность в пределах одного волокна комбинации. Здесь выходная мощность 1-го уровня опасности для одномодового волокна с диаметром модового поля 11 мкм получена из ПИДИ класса 1, равного 96,2 мВт, и составляет 165 мВт, принимая во внимание эффективность сбора 0,582 для одномодового волокна с диаметром модового поля 11 мкм. Любая комбинация волокон не является наихудшим вариантом из-за больших значений C_6 по сравнению с количеством волокон. Таким образом максимальная мощность для одного волокна ленты составляет 165 мВт, что соответствует случаю с одним волокном.

Таблица D.2 — Соотношение между количеством волокон в ленточном волокне и максимально допустимой мощностью (пример)

Комбинация (количество волокон)	1	2	3	4	5	6	7	8
C_6	1,0	2,51	4,41	6,32	8,22	10,1	12,0	13,9
T_2	10,0	10,5	11,3	12,1	12,9	13,8	14,7	15,7
ПИДИ, мВт	165	409	706	995	1273	1538	1797	2048
Результирующий предел на волокно, мВт	165	205	235	249	255	256	257	256

Результирующий предел на волокно

b) Оценка при 1550 нм

При 1550 нм преобладает опасность для роговицы глаза. Следовательно поправочный коэффициент C_6 отсутствует. Максимальная мощность на волокно — это просто соответствующая ПИДИ для одного источника, разделенная по количеству волокон, т. е. 10,2 мВт/8 = 1,28 мВт.

D.4.6.3 Проблемы с ленточным волокном

Таким образом аддитивное свойство опасности излучения, источником которого является ленточное волокно, означает, что уровень опасности зоны может зависеть от выбора типа кабеля. Например, нецелесообразно отключать важные системы жизнеобеспечения, если результирующий уровень опасности в зоне несовместим с типом зоны размещения. В результате потребуется решение для снижения опасности, если в этой оптоволоконной сети будут использоваться ленточные волокна.

Рекомендуется, чтобы решение было не слишком сложным. Поскольку разорванные волокна ленты не представляют собой проблемы, то необходимо рассматривать только операции скалывания и сварки. Разделенная лента, ничем не отличающаяся от обычного волокна, также не представляет проблемы.

Если доступ к неразделенному сколотому торцу волокна может быть надежно предотвращен, уровень опасности можно не увеличивать, поскольку он определяется пределами интенсивности доступного излучения. Любой метод должен предотвращать доступ персонала к излучению при обоснованно прогнозируемых условиях (т. е. не просто инструкция «не смотреть»!). Для предотвращения доступа к излучению может быть использован инструмент для скалывания, который остается прикрепленным к сколотому торцу волокна до тех пор, пока оно не будет вставлено в ленточный сварочный аппарат, что также препятствует доступу к сколотому торцу в течение всей операции.

Если в сети использовано ленточное волокно, то будет трудно контролировать, какой на нем используется тип системы связи.

D.4.7 Уменьшение мощности из-за разветвителей мощности и потерь в оптоволокне

Это уменьшение мощности может быть принято во внимание; например, на стороне потребителя распределительной сети уровень опасности после некоторого отрезка оптоволокна может быть ниже, чем в точке распределения.

На рисунке D.1 показана схема типичной пассивной оптической сети (PON).

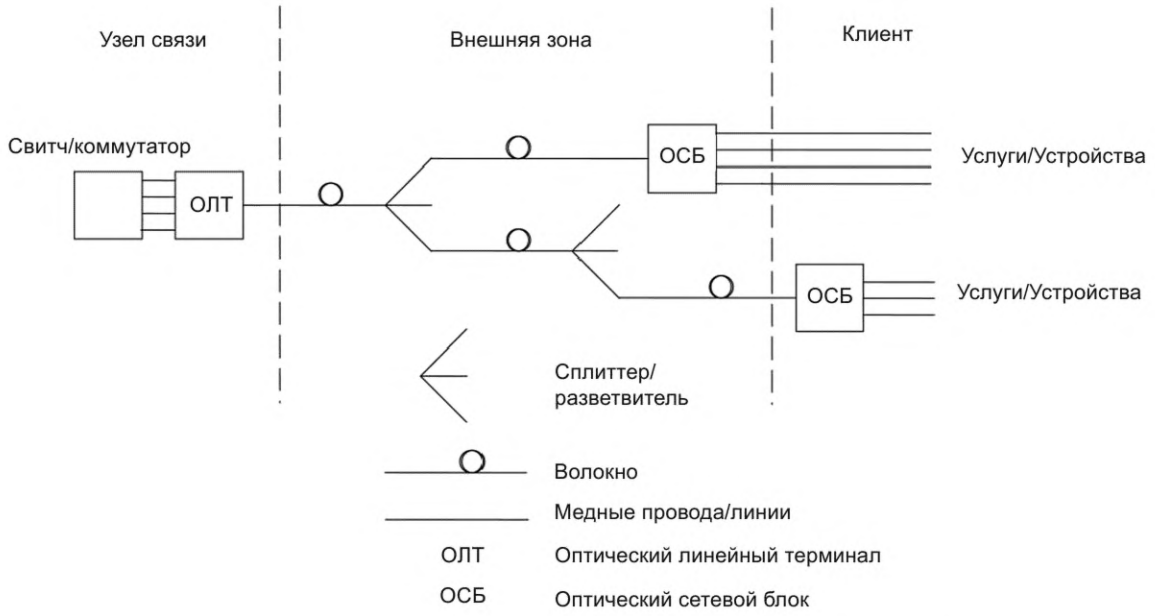

Рисунок D.1 — Система на базе PON (пассивной оптической сети)

D.4.8 Общие рекомендации и примеры

a) При оценке уровней опасности всегда следует учитывать обоснованно прогнозируемые условия неисправности (см. 4.7.3), возникающие в результате случайных отказов в аппаратных компонентах и систематических отказов (например, сбой программного обеспечения, управляющего функцией АПМ). Следовательно, может возникнуть необходимость включить нескольких условий неисправности: ответственная организация определяет вероятность возникновения таких условий.

Примечание — В то время как IEC 60825-1 относится к условиям единичных отказов, обоснованно предположить, что сочетание более одной неисправности может привести к возникновению опасной ситуации.

b) Во время технического обслуживания возможно повышение уровня опасности (см. 4.8.5). Ответственные организация и лица должны учитывать это. Примерами являются: подача мощных или усиленных импульсов излучения оптического рефлектометра в работающую оптоволоконную сеть; сбой или понижение приоритета АПМ [4.6.1 b), перечисление 5)].

c) Изменение компонентов, системных параметров или структуры сети может привести к изменению уровней опасности. Примерами являются: замена обычных волоконно-оптических кабелей на ленточные кабели (это может произойти вне непосредственного контроля менеджера сети); изменение схемы модуляции; изменение мощности или длины волны в блоке схем передатчика; добавление/замена оптических усилителей и т. д.

D.5 Анализ неисправностей — Объяснение и рекомендации

D.5.1 Общие положения

Анализ неисправностей необходим для систем, в которых оптический выход зависит от целостности других компонентов и характеристик электрических схем. Рекомендуется выполнение анализа неисправности изготовителем или эксплуатирующей организацией.

Уровни опасности оцениваются при обоснованно прогнозируемых условиях неисправности. Целью анализа неисправностей является выявление сбоев в оптических схемах управления, которые могут иметь значительные последствия, влияющие на присвоенный уровень опасности. Например, в зонах с уровнем опасности 1М при нормальных условиях эксплуатации разрешается использовать лазеры с уровнем оптической мощности, превышающим верхний предел уровня опасности 1М, если предусмотрена соответствующая функция АПМ. Однако в случае

обрыва волокна мощность доступного излучения должна быть понижена так, чтобы находиться в пределах уровня опасности 1М. Однако если неисправность в компоненте схемы управления лазером или в АПМ приведет к излучению, превышающему пределы для уровня опасности 1М, тогда потребуется присвоить более высокий уровень опасности.

Функция АПМ может включать как аппаратные, так и программные компоненты: оба компонента следует учитывать при определении надежности функции АПМ.

Ни одна ВОЛС не является на 100 % отказоустойчивой, поскольку всегда существует ненулевая вероятность возникновения отказов. Для количественной оценки риска воздействия опасного излучения в ВОЛС необходимо проводить анализ неисправностей с использованием общепризнанных методов.

D.5.2 Общеиспользуемые методы анализа неисправностей

Обычно используемыми методами анализа неисправностей являются:

- моделирование тех неисправностей, которые можно было бы ожидать в обоснованно прогнозируемых условиях;
- анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA, см. IEC 60812 [10]);
- анализ последствий (см. серию IEC 61508 [8]).

D.5.3 Анализ видов, последствий и критичности отказов

Если выбранным методом анализа неисправностей является анализ видов, последствий и критичности отказов, то вероятность превышения пределов интенсивности доступного излучения (при обоснованно прогнозируемых обстоятельствах) для целевого уровня опасности не должна превышать 500 FIT. Изготовитель или оператор должны провести анализ неисправностей.

Примечание — Исходя из 500 FIT и предполагаемого количества времени, в течение которого инженер работает с действующими волокнами в течение всего срока службы, частота инцидентов, связанных с риском получения травмы глаза, составляет менее пяти FITs. (FIT — это количество опасных инцидентов за 10^9 ч. Например, в Великобритании руководство по охране труда считает, что профессиональный риск несчастных случаев, составляющий менее 5,43 FIT, является незначительным.)

Следующие шаги являются типичной процедурой анализа видов, последствий и критичности отказов (FMECA):

- Шаг 1: идентификация критических компонентов;
- Шаг 2: идентификация видов отказа компонентов;
- Шаг 3: определение бета-значений (бета-значения зависят от критичности режима отказа);
- Шаг 4: определение частоты отказов.

D.5.4 Анализ последствий

Серия IEC 61508 [8] является одним из примеров подхода, основанного на стандартах, который может быть использован для количественной оценки надежности систем безопасности с автоматическим понижением мощности (АПМ).

Типичная процедура следующая:

- Шаг 1: оценка последствий;
- Шаг 2: оценка частоты;
- Шаг 3: оценка возможности избежать опасности;
- Шаг 4: оценка вероятности возникновения опасного события без каких-либо систем, связанных с безопасностью;
- Шаг 5: отображение на графике;
- Шаг 6: определение надежности системы;
- Шаг 7: снижение риска от оценки последствий систематических сбоев;
- Шаг 8: определение частоты отказов.

Если рассматривать случайные отказы оборудования, то уровень полноты безопасности (SIL) или вероятность отказа системы автоматического понижения мощности определяют коэффициент готовности АПМ. Если АПМ постоянно контролируется с помощью аварийных сигналов, предупреждающих о неисправности АПМ, или периодически тестируется, эта готовность определяется как надежностью оборудования АПМ, так и временем ремонта оператора (среднее время исправления или MTTR) в случае сбоя АПМ. Надежность оборудования часто выражается через частоту (скорость) отказов в единицах FIT (количество отказов за 10^9 ч).

Поддержание надежности системы АПМ — это непрерывный процесс, который зависит от ответственного использования и технического обслуживания этих систем. Если АПМ функционирует с очень низкой частотой отказов, то техническое обслуживание функции АПМ не требуется, если изделие выведено из эксплуатации в течение указанного срока службы функции АПМ. Для всех других систем коэффициент готовности АПМ и следовательно частота отказа системы зависят от возможности обнаружения любой неисправности АПМ и предупреждения оператора в разумные сроки о необходимости ремонта, а также от способности оператора реагировать на любые сигналы тревоги, которые могли бы указывать на сбой в АПМ.

Поскольку изготовители оборудования не контролируют техническое обслуживание своих систем, то может быть полезно предположить конкретные скорости отказа, а не комбинацию уровней полноты безопасности и сред-

него времени ремонта. Изготовители скорее всего поставляют системы АПМ, которые либо 1) проходят частые или непрерывные диагностические испытания (отбраковки), либо 2) не тестируются и не контролируются. Для непрерывного диагностического тестирования, мониторинга и оповещения о тревоге сбой в ВОЛС вероятно будет устранен в течение одного дня, поэтому MTTR составляет 24 ч. ВОЛС, которые не тестируются на системы, связанные с безопасностью, могут работать без присмотра в течение длительного времени, но эти ВОЛС вероятно будут модернизированы, отремонтированы, тестированы или заменены через каждые два года. Таким образом MTTR иногда можно считать равным 10^4 ч, что составляет порядка одного года.

С помощью этой информации теперь можно определить частоту отказов. В качестве примера рассматривают ВОЛС, работающую на длине волны 1550 нм, где оптическая мощность при нормальной работе (отсутствуют обнаруженные неисправности) превышает класс 1M, но находится ниже верхнего предела класса 3B. Предположим, что требуется обеспечить работу ВОЛС в зоне с неограниченным доступом. Для этого необходимо ограничить излучение, доступное при обоснованно прогнозируемых неисправностях уровнем опасности 1, и, учитывая класс лазерного излучателя, необходима система АПМ. Тогда максимально допустимое значение частоты отказа должно быть принято равным верхнему ограничению уровня SIL 1 системы. Путем детального расчета можно вывести, что минимальное требование (т. е. максимально допустимая частота отказа) будет составлять 4×10^6 FIT для системы с непрерывной диагностикой и MTTR в течение 24 ч, 10^4 FIT для системы с MTTR в течение одного года и 500 FIT для системы без непрерывной диагностики.

Спецификации частоты отказов могут быть аналогичным образом определены для других уровней риска последствий (см. серию IEC 61508 [8]).

D.6 Рекомендуемые методы работы

D.6.1 Общие методы работы

Следующие методы работы могут рассматриваться как примеры надлежащей практики и рекомендуются при работе с ВОЛС. Различные методы работы могут применяться в различных обстоятельствах.

a) Осмотр волокна:

Не следует смотреть невооруженным глазом или с помощью каких-либо непредусмотренных оптических инструментов на концы оптоволокна или торцы коннекторов и направлять их на других людей.

b) Средства осмотра:

Необходимо использовать только предусмотренные для этих целей средства наблюдения с фильтром или ослаблением.

c) Торцы оптоволокна (одиночные или множественные):

Если обнаружено, что один или несколько торцов волокон не оконцованы (к примеру, не состыкованы или не сварены), то они должны быть по отдельности или вместе закрыты материалом, соответствующим длине волны и мощности, если они не в работе. Они не должны быть хорошо видны, а острые концы не должны быть выставлены. Подходящие методы покрытия включают использование средства для защиты сварок или ленты. Всегда следует прикреплять торцевые заглушки к открытым коннекторам.

d) Ленточные волокна:

Не стоит скалывать ленточные волокна целиком и использовать устройства для сращивания лент, если это не разрешено.

e) Тестовые шнуры:

При использовании оптических тестовых шнуров источник оптического излучения следует подключать последним и отсоединять первым.

f) Отрезки оптоволокна:

Следует собирать все отрезки оптоволокна и утилизировать их в специализированный контейнер. Сам контейнер следует утилизировать предусмотренным для этого способом.

g) Техническое обслуживание:

Необходимо соблюдать только утвержденные инструкции по эксплуатации и техническому обслуживанию ВОЛС, находящейся в работе.

h) Очистка:

Следует использовать только утвержденные методы очистки и подготовки оптических волокон и оптических коннекторов.

i) Изменения:

Не следует вносить никакие несанкционированные модификации в какие-либо ВОЛС или связанное с ними оборудование.

j) Платы расширения:

Платы расширения не должны использоваться на картах оптических передатчиков. Не следует подавать питание на оптические источники, если они находятся вне стоек передатчиков.

k) Повреждение маркировки:

Необходимо сообщить о повреждении или отсутствии маркировки оптической безопасности руководству.

l) Управление ключом:

Для оборудования, управляемого ключом, ключи должны находиться под контролем лица, назначенного руководством, которое должно обеспечить их безопасное использование, хранение и общий контроль. Запасные ключи должны храниться под строгим контролем назначенного вышестоящего руководителя.

m) Испытательное оборудование:

Следует использовать испытательное оборудование самого низкого класса, необходимого и практичного для выполнения задачи. Не стоит использовать испытательное оборудование более высокого класса, чем уровень опасности зоны размещения.

n) Знаки:

Необходимо размещать предупреждающие знаки о зонах, уровень опасности которых превышает 1М. Предупреждающие знаки могут быть установлены в зонах с более низким уровнем опасности.

o) Аварийные сигналы:

На системные сигналы тревоги, особенно те, которые указывают на неработоспособность АПМ или любой другой системы безопасности, следует реагировать таким образом, чтобы провести ремонт в течение заданного промежутка времени.

D.6.2 Практические методы работы для уровней опасности 1, 1М, 2, 2М и 3R

При обращении с работающими (введенными в эксплуатацию) ВОЛС (например, когда оптические сигналы передаются по волокну ВОЛС) следует использовать методы работы, перечисленные в D.6.1.

D.6.3 Методы работы для уровня опасности 3В

Не рекомендуется работать с необесточенной ВОЛС в зонах, где установлен уровень опасности 3В.

Ответственные и адекватные программы безопасности и обучения использованию ВОЛС должны разрабатываться и поддерживаться руководством. Персонал, занятый установкой и обслуживанием ВОЛС, должен соблюдать все правила и сообщать руководству о любых потенциально опасных условиях или аномальном воздействии оптического излучения. Если работа с необесточенными ВОЛС, находящимися в зонах с уровнем опасности 3В, запрещена (как описано выше), то следует использовать следующие методы работы:

- Все общие методы, определенные в D.6.1.
- Оборудование, генерирующее оптическое излучение, должно быть обесточено, тем самым обесточивая ВОЛС (как подробно описано в D.6.4).
- Необходимо проверить отсутствие оптической мощности в волокне, используя подходящий измеритель мощности оптического излучения, который выдерживает максимальную мощность, передаваемую в системе, без повреждений.
- Следует закрывать концы всех открытых волокон, с которыми не проводится работа. Всегда необходимо следить за тем, чтобы несоединенные коннекторы были надлежащим образом ослаблены, используя встроенный механизм закрывания коннектора или торцевую заглушку.
- Необходимо использовать только средства непрямого просмотра (например, сварочные аппараты с телевизионным или теневым изображением). Не стоит использовать микроскопы или лупы для глаз без разрешения.
- При использовании оптических тестовых шнуров источник оптического излучения следует подключать последним и отключать первым.

D.6.4 Официальная процедура отключения и повторного включения питания для уровня опасности 3В

При отключении питания ВОЛС (если работа с необесточенными системами запрещена) следует применять следующую процедуру.

a) Специалист, назначенный для работы с источником оптического излучения, должен:

- пройти соответствующую подготовку по типу оборудования, которое необходимо включать и выключать;
- быть ознакомлен с инструкциями и требованиями безопасности, относящимися к предыдущему пункту, а также с любыми дополнительными местными инструкциями и обстоятельствами;
- ответственно относиться к технике безопасности.

b) Указанные специалисты должны назначаться непосредственным руководством и должны быть уведомлены об их назначении.

c) Список назначенных лиц на каждом объекте должен быть записан и размещен на видном месте.

d) Перед началом работ лицо, уполномоченное на выполнение работ (инициатор), должно:

- связаться с назначенным лицом у источников оптического излучения соответствующих волокон и попросить отключить их питание;
- в дуплексных системах связаться с назначенным лицом на каждом конце;
- получив сообщение о том, что питание отключено, заполнить необходимые формы, которые должны храниться у инициатора. Эти формы заполнять не обязательно, если инициатор и назначенное лицо — одно и то же лицо;
- убедиться (с помощью тестера оптоволокна или измерителя мощности оптического излучения), что мощность отсутствует;
- по завершении работ сообщить об этом назначенному специалисту соответствующего источника(ов) оптического излучения.

е) При получении запроса от инициатора на отключение питания источника оптического излучения назначенное лицо должно:

- записать время и дату запроса и данные отправителя. Формы должны храниться в файле по месту нахождения источника оптического излучения;
- выключить соответствующий источник питания (с помощью ключа (клавиши) управления, если он установлен);
- заполнить предупреждающую табличку и прикрепить ее к соответствующему оборудованию станции в месте отключения, например, к стойке для оборудования, распределительной панели; этикетка должна быть прикреплена для каждого отправителя;
- связаться с инициатором и сообщить ему или ей номер задания и время, когда источник был отключен;
- получив информацию о том, что работа завершена, соответствующим образом записать детали и снять предупреждающую табличку с оборудования, прежде чем снова включать источник. Если более чем одному инициатору требуется отключить один и тот же источник питания, его не следует повторно включать до завершения всех работ.

D.7 Максимальная выходная мощность во время отключения

В таблице D.3 указана максимальная выходная мощность (мВт) в течение времени отключения для одномодовых ВОЛС, которые отключаются до пределов более низкого уровня опасности за 1 с для зон с неограниченным доступом и за 3 с для зон с ограниченным доступом и контролируемых зон (см. 4.7.2). Технические требования, изложенные в таблице 5, должны применяться в соответствии с этим более низким уровнем опасности.

Для получения таблицы D.3 использована формула

$$НБРГ = \frac{\omega_0 \pi d}{2\sqrt{2\lambda}} \times \frac{1}{\sqrt{\ln\left(\frac{P}{P - \frac{\pi d^2 ПДУ}{4t}}\right)}}. \quad (D.8)$$

Альтернативной формулой является

$$P = \frac{\pi d^2 ПДУ}{4t} \times \frac{1}{1 - \exp\left[-0{,}125\left(\frac{\pi \omega_0 d}{\lambda НБРГ}\right)^2\right]}, \quad (D.9)$$

где ω_0 — диаметр модового поля (ДМП) (по уровню интенсивности $1/e^2$), м;

P — полная мощность излучения в волокне, Вт;

d — диаметр ограничивающей апертуры, м;

ПДУ — значение ПДУ, Дж·м$^{-2}$;

НБРГ — номинальное безопасное расстояние для глаз, м;

t — время отключения, *с*;

λ — длина волны, м.

Таблица D.3 — Примеры ограничений мощности для ВОЛС, имеющих автоматическое понижение мощности для уменьшения излучения до более низкого уровня опасности

Длина волны, нм	Диаметр модового поля (ДМП), мкм	Максимальная выходная мощность в зонах с неограниченным доступом, мВт	Максимальная выходная мощность в зонах с ограниченным доступом, мВт	Максимальная выходная мощность в зонах с контролируемым доступом, мВт	Время выключения, с	Расстояние измерения, м
980	7	9,4	9,4	—	1	0,1
980	7	—	7,2	—	3	0,1
980	7	—	—	3,9	3	0,25
1310	11	2587	2587	—	1	0,1
1310	11	—	1966	—	3	0,1
1310	11	—	—	10347	3	0,25
от 1400 до 1500	11	1598	1598	—	0,3	0,1

Окончание таблицы D.3

Длина волны, нм	Диаметр модового поля (ДМП), мкм	Максимальная выходная мощность в зонах с неограниченным доступом, мВт	Максимальная выходная мощность в зонах с ограниченным доступом, мВт	Максимальная выходная мощность в зонах с контролируемым доступом, мВт	Время выключения, с	Расстояние измерения, м
от 1400 до 1500	11	650	650	—	1	0,1
от 1400 до 1500	11	—	389	—	2	0,1
от 1400 до 1500	11	—	288	—	3	0,1
от 1400 до 1500	11	—	—	2403	2	0,25
от 1400 до 1500	11	—	—	1774	3	0,25
1550	11	2539	2539	—	0,5	0,1
1550	11	1273	1273	—	1	0,1
1550	11	—	639	—	2	0,1
1550	11	—	428	—	3	0,1
1550	11	—	N/A	2640	3	0,25

Примечание 1 — Используемые параметры волокна соответствуют наиболее консервативному случаю. Приведенные значения для λ = 1310 нм — 1550 нм рассчитаны для волокна с диаметром модового поля 11 мкм, а для λ = 980 нм — с диаметром модового поля 7 мкм.

Многие ВОЛС, работающие на длине волны 1550 нм с использованием эрбиевых волоконно-оптических усилителей (EDFA), накачиваемых лазерами с длиной волны 1480 нм или 980 нм, используют передающие волокна с диаметром модового поля меньшего размера. Например, оптоволоконные кабели со смещением дисперсии в область 1550 нм имеют верхние предельные значения диаметров модового поля, равные 9,1 мкм. В этом случае максимальная выходная мощность для неограниченных и ограниченных зон при 1480 нм и 1550 нм в 1,44 раза превышают значения в таблице D.3, а значения для контролируемых зон при 1480 нм и 1550 нм в 1,46 раза превышают значения в той же таблице.

Примечание 2 — Приведенные в таблице времена являются примерами. Показанное время отключения меньше максимального. Более короткое время отключения позволяет использовать более высокие мощности. Максимальное время составляет 1 с для неограниченных зон и 3 с для ограниченных и контролируемых зон соответственно.

Примечание 3 — Высокая плотность мощности в оптоволоконном кабеле может вызвать оптический пробой волокна ([12], [13]), что приводит к высокой температуре вдоль оптоволоконного кабеля (см. 4.5.1 IEC TR 60825-17:2015 [14] и IEC TR 61292-4 [15]).

Приложение Е
(справочное)

Руководство по техническому обслуживанию

Е.1 Испытания и измерения

a) Испытания, измерения и операции в кабельных каналах и коммутационных центрах следует рассматривать как операции по техническому обслуживанию. Везде, где это возможно, диагностические тесты следует проводить таким образом, чтобы не повышать уровень опасности в любом месте. При необходимости используют административный контроль, который может включать в себя допуск к работе с системой. При подключении испытательного оборудования следует уделять должное внимание установлению фактических уровней мощности, введенных в систему при оценке опасности.

b) Эксплуатирующая организация должна разработать и поддерживать четко определенные условия, при которых функция автоматического понижения мощности может быть отключена. Если функция автоматического понижения мощности была отключена, эксплуатирующая организация должна повторно оценить уровень опасности. Меры безопасности, описанные в 4.8, должны приниматься в соответствии с пересмотренным уровнем опасности.

c) Любые оптические приборы для исследования волокон и их сращивания должны быть выбраны таким образом, чтобы они уменьшали облучение ниже соответствующего значения ПДУ, и должны быть одобрены для использования эксплуатирующей организацией.

Примечание 1 — Маркировка одобренных для использования оптических приборов этикеткой эксплуатирующей организации часто является приемлемым решением.

Примечание 2 — Эффективным вариантом является видеомикроскоп, позволяющий избежать непосредственного наблюдения.

d) Везде, где это разумно осуществимо, техническое обслуживание и ремонт следует проводить без передачи излучения по оптоволокну. Там, где это разумно неосуществимо, система должна работать на минимальной мощности, соответствующей функциональным потребностям.

e) Эксплуатирующая организация должна внедрить методы работы, предотвращающие воздействие на человека излучения, превышающего ПДУ для глаз и/или кожи, в течение применимого периода времени.

Е.2 Техника безопасности

Е.2.1 Общие рекомендации

a) В зонах, где во время технического обслуживания можно получить доступ к оптическому или лазерному излучению, превышающему ПДУ (например, во время переключения, в контролируемых зонах), следует обеспечить соответствующую защиту глаз. Лица, имеющие доступ к любому концу оптоволокна или коннектору, испускающему излучение, должны быть проинструктированы не рассматривать их напрямую. При любых обстоятельствах следует использовать только те средства наблюдения, которые обеспечивают соответствующий уровень ослабления.

b) Перед началом работы с любым волоконно-оптическим кабелем или системой конечный пользователь должен проверить уровень опасности в доступных зонах. В случае установленных и активированных систем уровень опасности должен быть обозначен в доступных зонах предупреждающими надписями. Также должны приниматься меры, соответствующие уровню опасности, для систем, о которых известно, что они работают или могут начать работать. Возможно, что во время установки системы маркировка уровня опасности (в соответствии с настоящим стандартом) еще не была нанесена. При отсутствии такой маркировки следует принимать меры безопасности, соответствующие классификации (в соответствии с IEC 60825-1) любых передающих устройств или испытательного оборудования, содержащих оптические источники, подключенные к оптоволокну.

c) Во время монтажа или тестирования оптоволоконного кабеля или сети следует использовать только испытательное оборудование с соответствующим оптическим выходом, оцененным по уровню опасности 1, 1M, 2 или 2M в соответствии с настоящим стандартом или имеющим класс 1, 1M, 2 или 2M в соответствии с IEC 60825-1:2014.

Для ВОЛС, расположенных в зонах с ограниченным доступом или контролируемых зонах, разрешается использовать испытательное оборудование с более высокой выходной оптической мощностью при условии, что доступные концы оптоволокна и коннекторы во всех местах закреплены и маркированы соответствующим уровнем опасности до начала тестирования.

d) Пункты въезда в контролируемые зоны с уровнем опасности 3B должны иметь:

- знак с предупреждающей надписью в соответствии с рисунком 3 IEC 60825-1:2014 и пояснительной надписью на рисунке 4 IEC 60825-1:2014 со словами «Уровень опасности 3B»;
- знак, ограничивающий доступ только уполномоченным лицам и объясняющий наличие потенциальной опасности.

e) Каждый человек, занятый эксплуатацией, установкой или обслуживанием ВОЛС, должен:

- соблюдать все правила, процедуры и практические приемы, установленные для безопасной эксплуатации ВОЛС;

- немедленно уведомлять руководителя об условиях или практике, которые потенциально могут привести к травмам персонала или повреждению имущества;

- немедленно сообщать руководителю о любом известном или предполагаемом аномальном воздействии оптического излучения.

Е.2.2 Меры безопасности в зонах с уровнями опасности 1М, 2М, 3R и 3В

a) По возможности оптическое передающее или испытательное оборудование должно быть выключено, переведено в режим пониженного энергопотребления или отсоединено перед выполнением любых работ с открытыми волокнами, коннекторами и т. д. В этом случае непреднамеренное включение должно быть предотвращено с помощью дистанционно управляемого выключателя или другим подходящим способом. Должно быть четко указано состояние системы (включено или выключено питание).

b) К работе с ВОЛС в зонах с уровнем опасности 3В следует допускать только персонал, прошедший курс обучения по технике безопасности работы с волокном.

c) Персонал, устанавливающий, эксплуатирующий или обслуживающий ВОЛС и любое связанное с ними испытательное оборудование в зонах с уровнем опасности 3В, должен обеспечить надлежащую защиту лиц, находящихся поблизости.

d) В точках с высокими потерями в системе возможны высокие температуры, когда в волокно подается чрезвычайно высокая мощность (от сотен милливатт до нескольких ватт).

Примечание — Примером такой системы является система, использующая технологию распределенного усиления на основе эффекта ВКР. Высокая температура может привести к опасным ситуациям в оборудовании и офисах. Поэтому в системах, которые обычно передают чрезвычайно высокую мощность, коннекторы следует чистить очень тщательно, чтобы максимально снизить потери, вызванные коннекторами, сварками или изгибом в любой точке. См. также IEC TR 60825-17 [14].

Е.2.3 Программа обучения

Работодатель персонала, устанавливающего или обслуживающего ВОЛС, должен разработать и поддерживать в рабочем состоянии адекватную программу контроля опасностей, связанных с волоконно-оптической связью.

Для персонала, работающего с волоконно-оптическими системами связи с уровнем опасности 3В, следует разработать программы безопасности и обучения. Такими программами должны руководить лица, компетентные в области безопасности лазеров и ВОЛС.

Программы должны содержать как минимум:

- справочную информацию по ВОЛС и

- информацию по безопасности, касающуюся схемы классификации лазерных изделий в соответствии с IEC 60825-1 и схему уровней опасности в соответствии с настоящим стандартом.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочного международного стандарта ссылочному межгосударственному стандарту

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение ссылочного межгосударственного стандарта
IEC 60825-1:2014	IDT	ГОСТ IEC 60825-1—2023 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования и требования»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта: - IDT — идентичный стандарт.		

Библиография

[1]	ITU-T Recommendation G.664	Optical safety procedures and requirements for optical transport systems (Процедуры оптической безопасности и требования к оптическим транспортным системам)
[2]	IEC TS 62538	Categorization of optical devices (Классификация оптических устройств)
[3]	IEC 60794-4 (all parts)	Optical fibre cables — Part 4: Aerial optical cables along electrical power lines [Волоконно-оптические кабели — Часть 4. Воздушные оптические кабели вдоль линий электропередачи (все части)]
[4]	IEC 60794-2 (all parts)	Optical fibre cables — Part 2: Indoor cables [Волоконно-оптические кабели — Часть 2. Внутренние кабели (все части)]
[5]	IEC 60794-3 (all parts)	Optical fibre cables — Part 3: Outdoor cables [Волоконно-оптические кабели — Часть 3. Наружные кабели (все части)]
[6]	IEC 60950-1:2005	Information technology equipment — Safety — Part 1: General requirements (Информационное технологическое оборудование — Безопасность — Часть 1. Общие требования)
[7]	IEC 62368-1	Audio/video, information and communication technology equipment — Part 1: Safety requirements (Оборудование для аудио/видео, информационных и коммуникационных технологий — Часть 1. Требования безопасности)
[8]	IEC 61508 (all parts)	Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems [Функциональная безопасность электрических/электронных/программируемых электронных систем, связанных с безопасностью (все части)]
[9]	IEC TR 60825-14	Safety of laser products — Part 14: A user's guide (Безопасность лазерных изделий — Часть 14. Руководство пользователя)
[10]	IEC 60812	Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA) (Анализ видов и последствий отказов (FMEA и FMECA)
[11]	IEC 60825-12	Safety of laser products — Part 12: Safety of free space optical communication systems used for transmission of information (Безопасность лазерных изделий — Часть 12. Безопасность оптических систем связи в свободном пространстве, используемых для передачи информации)
[12]		SEO K., NISHIMURA N., SHIINO M., YUGUCHI R. and SASAKI H. Evaluation of high power endurance in optical fibre links: Furukawa Review, 2003, no. 24, pp. 17—22 (СЕО К., НИСИМУРА Н., ШИИНО М., ЮГУЧИ Р. и САСАКИ Х. Оценка долговечности волоконно-оптических линий связи: Обзор Фурукавы, 2003, № 24, с. 17—22)
[13]		ROCHA A.M., DOMINGUES F., FACAO M. and ANDRE P.S. Threshold power of fiber fuse effect for different types of optical fiber: Proc. ICTON 2011. Tu.P.13 (РОША А. М., ДОМИНГЕС Ф., ФЕЙС М. и АНДРЕ П. С. Пороговая мощность эффекта оптического пробоя для различных типов оптических волокон: Pro. ICON 2011. С.13)
[14]	IEC TR 60825-17	Safety of laser products — Part 17: Safety aspects for use of passive optical components and optical cables in high power optical fibre communication systems (Безопасность лазерных изделий — Часть 17. Аспекты безопасности при использовании пассивных оптических компонентов и оптических кабелей в мощных волоконно-оптических системах связи)
[15]	IEC TR 61292-4	Optical amplifiers — Part 4: Maximum permissible optical power for the damage-free and safe use of optical amplifiers, including Raman amplifiers (Оптические усилители — Часть 4. Максимально допустимая мощность оптического излучения для бесперебойного и безопасного использования оптических усилителей, включая рамановские усилители)

УДК 621.375.826:654.01:006.354 МКС 31.260 33.180.01 IDT

Ключевые слова: лазерная аппаратура, волоконно-оптические системы связи, ВОЛС, оптическая связь, уровень опасности, автоматическое понижение мощности, оптический кабель, лазерное излучение

Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 12.09.2025. Подписано в печать 23.09.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 4,46.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

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

gost.e-ecolog.ru