



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.977

(03/2004)

СЕРИЯ G: СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ,
ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Цифровые участки и система цифровых линий –
Подводные волоконно-оптические кабельные системы

**Характеристики оптически усиленных
подводных волоконно-оптических
кабельных систем**

Рекомендация МСЭ-Т G.977

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G
СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ	G.100–G.199
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	G.200–G.299
ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ	G.300–G.399
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО РАДИОРЕЛЕЙНЫМ ИЛИ СПУТНИКОВЫМ ЛИНИЯМ И ИХ СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ	G.400–G.449
КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ	G.450–G.499
ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.500–G.599
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.600–G.699
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.700–G.799
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.800–G.899
ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ	G.900–G.999
Общие положения	G.900–G.909
Параметры волоконно-оптических кабельных систем	G.910–G.919
Цифровые участки с иерархическими скоростями на основе скорости 2048 кбит/с	G.920–G.929
Системы цифровых линий для передачи в кабеле с неиерархическими скоростями	G.930–G.939
Системы цифровых линий, создаваемые транспортными передачами FDM	G.940–G.949
Системы цифровых линий	G.950–G.959
Цифровые участки и цифровые системы передачи для абонентского доступа к ЦСИС	G.960–G.969
Подводные волоконно-оптические кабельные системы	G.970–G.979
Системы оптических линий для местных сетей и сетей доступа	G.980–G.989
Сети доступа	G.990–G.999
КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ – ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.6000–G.6999
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.7000–G.7999
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.8000–G.8999

Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.

Рекомендация МСЭ-Т G.977

Характеристики оптически усиленных подводных волоконно-оптических кабельных систем

Резюме

В настоящей Рекомендации рассматриваются характеристики систем и требования к интерфейсам оптических подводных систем с повторителями, использующих в качестве линейных повторителей оптоволоконные усилители (OFA). В ней охватываются те вопросы, которые относятся к системам с одной несущей (SWS), системам с мультиплексированием по длине волны (WDMS) и системам с плотным мультиплексированием по длине волны (DWDMS). Физическая реализация подводных волоконно-оптических систем с оптическими усилителями рассматривается в Приложении А.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т G.977 утверждена 8 марта 2004 года 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2001–2004 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

История

Версия	Рекомендация	Утверждения	Примечание
1.0	G.977	2000-04-04	В настоящем пересмотренном варианте речь идет о приложениях систем с плотным мультиплексированием по длине волны (DWDMS), а реализация подводных волоконно-оптических систем с оптическим усилением пересмотрена в Приложении А. Кроме того, общее описание в Приложении А было перенесено в Рекомендацию МСЭ-Т G.971.
2.0	G.977	2004-03-08	

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

Всемирная ассамблея по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяет темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соответствие положениям данной Рекомендации является добровольным делом. Однако в Рекомендации могут содержаться определенные обязательные положения (для обеспечения, например, возможности взаимодействия или применимости), и тогда соответствие данной Рекомендации достигается в том случае, если выполняются все эти обязательные положения. Для выражения требований используются слова "shall" ("следует", "обязан") или некоторые другие обязывающие термины, такие как "must" ("должен"), а также их отрицательные эквиваленты. Использование таких слов не предполагает, что соответствие данной Рекомендации требуется от каждой стороны.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на то, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для реализации этой Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ.

© ITU 2005

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких-либо средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Область применения	1
2 Ссылки	1
3 Термины и определения	3
3.1 Термины, определенные в других Рекомендациях.....	3
3.2 Определения.....	3
4 Сокращения	7
5 Характеристики и показатели системы.....	9
5.1 Характеристики и показатели цифровых линейных секций (DLS).....	9
5.2 Бюджет оптической мощности.....	10
5.3 Показатели надежности системы	12
5.4 Возможность увеличения емкости системы	12
6 Характеристики и показатели ТТЕ.....	13
6.1 Общие положения.....	13
6.2 Показатели передачи	13
6.3 Действия, следующие за аварийным сигналом	14
6.4 Автоматическое переключение	14
7 Характеристики и показатели подводных оптических повторителей (OSR).....	14
7.1 Механические характеристики.....	14
7.2 Электрические характеристики.....	15
7.3 Оптические характеристики	15
7.4 Надзорные средства.....	16
7.5 Обнаружение неисправности.....	16
7.6 Надежность.....	17
8 Характеристики и показатели линейного блока разветвления (BU).....	17
8.1 Общие положения.....	17
8.2 Механические характеристики.....	18
8.3 Электрические характеристики.....	18
8.4 Оптические характеристики	19
8.5 Надзорные средства.....	19
8.6 Обнаружение неисправности.....	19
8.7 Надежность.....	19
9 Характеристики и показатели подводного кабеля.....	19
9.1 Область применения.....	19
9.2 Характеристики передачи	20
9.3 Характеристики волокна в подводном кабеле	20
9.4 Механические характеристики и сопротивляемость окружающей среде.....	22
9.5 Электрические характеристики.....	24

	Стр.
Приложение А – Реализация подводных волоконно-оптических кабельных систем с повторителями, использующими волоконно-оптические усилители	24
А.1 Введение	24
А.2 Конфигурация системы	24
А.3 Характеристики системы	26
А.4 Функционирование системы	28
А.5 Характеристики оптических подводных повторителей (OSR) и блоков разветвления (BU).....	29

Характеристики оптически усиленных подводных волоконно-оптических кабельных систем

1 Область применения

В настоящей Рекомендации рассматриваются характеристики систем и требования к интерфейсам волоконно-оптических подводных систем с повторителями, использующих в качестве линейных повторителей OFA. В ней охватываются вопросы, которые относятся к системам с одной несущей (SWS), системам с мультиплексированием по длине волны (WDMS) и системам с плотным мультиплексированием по длине волны (DWDMS). В зависимости от параметров спецификации системы, таких как число оконечных устройств, возможность соединения, общая емкость, максимальное расстояние между конечными точками и/или стоимость системы, один из этих трех типов систем может в большей мере соответствовать гарантии реализации системных требований. Большая емкость системы может быть обеспечена использованием одной несущей и высокой скоростью передачи или несколькими несущими и более низкой скоростью передачи.

В целом характеристики, технические параметры и требования к подводному оборудованию систем SWS, WDMS и DWDMS в основном идентичны. SWS можно рассматривать как частный случай WDMS, использующей одну несущую, в свою очередь WDMS можно рассматривать как частный случай DWDMS, использующей небольшое число несущих. Вследствие этого общие положения, приведенные в настоящей Рекомендации, могут применяться к SWS, WDMS и DWDMS. Вместе с тем, в случае необходимости в более подробных Рекомендациях будут изложены специфические особенности этих трех типов систем.

Физическая реализация подводных волоконно-оптических систем с оптическими усилителями рассматривается в Приложении А.

2 Ссылки

Указанные ниже Рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылки на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие источники могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания Рекомендаций и других источников, перечисленных ниже. Список действующих в настоящее время Рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ в данной Рекомендации не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

- ITU-T Recommendation G.650.1 (2002), *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.*
- ITU-T Recommendation G.650.2 (2002), *Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable.*
- ITU-T Recommendation G.652 (2003), *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.*
- ITU-T Recommendation G.653 (2003), *Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.*
- ITU-T Recommendation G.654 (2002), *Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable.*
- ITU-T Recommendation G.655 (2003), *Characteristics of non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.*
- ITU-T Recommendation G.661 (1998), *Definition and test methods for the relevant generic parameters of optical amplifier devices and subsystems.*

- ITU-T Recommendation G.662 (1998), *Generic characteristics of optical amplifier devices and subsystems.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.664 (2003), *Процедуры и требования к обеспечению оптической безопасности оптических транспортных систем.*
- ITU-T Recommendation G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.*
- ITU-T Recommendation G.701 (1993), *Vocabulary of digital transmission and multiplexing, and pulse code modulation (PCM) terms.*
- ITU-T Recommendation G.702 (1988), *Digital hierarchy bit rates.*
- ITU-T Recommendation G.703 (2001), *Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces.*
- ITU-T Recommendation G.707/Y.1322 (2003), *Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH).*
- ITU-T Recommendation G.708 (1999), *Sub STM-0 network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH).*
- ITU-T Recommendation G.783 (2004), *Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks.*
- ITU-T Recommendation G.821 (2002), *Error performance of an international digital connection operating at a bit rate below the primary rate and forming part of an Integrated Services Digital Network.*
- ITU-T Recommendation G.823 (2000), *The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/s hierarchy.*
- ITU-T Recommendation G.826 (2002), *End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit-rate digital paths and connections.*
- ITU-T Recommendation G.921 (1988), *Digital sections based on the 2048 kbit/s hierarchy.*
- ITU-T Recommendation G.955 (1996), *Digital line systems based on the 1544 kbit/s and 2048 kbit/s hierarchy on optical fibre cables.*
- ITU-T Recommendation G.957 (1999), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.*
- ITU-T Recommendation G.971 (2000), *General features of optical fibre submarine cable systems.*
- ITU-T Recommendation G.972 (2000), *Definition of terms relevant to optical fibre submarine cable systems.*
- ITU-T Recommendation G.975 (2000), *Forward error correction for submarine systems.*
- ITU-T Recommendation G.976 (2000), *Tests methods applicable to optical fibre submarine cable systems.*
- IEC 60825-1 (2001), *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide*
- IEC 60825-2 (2004), *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS).*

3 Термины и определения

3.1 Термины, определенные в других Рекомендациях

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определенные в других Рекомендациях:

- усилие на разрыв кабеля: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- коэффициент сжатия: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.976;
- цифровая линейная секция (DLS): см. Рекомендацию МСЭ-Т G.701;
- кабель с двойным армированием: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- усилие на разрыв волокна кабеля: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- прямое исправление ошибок (ПИО): см. Рекомендации МСЭ-Т G.972 и G.975;
- равномерность усиления: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.976;
- максимальная разница мощностей каналов: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.692;
- минимальный радиус изгиба кабеля: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- заголовок мультиплексной секции (MSOH): см. Рекомендацию МСЭ-Т G.783;
- коэффициент шума: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.661;
- номинальное усиление: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.976;
- номинальная эксплуатационная прочность на растяжение: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- номинальная постоянная прочность на растяжение: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- номинальная мощность входного сигнала: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.976;
- номинальная мощность выходного сигнала: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.976;
- номинальная прочность на растяжение в переходном режиме: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- волоконно-оптический усилитель (OFA): см. Рекомендацию МСЭ-Т G.661;
- усиление, зависящее от поляризации: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.661;
- потери, зависящие от поляризации: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.661;
- поляризационное выжигание провалов: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.661;
- поляризационная модовая дисперсия: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.661;
- армированный кабель для прокладки в скалистом грунте: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- эталонные точки S', R': см. Рекомендации МСЭ-Т G.661 и G.662;
- эталонные точки S, R: см. Рекомендации МСЭ-Т G.955 и G.957;
- одножильный армированный кабель: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- усиление в режиме малого сигнала: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.661;
- синхронная цифровая иерархия (СЦИ): см. Рекомендацию МСЭ-Т G.708;
- синхронный транспортный модуль (STM): см. Рекомендацию МСЭ-Т G.708.

3.2 Определения

В настоящей Рекомендации даются определения следующих терминов. На рисунках 1, 2, 3 и 4, где иллюстрируются эти определения, показано оконечное оборудование для систем WDMS и DWDMs. В случае систем SWS следует убрать интерфейс оптического мультиплексора/демультиплексора, с тем чтобы предметом рассмотрения осталась одна несущая, как показано на рисунках 3 и 4.

3.2.1 линейный оптический канал (LOC): Двухнаправленный оптический канал данных, передаваемый на определенной частоте/длине волны в обоих направлениях передачи.

3.2.2 система передачи с одной несущей (SWS): Двухнаправленная оптическая система с передачей только по одному LOC.

- 3.2.3 мультиплексирование с разделением по длине волны (WDM):** Формирование агрегатного потока сигнала из нескольких LOC для передачи через всю или часть подводной линии связи по одному волокну.
- 3.2.4 плотное мультиплексирование с разделением по длине волны (DWDM):** Формирование агрегатного потока сигнала из большого числа LOC для передачи через всю или часть подводной линии связи по одному волокну.
- 3.2.5 система мультиплексирования с разделением по длине волны (WDMS):** Двухнаправленная оптическая система с передачей по нескольким LOC.
- 3.2.6 система плотного мультиплексирования с разделением по длине волны (DWDMS):** Двухнаправленная оптическая система с передачей по большому числу LOC.
- 3.2.7 N-WDM:** Мультиплексирование N LOC типа WDM или DWDM (где N – целое число).
- 3.2.8 волновой мультиплексор (WM):** Оборудование, необходимое для объединения нескольких LOC и/или потоков WDM, поступающих по различным волокнам, в общий поток WDM, состоящий из всех объединенных LOC.
- 3.2.9 волновой демультиплексор (WD):** Оборудование, необходимое для выделения из общего потока WDM нескольких LOC и/или потоков WDM для последующей передачи по различным волокнам.
- 3.2.10 оконечное оборудование передачи (TTE):** Оборудование, входящее в наземную часть подводной волоконно-оптической кабельной системы для операций терминального мультиплексирования/демультиплексирования, кодирования и преобразования входящих компонентных цифровых сигналов в оптический линейный сигнал, преобразования и декодирования полученного оптического линейного сигнала в исходящие компонентные цифровые сигналы, обеспечения защитного переключения в подводной части системы, осуществления надзора за подводным оборудованием и осуществление оконечных операций на оптическом кабеле.
- 3.2.11 оптический интерфейс подводного кабеля (SCOI):** Двухнаправленный оптический интерфейс между подводным кабелем (включая наземную кабельную секцию) и TTE. Этот сигнал состоит из LOC или WDM.
- 3.2.12 LOC-TTE:** Оборудование TTE, SCOI которого состоит только из одного LOC.
- 3.2.13 WDM-TTE:** TTE, оборудованное WM и WD, SCOI которого представляет собой WDM и DWDM.
- 3.2.14 подводный электрооптический интерфейс (SEOI):** Двухнаправленный интерфейс внутри TTE, где между LOC и электрическим каналом осуществляется электрооптическое преобразование и электрическая регенерация.
- 3.2.15 подводная цифровая линейная секция (SDLS):** Двухнаправленный непрерывный оптический тракт, вдоль которого один LOC соединяет два TTE на уровне SEOI.
- 3.2.16 наземный интерфейс (TI):** Интерфейс между подводной системой и наземной сетью связи.
- 3.2.17 промежуточный наземный интерфейс (ITI):** Следует отметить, что TTE может состоять из двух отдельных частей оборудования, соединенных интерфейсом; первая часть, именуемая оконечным оборудованием передачи подводного кабеля (SCTTE), расположена на стороне подводного кабеля, вторая часть, именуемая оконечным оборудованием передачи наземной сети связи (TNTTE), расположена на стороне наземной сети связи. В этом случае для связи этих двух частей оборудования требуется промежуточный интерфейс. Этот интерфейс состоит из двухнаправленных интерфейсов данных и, там где это применимо, дополнительного звена, используемого для обмена информацией между двумя частями оборудования TTE.
- 3.2.18 связующее звено:** Дополнительное звено, используемое в ITI для обмена информацией между двумя частями оборудования TTE SCTTE и TNTTE.
- 3.2.19 блок разветвления (BU):** Часть подводного оптического оборудования, включенная в подводную часть подводной волоконно-оптической кабельной сети, где требуется электрическое и оптическое соединение трех кабельных секций.
- 3.2.10 BU с чисто волоконным соединением (FFD-BU):** BU, где оптическое соединение между тремя подводными кабелями осуществляется путем физического соединения волоконных пар между двумя любыми кабелями.

3.2.21 WDM-BU: BU, где оптическое соединение между тремя подводными кабелями осуществляется через WM и WD, реализуя, таким образом, ввод и вывод одного и более каналов LOC из N-WDM.

3.2.22 выравниватель усиления: Выравниватель усиления является средством, используемым для адаптации характеристик огибающей усиления подводной части кабеля к передаче.

3.2.23 выравниватель общего наклона характеристики: Выравниватель общего наклона характеристики является средством, используемым в системах WDMS для обеспечения выравнивания остаточного общего наклона усиления/ABX, который аккумулируется, когда сигнал передается по цепочке подводных повторителей.

3.2.24 выравниватель крутизны наклона скатов характеристики: Выравниватель крутизны наклона скатов характеристики является средством, используемым в системах WDMS для обеспечения выравнивания остаточной крутизны наклона скатов усиления/ABX, который аккумулируется, когда сигнал передается по цепочке подводных повторителей.

3.2.25 параллельная утечка: Параллельная утечка – траектория утечки тока между силовым проводом и морской водой без выхода из строя силового провода.

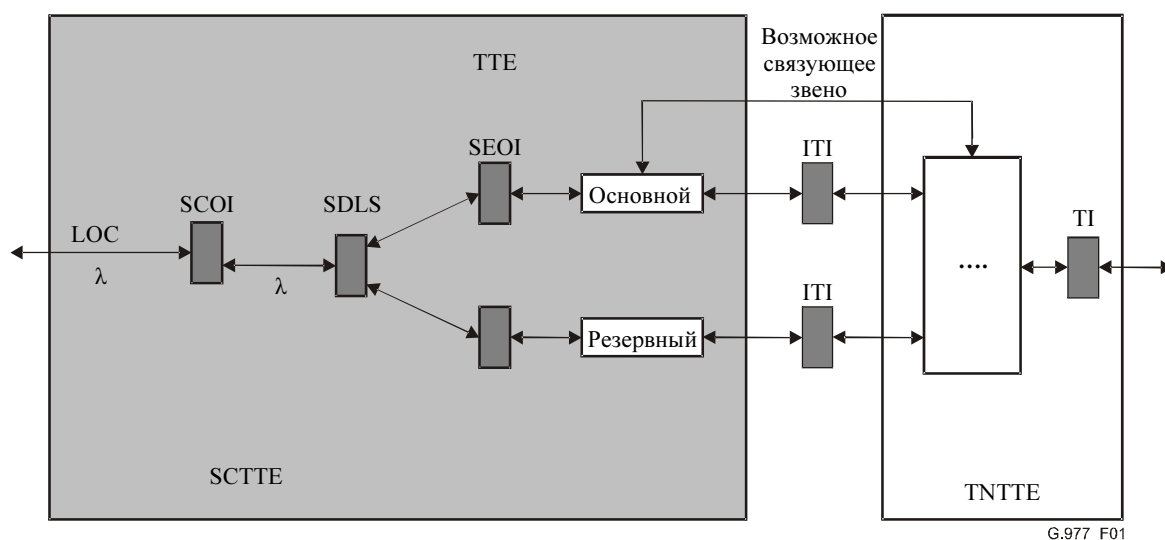
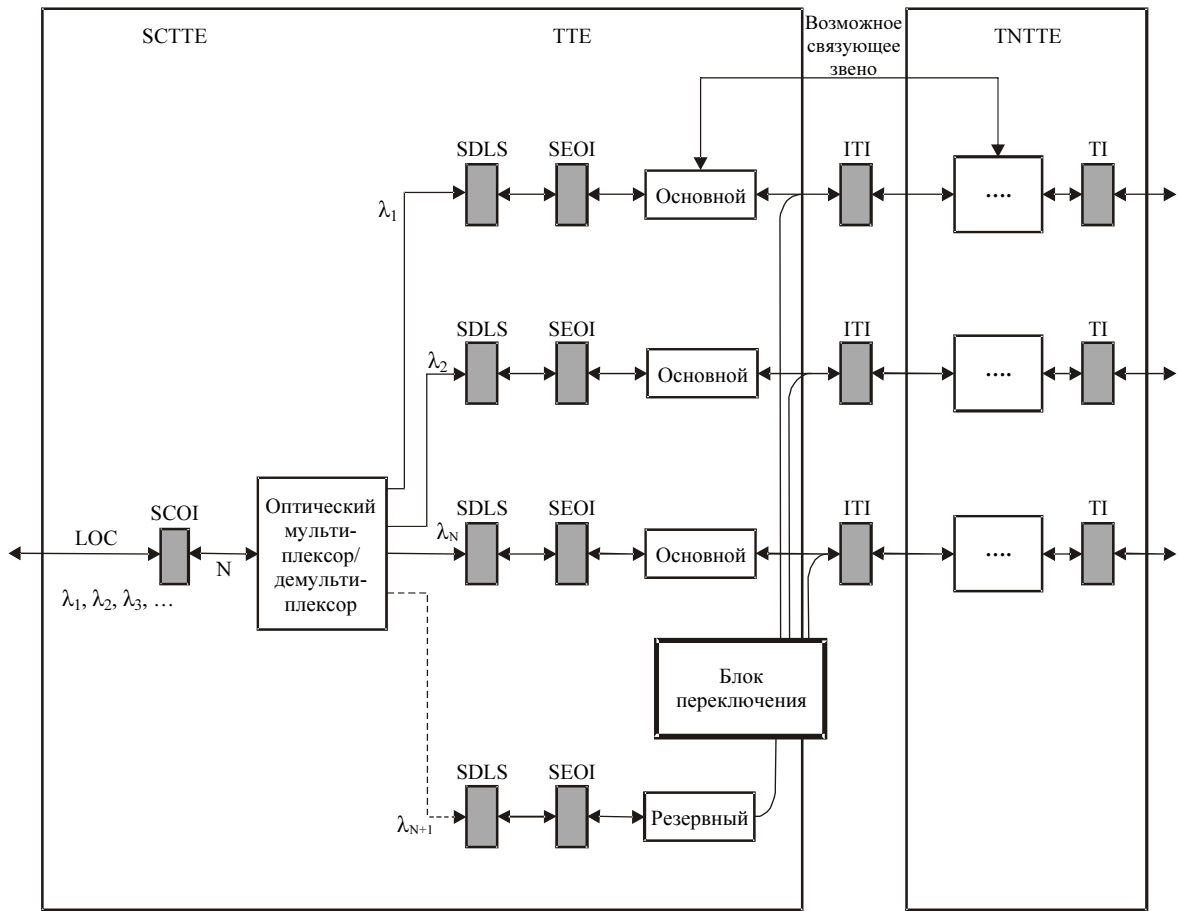


Рисунок 1/G.977 – Термины и определения для SWS



G.977_F02

Рисунок 2/G.977 – Термины и определения для WDM

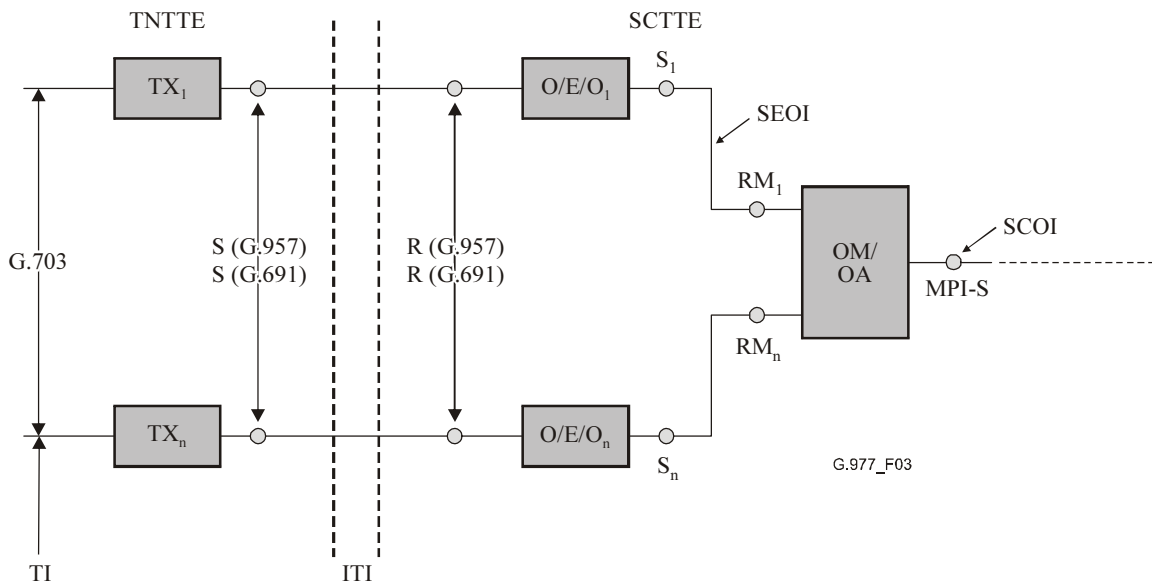


Рисунок 3/G.977 – Передающая сторона

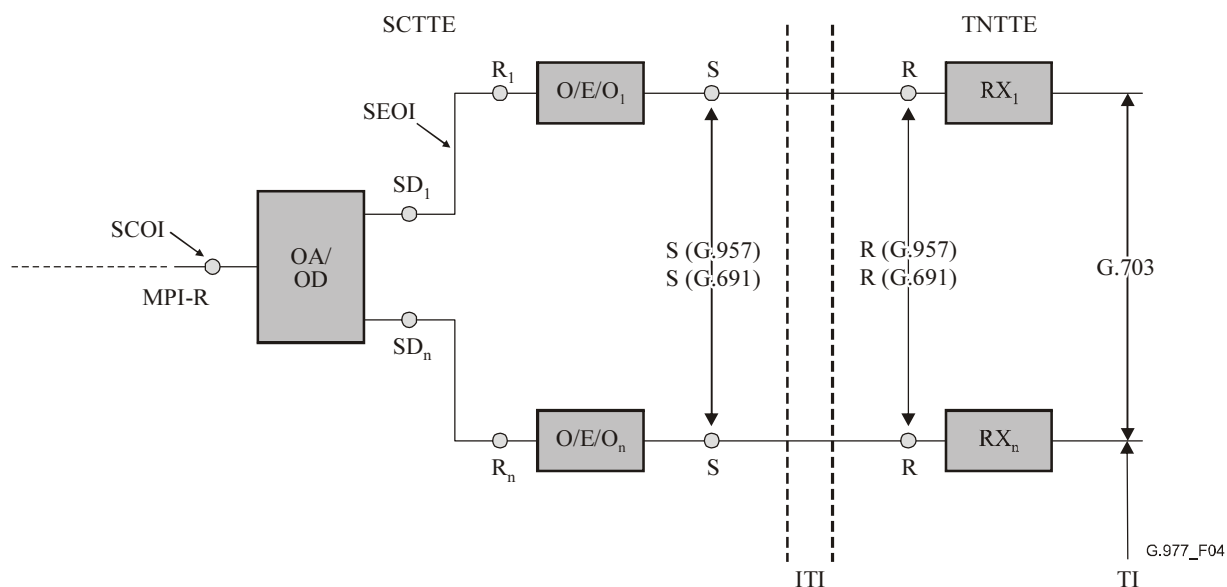


Рисунок 4/G.977 – Приемная сторона

4 Сокращения

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения:

Aeff	Эффективная площадь (сечения)
APC	Автоматическое управление мощностью
APR	Автоматическое снижение мощности
КОБ	Коэффициент ошибок по битам
BOL	Начало срока службы
BU	Блок разветвления
CF	Коэффициент сжатия
COTDR	Когерентный оптический рефлектометр во временной области
CRZ	Возвращение к нулю с линейной частотной модуляцией
CSF	Одномодовое волокно со сдвигом (длины волны) отсечки
CS-RZ	Возвращение к нулю с подавлением несущей
DCF	Одномодовое волокно с компенсацией дисперсии
DLS	Цифровая линейная секция
DSF	Одномодовое волокно со сдвигом нуля дисперсии
DWDM	Плотное мультиплексирование с разделением по длине волны
DWDMs	Система плотного мультиплексирования с разделением по длине волны
EDF	Волокно, легированное эрбием
EOL	Конец срока службы
FFD-BU	Блок разветвления с чисто волоконным соединением
FWM	Четырехволновое смешение
GF	Равномерность усиления

ITI	Промежуточный наземный интерфейс
LOC	Линейный оптический канал
LOC-TTE	Линейный оптический канал – оконечное оборудование передачи
MPI	Интерфейс основного тракта
MPI-R	Эталонная точка интерфейса основного тракта на приемной стороне
MPI-S	Эталонная точка интерфейса основного тракта на стороне источника
MSON	Заголовок мультиплексной секции
NDSF	Волокно без сдвига нуля дисперсии
NF	Коэффициент шума
NG	Номинальное усиление
NRZ	Без возвращения к нулю
NSIP	Номинальная входная мощность сигнала
NSOP	Номинальная выходная мощность сигнала
N-WDM	Мультиплексирование с разделением по длине волны для N-входов
NZDSF	Волокно без сдвига нуля дисперсии
OFA	Волоконно-оптический усилитель мощности
OSR	Оптический подводный повторитель
PDG	Усиление, зависящее от поляризации
PDH	Плездохронная цифровая иерархия
PDL	Потери, зависящие от поляризации
PFE	Оборудование сети питания
PHB	Поляризационное выжигание провалов
PMD	Поляризационная модовая дисперсия
RZ	Возвращение к нулю
SCOI	Выходной интерфейс подводного кабеля
СЦИ	Синхронная цифровая иерархия
SDLS	Подводная секция цифровой линии
SEOI	Подводный электрооптический выходной интерфейс
SMF	Одномодовое волокно
SSG	Усиление в режиме малого сигнала
STM	Синхронный транспортный модуль
SWS	Системы с одной несущей (волной)
TI	Наземный интерфейс
TSE	Оборудование оконечной станции
TTE	Оконечное передающее оборудование
VSБ	Частично подавленная боковая полоса
WD	Волновое демультиплексирование

WDM	Мультиплексирование с разделением по длине волны
WDM-BU	Мультиплексирование с разделением по длине волны – блок разветвления
WDMS	Системы мультиплексирования с разделением по длине волны
WDM-TTE	Мультиплексирование с разделением по длине волны – окончное передающее оборудование
WM	Волновое мультиплексирование

5 Характеристики и показатели системы

5.1 Характеристики и показатели цифровых линейных секций (DLS)

Цифровые линейные секции, формируемые системой, должны соответствовать относящимся к ним Рекомендациям МСЭ-Т.

5.1.1 Характеристики цифровых сигналов на ITI и TI

Для TI цифровые сигналы должны удовлетворять, в зависимости от обстоятельств, Рекомендациям МСЭ-Т G.702, G.703, G.707/Y.1322 и G.957.

Для ITI рекомендуется, чтобы цифровые сигналы удовлетворяли физическим параметрам, описанным в Рекомендации МСЭ-Т G.957.

Для одной подводной волоконно-оптической кабельной системы могут существовать одновременно несколько интерфейсов с различными скоростями передачи.

5.1.2 Общие показатели ошибок для TI

Показатели ошибок подводной волоконно-оптической кабельной системы на протяжении проектного срока службы должны соответствовать относящимся к каждому случаю Рекомендациям МСЭ-Т (например, Рекомендация МСЭ-Т G.821 для интерфейсов PDH, а Рекомендация МСЭ-Т G.826 – интерфейсам СЦИ).

Для систем PDH соответствующими параметрами являются секунды с серьезными ошибками и секунды с ошибками. Они устанавливаются согласно Рекомендации МСЭ-Т G.821 в соответствии с характеристиками (в расчете на километр длины тракта) для скорости 64 кбит/с. Информация по отображению системных показателей на уровне 64 кбит/с, приводится в Приложении D/G.821 (1988). Для систем СЦИ соответствующими параметрами являются секунды с серьезными ошибками и секунды с ошибками. Они устанавливаются согласно Рекомендации МСЭ-Т G.826.

5.1.3 Доступность системы на TI

Для интерфейсов PDH:

- определение времени недоступности устанавливается на основании Приложения A/G.821;
- в соответствии с Приложением A/G.821 период недоступности начинается, когда коэффициент ошибок по битам (КОБ) по каждой секунде превышает 1×10^{-3} за период в 10 последовательных секунд. Эти 10 секунд считаются временем недоступности системы. Период недоступности заканчивается, когда КОБ по каждой секунде меньше 1×10^{-3} за период в 10 последовательных секунд. Эти 10 секунд считаются временем доступности системы.

Для интерфейсов СЦИ:

- определение времени недоступности устанавливается на основании Рекомендации МСЭ-Т G.826.

Доступность системы очевидно зависит от доступности на различных TI. Рекомендуется, чтобы недоступность системы в любой период определялась как совокупное время всех фактов недоступности любого TI в этот период (несколько случаев недоступности TI, происходящих в одни временной интервал, не должны суммироваться).

Спецификация недоступности относится к периоду недоступности, вызванной отказом компонентов системы, и включает, например, любые действия по переключению, сбой окончного оборудования,

операции по надзору и материально-техническому обслуживанию, приводящие к перерывам длительностью 10 секунд и более. В нее не входят отказы, вызванные внешними факторами, такими как повреждения тралями, якорями, повреждение сетевого питания TTE или любые периоды, в течении которых система отключена от питания для ремонта. Аналогичным образом, неполадки, требующие использования судов-кабелеукладчиков, не учитываются при вычислении времени недоступности.

5.1.4 Показатели дрожания фазы на ITI и TI

Показатели дрожания для подводной волоконно-оптической кабельной системы должны соответствовать Рекомендациям МСЭ-Т G.823 и G.957, а также другим относящимся к этому случаю Рекомендациям на интерфейсах ITI и TI на протяжении определенного срока службы системы.

5.1.5 Распределение показателей по отдельным частям системы

Показатели ошибок системы в целом (от входа до выхода) для заданной цифровой линейной секции (DLS) рассчитываются путем умножения удельных (в расчете на километр) показателей на длину DLS. Если требуется распределить показатели деградации системы по различным частям DLS, то окончному оборудованию каждой станции выделяется доля, соответствующая фиксированной длине (подлежащей определению), а подводной части системы на покилометровой основе выделяется доля показателя, равная разнице между спецификацией DLS и долей, выделенной окончному оборудованию.

5.1.6 Независимость DLS

Рекомендуется, чтобы любой отказ, операция обслуживания, надзорная операция и т. д. на любой DLS не оказывали влияния на конкретные показатели любой другой DLS в этой системе. В частности,

- a) для *WDMS* и *DWDMS*
 - 1) любой отказ до половины от общего числа LOC в WDM не должен влиять на какие-либо другие LOC этого WDM;
- b) для *SWS*, *WDMS* и *DWDMS*
 - 1) любой отказ на одной паре волокон не должен оказывать влияния на другие пары волокон в этой системе;
 - 2) любой отказ в любом компонентном цифровом сигнале любого уровня мультиплексирования или демуплексирования (оптического или электрического) в данной системе не должен оказывать влияния на другие части этой системы.

Кратковременное влияние переходных процессов в обычных условиях должно рассматриваться как допустимое, учитывая их малую вероятность.

5.2 Бюджет оптической мощности

В таблицах бюджета оптической мощности следует описывать соблюдение параметров системы в отношении показателей ошибок.

В подводных системах с оптическими линейными усилителями регенерация осуществляется только в TTE на уровне SEOI. На промежуточных участках характеристики каналов передачи будут ухудшаться, ввиду, например, аккумуляции оптического шума, распространения сигнала (нелинейные явления в волокне, хроматическая дисперсия волокна и т. д.). Поэтому рекомендуется, чтобы бюджет оптической мощности устанавливался на уровне SDLS. Так как некоторые системы могут использовать несколько SDLS с разными видами ухудшения качества, рекомендуется также, чтобы бюджет оптической мощности устанавливался для каждой такой SDLS.

Нужно также иметь в виду, что в некоторых случаях (например, сети WDM с WDM-BU) два направления могут иметь разные ухудшения качества: в этом случае для каждого направления рассматриваемых SDLS могут устанавливаться различные бюджеты мощности, и уровнем бюджета мощности SDLS должен считаться тот, что соответствует SDLS с наибольшим ухудшением качества.

Кроме того, если проектируемая система со многими точками выхода на сушу оптимизируется по SDLS наибольшей длины в плане деградации отношения оптический сигнал/шум и размещения повторителей, то для более коротких секций могут возникнуть дополнительные запасы мощности. Эти запасы, которые обычно называются нераспределенными допусками производителя, следует четко отражать в таблицах бюджета мощности.

Для каждой SDLS рекомендуется устанавливать два отдельных бюджета мощности: на начало срока службы (BOL) и на конец срока службы (EOL):

- бюджет мощности на этапе BOL характеризуется показателями SDLS при вводе системы в эксплуатацию и используется как контрольная величина в отношении результатов тестирования в этот момент. Рекомендуется, чтобы этот бюджет мощности включал гарантированный допуск, позволяющий удовлетворить условиям EOL;
- бюджет мощности на этапе EOL характеризуется показателями системы на конец срока службы и должен включать такие ухудшения, как старение компонентов и их отказ, старение кабеля и указываемые допуски на ремонт.

Поставщик должен обеспечить достаточный объем информации, для того чтобы подтвердить надежность таблиц бюджета мощности, в частности таких данных, как (хотя и не только их):

- i) номинальное значение выходной мощности повторителя;
- ii) номинальное значение коэффициента шума;
- iii) значения оптической и электрической полосы пропускания на приемной стороне, используемые для вычисления бюджета мощности.

Поставщик также должен уточнить, предназначено ли какое-либо устройство, расположенное на оконечной стороне передатчика или приемника, такое как скремблеры поляризации и/или холостые каналы, или на подводном оборудовании, такое как фильтры выравнивания усиления или общего наклона характеристики усиления, или крутизны ее скатов, для улучшения характеристик передачи.

5.2.1 Коэффициент качества (Q-фактор)

Рекомендуется, чтобы бюджет мощности каждой SDLS основывался на использовании Q-фактора, как это описано в Приложении A/G.976, и ухудшений, показываемых в отношении деградации Q-фактора.

Показатели производительности SDLS должны характеризоваться измерениями их Q-фактора или прямыми измерениями КОБ, что должно дать возможность согласования указанных в бюджете мощности контрактных предельных значений Q-фактора при вводе в эксплуатацию.

5.2.2 Параметры, имеющие отношение к бюджету мощности

Рекомендуется, чтобы в бюджете мощности учитывались, как минимум, те ухудшения, что являются результатом факторов или обстоятельств:

- накопление оптического шума;
- ухудшение распространения сигнала ввиду совокупного воздействия хроматической дисперсии и нелинейных эффектов (фазовая автомодуляция, фазовая кросс-модуляция, четырехволновое смешение между LOC, вынужденное рамановское рассеяние и т. д.);
- ухудшение распространения сигнала ввиду воздействия оптической поляризации, например дисперсия моды поляризации (PMD), потери, зависящие от поляризации (PDL), усиление, зависящее от поляризации (PDG). Так как эти ухудшения флуктуируют во времени, следует в явной форме предусмотреть положение, учитывающее колебания показателей во времени;
- ухудшения, вызванные неплоскостностью усиления кумулятивного ABX на всем сегменте;
- ухудшения, вызванные неточной настройкой длин волн(ы) несущих в SDLS;
- ухудшения, вызванные неточной настройкой относительной оптической мощности каналов LOC в WDM. Этот тип ухудшений применим к подводным системам, использующим WDM или DWDM. Его необходимо учитывать каждый раз, когда выполняется операция WM;
- ухудшения, вызванные функциями надзора и локализации сбоев;
- ухудшения, вызванные несовершенством TTE (относятся к показателям типа Q-фактор для соединения в режиме непосредственного переприема – типа "back-to-back").

Из указанных выше фазовая кросс-модуляция, четырехволновое смешение, вынужденное рамановское рассеяние, неплоскостность характеристики кумулятивного усиления и неточная настройка относительных оптических мощностей каналов LOC более всего характерны для систем WDMS и DWDM, так как они вызываются передачей нескольких оптических сигналов по одному волокну.

Конкретно по бюджету мощности на EOL следует учитывать следующие типы ухудшений:

- ухудшения, вызванные ремонтными работами (сварочными работами, дополнительными потерями и изменением карты дисперсий после ремонта ввиду дополнительной длины кабеля и т. д.);
- ухудшения, вызванные старением кабеля и компонентов;
- ухудшения, вызванные старением TTE (уменьшение значения Q-фактора при соединении в режиме непосредственного приема);
- ухудшения, вызванные предвиденными сбоями некоторых компонентов, например сбоями в работе диодов лазерной накачки.

Относительно ухудшений, вызванных ремонтными работами, следует учитывать сценарии проведения ремонтных работ с различными типами кабелей, так как ухудшения, вызванные этими работами, будут зависеть от того, где находился поврежденный кабель: на суше, на мелководье или глубоко под водой (отрезок кабеля от точки выхода на побережье до наземной станции).

Дополнительно к этому в бюджете мощности следует четко показать минимальное значение Q-фактора, требуемое для получения установленных показателей ошибок системы, и включить допуски на возможное улучшение, при условии использования ПИО (если она применима).

5.3 Показатели надежности системы

Надежность подводной части подводной волоконно-оптической кабельной системы в общем случае характеризуется:

- ожидаемым числом ремонтов, требующих использования судов-кабелеукладчиков, а также ремонтов, вызванных отказом системных компонентов в течение проектного срока службы; обычные требования к надежности системы предполагают менее трех неисправностей, требующих вмешательства судов-кабелеукладчиков, в течение проектного срока службы системы;
- проектный срок службы: период времени, в течение которого подводная волоконно-оптическая кабельная система должна оставаться в рабочем состоянии и удовлетворять параметрам, указанным в спецификации. Обычно проектный срок службы системы составляет 25 лет, начиная с условной даты ввода системы в эксплуатацию, т. е. со дня, следующего за установкой системы, когда система признается удовлетворяющей характеристикам, заложенным в спецификации.

5.4 Возможность увеличения емкости системы

Так как волоконно-оптические усилители (OFA) характеризуются широкой полосой усиления и гибкостью в плане выбора скорости передачи, может быть полезно увеличить пропускную способность путем увеличения скорости передачи и/или числа каналов передачи (WDM или DWDM). Такая модернизация могла бы принести пользу, поскольку многократное использование больших длин кабеля, множества линейных усилителей и оборудования силового питания можно осуществлять экономически эффективно на протяжении длительного срока эксплуатации, как правило 25 лет.

Для реализации возможности увеличения скорости передачи требуется, чтобы системы конструировались с использованием кабелей и линейных усилителей, оптимизированных для более высоких скоростей передачи и в то же время допускающих использование на начальном этапе TTE, рассчитанного на более низкие скорости передачи. Даже после увеличения скорости передачи скорости на выходе TTE должны соответствовать спецификациям СЦИ, с тем чтобы обеспечить совместимость со стандартным наземным оборудованием.

Для реализации возможности использования систем WDM и DWDM требуется также, чтобы первоначально проложенные кабели и установленные оптические усилители могли использоваться в системе при максимальном числе каналов, ожидаемых в будущем.

В отношении проектирования модернизация путем увеличения скорости передачи во многом существенно отличается от модернизации путем использования WDM или DWDM, в том числе

применительно к проектированию волоконно-оптических усилителей и управлению ими, бюджету мощности, отношению сигнал/шум, хроматической дисперсии волокна и нелинейности волокна. Ввиду этого рекомендуется проектировать такие системы, учитывая возможность последующей модернизации.

6 Характеристики и показатели ТТЕ

6.1 Общие положения

Оконечное оборудование проектируется для мультиплексирования компонентных цифровых сигналов с целью передачи по подводной волоконно-оптической кабельной системе и обеспечения возможности мониторинга и материально-технического обслуживания.

6.1.1 Определение эталонных точек соответствующих сигналов для интерфейсов ITI, TI, SEOI и SCOI

В отношении рисунков 3 и 4 и в соответствии с эталонными Е/О-интерфейсами необходимо указать следующий минимальный список параметров:

- a) интерфейсы TI и ITI соответствуют Рекомендациям МСЭ-Т G.703 и G.957;
- b) точки S_1 , S_n на выходах О/Е/О следует определить в отношении:
 - 1) спектральных характеристик;
 - 2) средней вводимой мощности;
 - 3) коэффициента ослабления сигнала;
 - 4) несущей частоты канала;
 - 5) интервала между каналами;
 - 6) девиации несущей частоты каналов;
 - 7) кода, используемого при модуляции (RZ, NRZ, CRZ, CS-RZ, VSB);
 - 8) скорости передачи в канале;
 - 9) использования фазовой модуляции (если это применимо);
 - 10) использования скремблера поляризации и его типа (если это применимо);
 - 11) значения компенсации до дисперсии;
 - 12) значения компенсации после дисперсии;
- c) точку MPI-S следует охарактеризовать по меньшей мере в отношении:
 - 1) максимальной разницы мощностей в каналах;
 - 2) выходной мощности канала;
 - 3) отношения сигнал/шум в канале;
- d) точку MPI-R следует охарактеризовать по меньшей мере в отношении:
 - 1) отношения сигнал/шум в канале (в соответствии со скоростью передачи и реализации ПИО);
 - 2) максимальной разницы мощностей в каналах;
- e) точки R_1 и R_n на входах О/Е/О следует охарактеризовать по меньшей мере в отношении:
 - 1) чувствительности приемника (если ПИО не используется);
 - 2) перегрузки приемника;
 - 3) рабочего диапазона длин волн приемника;
 - 4) отношения оптический сигнал/шум.

6.2 Показатели передачи

6.2.1 Характеристики цифрового сигнала на интерфейсе TI

Цифровой сигнал на интерфейсе TI должен соответствовать относящимся к данному случаю Рекомендациям МСЭ-Т.

6.2.2 Характеристики сигнала на SCOI

Подлежит дальнейшему изучению.

6.2.3 Показатели дрожания на интерфейсе TI

Показатели дрожания для TTE подводной волоконно-оптической кабельной системы должны соответствовать Рекомендациям МСЭ-Т G.823 и G.825 и другим соответствующим Рекомендациям на протяжении проектного срока службы системы.

6.3 Действия, следующие за аварийным сигналом

Оконечное оборудование должно распознавать аварийные состояния и осуществлять следующие за этим действия, как указано в соответствующих Рекомендациях (см., в частности, таблицу 4/G.921). Показатели аварийного состояния, которые следует принять во внимание для оптических усилителей, используемых в системе, должны быть ограничены критическими параметрами (например, оптической мощностью входного и выходного сигнала, условиями работы лазеров накачки, такими как ток смещения и температура). Аспекты лазерной безопасности должны соответствовать Рекомендациям МСЭ-Т G.664, МЭК 60825-1 и МЭК 60825-2.

6.4 Автоматическое переключение

Когда для соблюдения требования общей доступности используется автоматическое переключение:

- деградация трафика, вызванная переключением, должна быть минимизирована и соответствовать общим показателям системы;
- должна осуществляться индикация оборудования, находящегося в эксплуатации;
- должна существовать возможность ручной отмены автоматического переключения при минимальной деградации показателей системы.

В зависимости от архитектуры TTE рекомендуется резервное оборудование поддерживать в рабочем состоянии и осуществлять за ним контроль так же, как за оборудованием, находящимся в эксплуатации.

7 Характеристики и показатели подводных оптических повторителей (OSR)

7.1 Механические характеристики

7.1.1 Корпус повторителя

Корпус повторителя должен быть спроектирован так, чтобы обеспечить эксплуатацию, укладку, выемку, повторную укладку оптических повторителей на большой глубине без ухудшения механических, электрических и оптических характеристик. Корпус стыка должен быть рассчитан на передачу большой нагрузки от подводного кабеля через гибкое соединение.

7.1.2 Внутренний блок

Внутренний блок (в корпусе повторителя) может содержать несколько модулей силового питания и пар OFA для усиления оптического сигнала от одной или нескольких пар волокон в обоих направлениях.

7.1.3 Защита от коррозии

Внешний корпус OSR должен быть сконструирован так, чтобы он не подвергался коррозии в морской воде.

7.1.4 Сопротивление давлению воды

OSR должен быть сконструирован так, чтобы противостоять значительному давлению морской воды на глубине.

7.1.5 Изоляция высокого напряжения

Для того чтобы обеспечить функционирование повторителя, требуется изолировать высокое напряжение между корпусом повторителя и внутренним блоком.

7.1.6 Регулирование температуры

Тепло, генерируемое электронными компонентами внутри OSR, может быть в достаточной степени рассеяно за счет тепловой проводимости внутри корпуса повторителя.

7.1.7 Герметизация корпуса повторителя

Повторитель должен быть защищен от проникновения воды и газа, как непосредственно со стороны окружающего моря, так и в результате протечки аксиального кабеля (вследствие повреждения кабеля вблизи повторителя).

7.1.8 Контроль за окружающей атмосферой

Надежность и удовлетворительная эксплуатация компонентов могут требовать контролируемой внутренней атмосферы по таким показателям, как относительная влажность или любой газ, который, как ожидается, может генерироваться внутри повторителя.

7.2 Электрические характеристики

7.2.1 Модули сетевого питания

OSR питается от сети постоянного тока оконечной станции, подаваемого через электрические провода в кабеле. Модули сетевого питания для обеспечения оптического усиления питают пары OFA. Питание на OSR может подаваться с источника любой электрической полярности.

7.2.2 Защита от перенапряжения

OSR должен быть защищен от повышения напряжения, которое может возникнуть вследствие неожиданного прерывания снабжения высоковольтным питанием по кабелю (вызванного повреждением кабеля, сбоем шунтирования или коротким замыканием PFE).

7.3 Оптические характеристики

7.3.1 Конструкция OFA

OFA использует волокно, легированное эрбием (EDF), для усиления оптического сигнала. EDF может накачиваться сонаправленно и/или противонаправленно одним или несколькими (резервными) лазерами накачки. В схему усилителя могут быть включены оптические изоляторы, чтобы обеспечить хорошие показатели фильтрации оптических отражений. Для регулирования выходной оптической мощности или уровня мощности накачки может использоваться автоматическое управление мощностью (APC).

Для того чтобы дистанционно контролировать состояние и показатели OFA, должны использоваться надзорные средства.

7.3.2 Соответствующие параметры

В Рекомендации МСЭ-Т G.661 приведены определение и методы тестирования для соответствующих общих параметров усилителей OFA. Более конкретно, для длинных секций усиленных оптических звеньев SWS, WDMS и DWDMS необходимо принимать во внимание следующие параметры:

- усиление в режиме малого сигнала (SSG);
- номинальное усиление (NG);
- коэффициент шума (NF);
- номинальная входная мощность сигнала (NSIP);
- номинальная выходная мощность сигнала (NSOP);
- коэффициент сжатия (CF).

Кроме того, конкретно в отношении WDMS и DWDMS также нужно принимать во внимание:

- равномерность усиления (GF).

7.3.3 Поляризационные эффекты

Отдельные оптические компоненты OFA могут выбираться так, чтобы обеспечить разумную степень нечувствительности усилителя к поляризационным эффектам, таким как PDL и PMD, в зависимости от требований системы. Некоторые другие поляризационные эффекты, такие как PDG и PNB, являются внутренними эффектами, которых можно избежать или ограничить при использовании внешних средств, таких как скремблирование поляризации сигнала в передатчике TTE.

7.4 Надзорные средства

Для контроля с наземной станции за состоянием и характеристиками OFA требуется надзорная система. Эта система должна быть способна работать, когда звено связи эксплуатируется, не нарушая показателей звена.

7.5 Обнаружение неисправности

Точка обрыва в кабеле обычно устанавливается в нерабочем режиме. В общем случае для этих целей используется OTDR, а, в частности, для обнаружения неисправностей в системах с длинными секциями используется COTDR, ввиду его более высокой чувствительности и более высокой частотной избирательности.

Если в каждом усилителе OFA используются оптические изоляторы, то оптический импульс обратного рассеяния, который является неотъемлемым атрибутом измерений с помощью OTDR, блокируется. Одним из решений этой проблемы является использование обратного пути (пути COTDR), который не нарушает рабочий трафик, как показано на рисунках 5, 6 и 7. Ухудшение качества передачи, вызываемое путем COTDR, должно учитываться при расчете бюджета мощности. При таком варианте можно использовать в системах OFA средства COTDR, чтобы контролировать состояние пролета волокна. Кроме того, если устройство COTDR применяется в системах OFA в рабочем режиме при использовании обратного пути, то этот метод даст возможность контролировать состояние усиления каждого OFA.

Установку пути COTDR внутри повторителя можно осуществлять двумя различными способами:

- первый – соединение обоих выходов одной пары усилителей через оптические разветвители (см. рисунок 5);
- второй – соединение выхода одного ОА со входом другого ОА, расположенного в противоположном направлении (см. рисунки 6 и 7).

Оба варианта позволяют осуществлять контроль в двух направлениях.

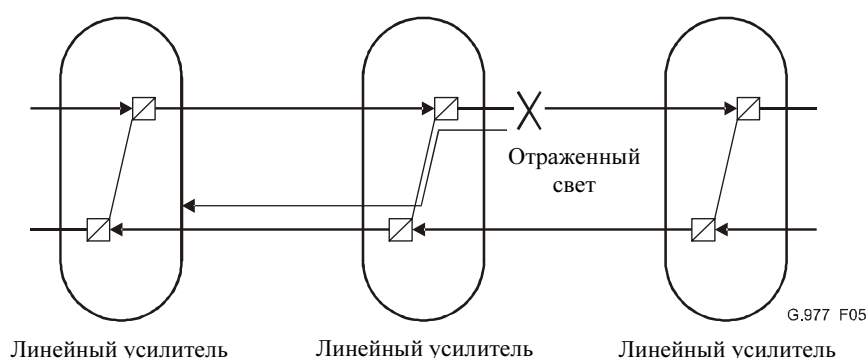


Рисунок 5/G.977 – Пример обнаружения неисправности при применении COTDR для OFA путем соединения выхода с выходом петель через разветвитель

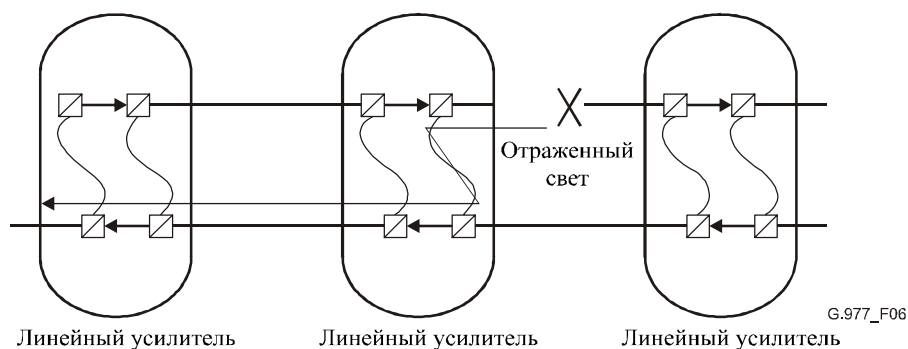


Рисунок 6/G.977 – Пример обнаружения неисправности при применении COTDR для систем OFA путем соединения выхода со входом через разветвитель

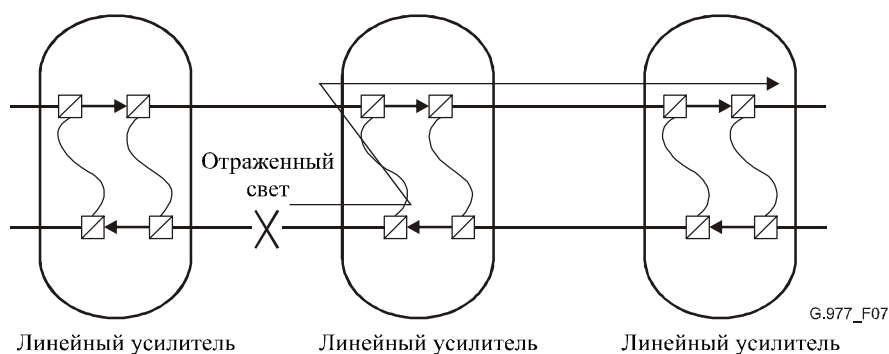


Рисунок 7/G.977 – Пример обнаружения неисправности при использовании COTDR для систем OFA путем соединения выхода с входом через разветвитель

7.6 Надежность

Все компоненты повторителя должны пройти испытания на соответствие техническим условиям и на долговечность, чтобы гарантировать их соответствие требованиям надежности.

8 Характеристики и показатели линейного блока разветвления (BU)

8.1 Общие положения

В подводных оптических кабельных системах могут использоваться BU там, где требуются несколько точек выхода на сушу. BU предназначен для окончательного согласования трех линейных кабелей. Один из них, называемый окончательным участком разветвления, допускает выделение части трафика, поступающего с двух других окончательных участков, называемых магистральными окончательными участками. Могут существовать различные конструкции BU, удовлетворяющие конкретным требованиям, в зависимости от конкретной конфигурации системы.

Таким образом BU может обеспечить:

- i) функции полного вывода волокна для SWS;
- ii) функции полного вывода волокна и/или функции ввода-вывода WDM для WDMS.

Для COTDR может быть обеспечено оптическое усиление, а также другие средства, например функция переключения питания, надзорная система, автоматическая регулировка усиления, оптическая фильтрация и разветвление.

8.2 Механические характеристики

8.2.1 Корпус BU

Корпус BU снабжен кабельными вводами и подводным заземлением. Он должен быть спроектирован так, чтобы обеспечить эксплуатацию, укладку, выемку, повторную укладку BU на большой глубине без ухудшения механических, электрических и оптических характеристик. Корпуса стыка должны быть рассчитаны на передачу большой нагрузки от подводного кабеля через гибкое соединение.

Внутренний блок (в корпусе BU) может содержать схемы переключения питания и OFA для усиления оптического сигнала от одной или нескольких пар волокон. Он может также содержать модули ввода/вывода для обеспечения функций WM и WD.

8.2.2 Защита от коррозии

Следует обеспечить защиту BU от коррозии в морской воде.

8.2.3 Сопротивление давлению воды

Блок BU должен быть сконструирован так, чтобы противостоять значительному давлению воды.

8.2.4 Изоляция высокого напряжения

Для того чтобы обеспечить функционирование BU, требуется изолировать высокое напряжение между корпусом BU и внутренним блоком.

8.2.5 Регулирование температуры

Тепло, генерируемое электронными компонентами внутри BU, может быть в достаточной степени рассеяно за счет тепловой проводимости внутри корпуса повторителя.

8.2.6 Герметизация корпуса BU

BU должен быть защищен от проникновения воды и газа как непосредственно со стороны окружающего моря, так и в результате протечки аксиальных кабелей (повреждения кабеля вблизи BU).

8.2.7 Контроль за окружающей атмосферой

Надежность и удовлетворительная эксплуатация компонентов могут требовать контролируемой внутренней атмосферы по таким показателям, как относительная влажность или любой газ, который, как ожидается, может генерироваться внутри BU.

8.3 Электрические характеристики

8.3.1 Морской электрод

Соединение с морским электродом делает возможным соединение одного или нескольких из трех кабельных окончаний с потенциалом моря.

8.3.2 Переключение питания

Любые два входящих кабеля с проводами питания могут быть соединены и изолированы от морского электрода BU, к которому присоединен третий кабель. Могут существовать различные конфигурации для обеспечения восстановления трафика в некоторых случаях отказа PFE или повреждения кабеля.

В случае неисправности в одном из сегментов подводной сети, использующих BU, система, и, в частности, схема переключения электрического питания BU должна обеспечить возможность восстановления трафика во всех других сегментах либо при сохраняющейся неисправности, либо в ходе ремонтных работ.

8.3.3 Модули сетевого питания

BU питается от сети постоянного тока оконечной станции, подаваемого через электрический провод в кабеле. Модули сетевого питания (если это применимо) для обеспечения оптического усиления питают пары OFA. Питание на BU может подаваться с источника любой электрической полярности.

8.3.4 Защита от перенапряжения

Модуль BU должен быть защищен от повышения напряжения, которое может возникнуть вследствие неожиданного прерывания снабжения высоковольтным питанием по кабелю (вызванного повреждением кабеля или коротким замыканием PFE).

8.4 Оптические характеристики

8.4.1 Функции

BU может быть типа FFD-BU или WDM-BU либо сочетать в себе оба типа. Во всех случаях функции BU должны гарантировать, насколько это возможно, независимость DLS, с тем чтобы не допустить воздействия неисправности в одном из LOC на другие LOC. В случае WDM-BU специальные оптические компоненты могут обеспечивать функции мультиплексора и демультиплексора.

8.4.2 Соответствующие параметры

Если блок BU содержит оптические усилители, то следует применять соответствующие оптические параметры, определенные для OSR. Кроме того, необходимо полностью охарактеризовать модули ввода/вывода.

8.4.3 Поляризационные эффекты

Отдельные оптические компоненты BU могут выбираться так, чтобы обеспечить разумную степень нечувствительности к поляризационным эффектам, таким как PDL и PMD. Некоторые другие поляризационные эффекты, такие как PDG и PNB, являются внутренними эффектами OFA, которые могут находиться в BU. Их можно избежать или ограничить при использовании внешних средств, таких как скремблирование поляризации сигнала в передатчике TTE.

8.5 Надзорные средства

Для контроля с наземной станции за состоянием и характеристиками BU требуется надзорная система. Эта система способна работать, когда звено связи эксплуатируется, не нарушая его показателей.

8.6 Обнаружение неисправности

Неисправность в системах, куда входит BU, можно обнаружить в общем случае с помощью COTDR. Если BU осуществляет функцию полной выгрузки волокна, то COTDR может непосредственно локализовать неисправность как внутри, так и за пределами BU. Если BU имеет функцию ввода/вывода каналов WDM, то COTDR с источником настройки длины волны может контролировать основную линию и линию разветвления независимо, путем установки длины волны источника по длине волны передачи каждой линии. Если в BU включен OFA, то обратный путь, как это описано в разделе 7.5, может быть использован для локализации неисправности за пределами OFA.

8.7 Надежность

Все компоненты BU должны пройти испытания на соответствие техническим условиям и на долговечность, чтобы гарантировать их соответствие требованиям надежности.

9 Характеристики и показатели подводного кабеля

9.1 Область применения

Конструкция подводного кабеля должна обеспечивать защиту оптического волокна от давления воды, продольного распространения воды, химического воздействия агрессивной среды и влияния водородных загрязнений в течение проектного срока службы кабеля.

Конструкция кабеля должна также обеспечить отсутствие ухудшения показателей при прокладке, заглублении, извлечении кабеля на поверхность и его эксплуатации стандартными применяемыми в подводной среде методами.

9.2 Характеристики передачи

В общем случае характеристики передачи оптоволокон до каблирования (установки в кабель) будут аналогичны (или идентичны) указанным в Рекомендациях МСЭ-Т G.652, G.653, G.654 и G.655. Тип волокна выбирается так, чтобы оптимизировать показатели цена-качество системы в целом.

Характеристики передачи волокон, размещенных в элементарной кабельной секции, не должны выходить за предел колебания характеристик волокна до установки в кабель; в частности, конструкция кабеля, кабельных стыков и волокна должна быть такой, чтобы сгибы и микросгибы волокна создавали лишь пренебрежимо малое увеличение затухания. Это следует учитывать при определении минимального радиуса изгиба волокна в кабеле и в оборудовании (оптические кабельные стыки, повторители и т. д.).

Затухание волокна, хроматическая дисперсия и PMD должны оставаться стабильными в установленных пределах в течение проектного срока службы системы; в частности, конструкция кабеля должна обеспечивать приемлемый уровень как проникновения водорода извне, так и его генерации внутри кабеля, даже после разрыва кабеля на глубине его использования; также нужно принимать во внимание чувствительность оптического волокна к гамма-излучению.

9.3 Характеристики волокна в подводном кабеле

9.3.1 Общие положения

Оптическое волокно характеризуют следующие основные параметры:

- коэффициент затухания для всего диапазона рабочих длин волн, выраженный в дБ/км;
- коэффициент хроматической дисперсии для всего диапазона рабочих длин волн, выраженный в пс/нм/км;
- длина волны нулевой дисперсии λ_0 в нм;
- наклон дисперсии в диапазоне рабочих длин волн в пс/нм²/км;
- нелинейный коэффициент преломления n_2 в м²/Вт;
- эффективная площадь сечения A_{eff} в мкм²;
- нелинейный коэффициент n_2/A_{eff} в Вт⁻¹;
- поляризационная модовая дисперсия (PMD) в пс/(км)^{1/2}.

Соответственно этим параметрам проектировщики подводных систем могут различать несколько типов оптических волокон, среди них:

- одномодовое волокно (SMF), определенное в Рекомендации МСЭ-Т G.652;
- одномодовое волокно со сдвигом нуля дисперсии (DSF), определенное в Рекомендации МСЭ-Т G.653;
- одномодовое волокно со сдвигом длины волны отсечки (CSF), определенное в Рекомендации МСЭ-Т G.654;
- одномодовое волокно с ненулевой смещенной дисперсией (NZDSF), определенное в Рекомендации МСЭ-Т G.655;
- одномодовое волокно для компенсации дисперсии (DCF);
- волокна с отрицательным наклоном дисперсии;
- волокна с очень большой эффективной площадью сечения.

В зависимости от спецификаций системы (скорости передачи данных и кодирования, числа длин волн, длины усилительного пролета, выходной мощности усилителя, длины звена связи и т. д.) могут быть использованы различные сочетания этих типов волокон, чтобы обеспечить производительность системы. В таком случае считается, что эта система является системой с управляемой дисперсией.

9.3.2 Потери волокна

Потери оптического волокна характеризуются коэффициентом затухания, выраженным в дБ/км (логарифмическая величина) или в км⁻¹ (линейная величина).

9.3.3 Нелинейность волокна

Нелинейные эффекты следует рассматривать тогда, когда проектируются длинные оптические секции с OFA, имеющими большую выходную мощность. Эти эффекты накапливаются вдоль оптического звена связи и могут привести к значительной деградации сигнала при распространении. В системах SWS основным нелинейным эффектом обычно является самомодуляция фазы сигнала, пропорциональная коэффициенту нелинейности (отношение n_2/A_{eff}), умноженному на квадрат его нормализованной амплитуды. Эта нелинейность в присутствии хроматической дисперсии приводит к уширению импульса во временной области и, как следствие, к ухудшению характеристик системы. Однако в системах WDMS и DWDMS основным нелинейным эффектом обычно является фазовая кросс-модуляция, вызванная присутствием соседних длин волн. Эта нелинейность также приводит к деградации характеристик сигнала.

9.3.4 Поляризационная модовая дисперсия (PMD)

Небольшие отклонения от точной цилиндрической симметрии в сердечнике волокна ведут к двойному лучепреломлению ввиду различных показателей преломления мод, ассоциируемых с ортогонально поляризованными составляющими фундаментальной моды. PMD вызывает расплывание импульса, и ее максимальное значение должно быть ограничено. Это значение может быть выражено для всего звена и обычно относится к определенной части битового временного интервала. PMD выражается величиной с размерностью пс/(км)^{1/2}.

9.3.5 Хроматическая дисперсия

Хроматическая дисперсия определяется зависимостью групповой скорости от длины волны, благодаря которой все спектральные составляющие оптического сигнала распространяются с различными скоростями. Это приводит к расплыванию импульса и может вызывать значительное ухудшение сигнала. В зависимости от конструкции системы и, в особенности, от количества используемых длин волн (в системах WDM) может оказаться интересным управлять ими по-разному, для того чтобы ограничить расплывание импульсов и другие эффекты распространения. В общем случае это управление ведет к формированию карты дисперсии, которая показывает, как дисперсия управляется по всему звену.

9.3.5.1 Отображение дисперсии

Карта дисперсии является главным инструментом для описания характеристик хроматической дисперсии системы. Совокупная дисперсия определяется как дисперсия, измеренная между выходом оконечного передатчика и любой другой точкой данного оптического тракта. Карта дисперсии является графиком локальной хроматической дисперсии для заданной рабочей длины волны в зависимости от расстояния от оптического передатчика до оптического приемника. Дисперсионная карта будет зависеть главным образом от типа системы (SWS, WDMS или DWDMS).

Для систем SWS для звена связи, соответствующего основным секциям, обычно используются волокна с низкой отрицательной хроматической дисперсией, близкой к нулю, но не нулевой, тогда как для звена, соответствующего небольшому количеству секций компенсации дисперсии, используются волокна с большей положительной хроматической дисперсией. Цель такого управления в том, чтобы сохранить совокупную дисперсию близкой к нулю для всего звена связи, удерживая при этом локальную хроматическую дисперсию на ненулевом уровне.

Для WDMS волокна с небольшой, но не нулевой отрицательной хроматической дисперсией (порядка -2 пс/нм/км) используются, как правило, для большинства секций (иногда могут использоваться два типа волокна: в начале секции волокно с большой эффективной площадью поперечного сечения, а в конце – волокно с малым наклоном дисперсии), тогда как волокна с большей положительной хроматической дисперсией используются регулярно для секций компенсации дисперсии. Цель такого управления в том, чтобы сохранить совокупную дисперсию близкой к нулю для всего звена связи, удерживая при этом локальную хроматическую дисперсию на более высоком ненулевом уровне, чтобы ограничить четырехволновое смешение и фазовую кросс-модуляцию.

Для DWDMS со скоростью 10 Гбит/с волокна с большой хроматической дисперсией используются обычно вдоль звена связи для всех секций. Одна часть такой секции, как правило, характеризуется положительной дисперсией и положительным наклоном дисперсии (обычно с очень большой эффективной площадью поперечного сечения), а остальная часть – отрицательной дисперсией и отрицательным наклоном (обычно с очень маленькой эффективной площадью поперечного сечения). Цель такого управления в том, чтобы сохранить совокупную дисперсию близкой к нулю в каждой секции для всех длин волн, удерживая при этом локальную хроматическую дисперсию на очень высоком уровне, чтобы ограничить фазовую кросс-модуляцию.

9.3.5.2 Осуществление управления дисперсией

Формирование дисперсионной карты для каждой оптической секции должно осуществляться в соответствии с требованиями передачи (ограничение нелинейных эффектов, уширение импульсов и т. д.).

Остаточная совокупная дисперсия для каждой длины волны может быть компенсирована до нуля путем использования выравнивающего волокна определенной длины или других пассивных устройств, компенсирующих дисперсию, на передающей (пред-компенсация) и/или на приемной стороне (пост-компенсация) в TTE. Как правило, компенсация осуществляется на приемном конце только для систем SWS, а на передающей и приемной сторонах – для систем WDMS и DWDMS.

При проектировании систем нужно принять во внимание все причины отклонений дисперсии от запланированных в дисперсионной карте, как случайные, так и систематические, включая, но не ограничиваясь, нижеследующими:

- неопределенность в измерении нулевой дисперсии длин волн, дисперсии и наклона дисперсии в составляющих волокнах DSF, SMF, DCF, NZDSF, CSF, волокна с отрицательным наклоном, EDF и др.;
- неопределенность в коэффициентах температуры, давления и напряжения этих волокон в кабеле и камерах высокого давления;
- неопределенность точной температуры и напряжения этих волокон при измерении дисперсии;
- неопределенность температуры проложенного волокна;
- неопределенность, являющаяся результатом переупорядочивания и "случайного" выбора частей комплектов волокон при сборке элементарных кабельных участков;
- старение;
- ремонтные операции.

9.4 Механические характеристики и сопротивляемость окружающей среде

9.4.1 Защита волокна структурой кабеля

Сохранность волокна определяется ростом дефектов внутри структуры стекла. Она зависит от начального механического состояния волокна до его установки в кабель, зависящего, в свою очередь, от физической структуры волокна (типа покрытия, внутреннего напряжения), от условий окружающей среды в процессе производства волокна, а также от уровня тестовых испытаний, проводимых после того, как волокно вытянуто. Он также зависит от среды, в которой находится волокно в кабеле, и от совокупного воздействия напряжения, прикладываемого к волокну за срок эксплуатации.

Прочность кабеля структуры наряду с прочностью волокна определяет механические характеристики кабеля в целом. Эти параметры следует проектировать так, чтобы гарантировать проектный срок службы системы с учетом совокупного воздействия нагрузки, прикладываемой к кабелю в процессе укладки, выемки и ремонтных работ, а также наличия постоянной нагрузки или остаточного удлинения, применяемого к проложенному кабелю.

Для защиты оптических волокон обычно используются два основных типа конструкции кабеля:

- плотная структура кабеля, при которой волокна жестко удерживаются в кабеле, так что удлинение волокна в большинстве своем равно удлинению кабеля;
- свободная (буферная) структура кабеля, при которой волокна могут перемещаться внутри кабеля, так что удлинение волокна меньше, чем удлинение кабеля, и остается нулевым до тех пор, пока удлинение кабеля не достигнет определенной величины.

Кроме того, кабель должен защищать волокно от воды, влажности и внешнего давления, а также ограничить продольное распространение воды при разрыве кабеля на глубине его использования.

9.4.2 Механические характеристики волокна

Механические характеристики волокна в основном зависят от применения тестовых испытаний ко всей длине волокна. Тестовые испытания оптического волокна характеризуются нагрузкой, прикладываемой к волокну, или удлинением волокна и временем ее приложения. Уровень тестовых испытаний должен определяться в зависимости от структуры кабеля. Аналогичным образом должны тестироваться сростки волокна. Рекомендуется, чтобы длительность тестовых испытаний была по возможности меньше.

Механическая прочность волокна и сростков должна приниматься во внимание при определении минимального радиуса изгиба волокна в кабеле и в оборудовании (повторители, блоки разветвления, стыковочные кабельные боксы и оконечные кабельные устройства).

9.4.3 Механические характеристики кабеля

Следует соблюдать технику безопасности при проведении работ по прокладке с судов-кабелеукладчиков и операций по ремонту применительно к кабелю и стыковочным кабельным боксам, кабельным муфтам и кабельным переходам; он должен выдерживать многократные пропускания через нос судна-кабелеукладчика.

Кабель должен быть ремонтпригоден, и время, требуемое для того, чтобы состыковать кабели на борту в ходе ремонта в нормальных рабочих условиях, должно быть коротким в разумных пределах.

В случае если кабель зацепляется крюком, якорем или рыболовными снастями, он обычно рвется под нагрузкой, примерно равной части (в зависимости от типа кабеля и характеристик крюка) той нагрузки на разрыв, которой он подвергается в условиях прямолинейного веса; затем существует риск уменьшения срока службы волокна и кабеля и их надежности вблизи точки разрыва, ввиду, в частности, нагрузки, приложенной к волокну, или проникновения воды; поврежденная часть кабеля должна быть заменена; ее длина при этом должна соответствовать установленной величине.

В Рекомендации МСЭ-Т G.972 определяются несколько параметров, которые характеризуют механические характеристики кабеля и способность кабеля к укладке, выемке и ремонту и которые должны использоваться как руководство при работе с кабелем:

- нагрузка на разрыв кабеля, измеренная во время квалификационного теста;
- нагрузка на разрыв волокна в кабеле, измеренная во время квалификационного теста;
- временная нагрузка на кабель, которая может возникнуть случайно, в особенности при операциях по выемке кабеля;
- эксплуатационная нагрузка на кабель, которая может возникнуть во время ремонта;
- постоянное удлинение кабеля, которое характеризует состояние кабеля после укладки;
- минимальный радиус изгиба кабеля, который может быть использован как руководство при работе с кабелем.

9.4.4 Защита кабеля

Подводный волоконно-оптический кабель должен обеспечивать защиту от воздействия окружающей среды на глубине его использования: защиту от морской фауны, наносимых рыбами повреждений и абразивного износа и армировку против нападения и ведущейся судами деятельности. В Рекомендации МСЭ-Т G.972 определяются различные типы защищенного кабеля, в частности:

- кабель с одинарным броневым покровом;
- кабель с двойным броневым покровом;
- армированный кабель для скалистых грунтов.

Волоконно-оптический кабель для укладки в грунт должен защищать систему и обслуживающий персонал от электрических разрядов, промышленных помех и разрядов молнии. Обычно используются два типа защищенных наземных кабелей:

- армированный кабель для укладки в грунт с броневым покровом, на котором поддерживается потенциал земли и который пригоден для прямой укладки в грунт;

- кабель, укладываемый в кабелепровод, с внешней защитной оболочкой (которая может обеспечивать защиту от причиняемых рыбами повреждений), удобной для размещения в кабелепроводах.

9.5 Электрические характеристики

На подводные волоконно-оптические кабельные системы с повторителями, использующие OFA, питание должно поступать по электрическому проводнику, уложенному внутри кабеля, с низким погонным сопротивлением и изоляцией, способной защитить от высокого напряжения.

Этот проводник может быть также полезен для осуществления тестирования проводящей системы в рабочем и нерабочем режимах.

Приложение А

Реализация подводных волоконно-оптических кабельных систем с повторителями, использующих волоконно-оптические усилители

А.1 Введение

В настоящем приложении описываются различные аспекты практики подводных кабельных систем, широко используемые в системах с оптическими усилителями. В нем охватываются вопросы реализации систем SWS, WDMS и DWDMS.

Информация, представленная в настоящем приложении, должна рассматриваться как руководство для использования в текущей практике, а не как Рекомендация, относящаяся к существующим или будущим системам.

А.2 Конфигурация системы

А.2.1 Составляющие подводных волоконно-оптических кабельных систем с повторителями

Цель подводной волоконно-оптической кабельной системы – установление линий передачи между двумя или большим числом оконечных станций. Когда только две оконечные станции соединены такой кабельной системой, это называется подводным волоконно-оптическим кабельным звеном. В других случаях это может быть названо подводной волоконно-оптической кабельной сетью.

На рисунке 1/G.974 показана основная концепция подводных волоконно-оптических кабельных систем и их границ. Оптические подводные повторители и/или оптические подводные блоки разветвления могут включаться в зависимости от требований конкретной системы.

На рисунке 1/G.974 символ А обозначает системные интерфейсы у оконечной станции (там, где система может иметь интерфейс с наземными цифровыми звеньями связи или с другими подводными кабельными системами), а символ В обозначает стыки на побережье или точки выхода на сушу. Буквы в скобках в последующих разделах относятся к вышеупомянутому рисунку.

Подводная волоконно-оптическая кабельная система состоит из:

- сухопутной части, между системным интерфейсом оконечной станции (А) и стыком на побережье или точкой выхода на сушу (В), куда относится волоконно-оптический сухопутный кабель, сухопутные стыки и системное оконечное оборудование;
- подводной части на морском дне, между стыками на побережье или точками выхода на сушу (В), куда относится подводный волоконно-оптический кабель и, в случае необходимости, подводное оборудование, т.е. оптический подводный повторитель (повторители), блок (блоки) разветвления и кабельный стыковочный бокс (боксы).

Кабель содержит одну или больше волоконно-оптических пар (волоконно-оптическая пара используется для установления передачи в обоих направлениях).

Подводному волоконно-оптическому кабелю по мере надобности обеспечивается защита: существует несколько различных типов кабеля, характеризующихся своей механической конструкцией, таких как: легкий кабель, легкий защищенный кабель, легкий армированный кабель, кабель с одинарным броневым покровом, кабель с двойным броневым покровом, армированный кабель для скалистых грунтов.

Сухопутный волоконно-оптический кабель также требует защиты. В частности, сухопутный волоконно-оптический кабель обеспечивает энергопитание для OSR и BU, и в этих условиях может существовать большая разность потенциалов между проводником в кабеле и землей, поэтому необходимо обеспечить защиту персонала.

Оптические подводные повторители включают оптические усилители, которые рассчитаны на прием входящего оптического сигнала, ограниченного в определенных пределах, и усиление его так, чтобы выходной оптический сигнал был ограничен в определенных пределах. Повторители также включают блоки, обеспечивающие выполнение надзорных функций, функций защиты и силового питания. Схемы, выполняющие эти функции, составляют электронный блок повторителя и заключены в водонепроницаемый корпус повторителя, обеспечивающий защиту, в том числе и от давления воды.

Оптический подводный блок разветвления (BU) встраивается в подводную часть подводной волоконно-оптической кабельной сети, где необходимо соединить более двух кабельных секций. В соответствии с сетевыми требованиями это оборудование может включать некоторые или все следующие узлы: непосредственное соединение волокон, блок переключения волокна, оптический усилитель для каждого волокна и блок переключения линии силового питания. Кроме того, BU может обеспечить WDMS возможностью переключения сигнала между несколькими маршрутами оптических сигналов: в этом случае он называется блоком WDM-BU.

А.2.2 Конфигурация передачи

Конфигурация передачи характеризует поток информации между оконечными станциями в рамках подводной волоконно-оптической кабельной системы.

Линейная скорость передачи кадров и битов являются следствием процесса мультиплексирования и операций кодирования, осуществляемых TTE, с учетом включения служебных и надзорных каналов. Линейный код выбирается для оптимального удовлетворения требований системы.

Волоконно-оптическая кабельная секция может содержать ряд волоконно-оптических пар, а одна волоконно-оптическая пара может обслуживать несколько цифровых линейных секций. Число цифровых линейных секций, переносимых одной волоконно-оптической кабельной секцией, определяется как произведение этих двух чисел.

Цифровые линейные секции, обслуживаемые одной волоконно-оптической парой, следуют за этой парой через повторители и блоки разветвления. Они могут быть распределены по различным парам волокон, когда проходят через подводный мультиплексор разветвления.

А.2.3 Надзор за системой и ее дистанционное обслуживание

Контроллер надзорного наблюдения и обслуживания системы, расположенный в оконечном устройстве, связанным с надзорным блоком повторителя (или BU), обычно обеспечивает обнаружение неисправностей, контроль за показателями повторителя и дистанционное управление резервным переключением.

Средства надзорного наблюдения включают одну или более следующих возможностей:

- обеспечение в рабочем режиме информации, достаточной для того, чтобы сделать возможным упреждающее обслуживание, в особенности если существует возможность резервного переключения;
- обеспечение дальнейшего обнаружения неисправности в нерабочем режиме или контроль за системой с использованием петли, дистанционно контролируемой с соответствующих оконечных устройств;
- оповещение о приближающейся неисправности находящегося в рабочем режиме оборудования, дающее возможность предпринять или планировать упреждающее действие;
- средства обнаружения устойчивых и неустойчивых неисправностей по длительности и частоте, которые приводят к отказу системы, для обеспечения удовлетворения требований к показателям производительности системы.

Могут быть использованы и другие средства, такие как COTDR, если OSR и BU оборудованы шлейфом, а электрические измерения, использующие оборудование, установленное на оконечных станциях или на борту судна-кабелеукладчика, допускают увеличение установления местонахождения неисправностей.

Надзору за системой может способствовать компьютеризованное оборудование, расположенное на одном или обоих концах кабельной системы.

А.2.4 Системная интеграция

Подводное волоконно-оптическое кабельное звено связи или сеть могут быть сконструированы с использованием двух или более подводных волоконно-оптических систем (т.е. наборов оборудования, включая кабель, повторитель, оконечное оборудование, ВU и т. д.), спроектированных независимо различными поставщиками.

Для интеграции подводной волоконно-оптической сети необходимо обеспечить совместимость этих конструкций. В этом состоит цель спецификации интеграции.

А.3 Характеристики системы

А.3.1 Бюджет мощности

Таблицы бюджета мощности должны вычислять запасы мощности, которые следует считать минимальным требованием к системе на момент BOL. Эти запасы должны быть выражены через величину Q-фактора. Подрядчики должны обеспечить, как минимум, значения параметров, используемых для вычисления бюджета мощности, и представить всю соответствующую необходимую дополнительную информацию, например, использование скремблинга оптической поляризации или фазовой модуляции для минимизации влияния поляризации или нелинейных эффектов.

Пример схемы возможного бюджета мощности приведен в таблице А.1.

Таблица А.1/G.977 – Пример возможной схемы бюджета мощности

	Параметр	Q [дБ], BOL	Q [дБ], EOL
1	Среднее значение Q (на основе простых вычислений SNR)		
1.1	Ухудшение распространения ввиду совокупного влияния хроматической дисперсии, нелинейных эффектов, четырехволнового смещения, вынужденного рамановского рассеяния и т. д.		
1.2	Ухудшение равномерности усиления		
1.3	Ухудшение, вызванное неоптимальной оптической предварительной коррекцией		
1.4	Ухудшение за счет допуска на длину волны		
1.5	Средние дополнительные потери, вызванные PDL		
1.6	Средние дополнительные потери, вызванные PDG		
1.7	Средние дополнительные потери, вызванные PMD		
1.8	Ухудшение, вызываемое надзорными функциями		
1.9	Ухудшения, связанные с производителями и влиянием окружающей среды		
2	Изменение показателей системы во времени (правило пяти сигм)		
3	Линейное значение Q (1–1.1 до 1.9–2)		
4	Определенное для TTE значение Q (при непосредственном соединении выхода на вход)		
5	Значение Q для сегмента (вычисленное на основании 3 и 4)		
5.1	КОБ, соответствующий значению Q для сегмента, без ПИО		
5.2	КОБ, соответствующий значению Q для сегмента, с учетом ПИО		
5.3	Эффективное значение Q для сегмента с учетом ПИО		
6	Предельное значение Q, соответствующее G.826, после коррекции ПИО		
7	Допуски на ремонт Дополнительные потери на старение волокна и компонентов Дополнительные потери, вызванные отказом накачки Неоптимально выбранный порог принятия решения		

Таблица А.1/G.977 – Пример возможной схемы бюджета мощности

	Параметр	Q [дБ], BOL	Q [дБ], EOL
8	Допуски на сегмент		
9	Нераспределенный допуск на поставщиков		
10	Допуски на ввод в эксплуатацию		

Таблицу А.1 необходимо заполнить следующим образом:

- Строка 1 – Среднее значение Q (на основе простых вычислений SNR). (Существуют различные формулы: Простое накопление шума с постоянной мощностью сигнала или общая выходная мощность при/без коэффициента ослабления сигнала; FFS) (См. Примечание).
- В строках 1.1–1.9 приведен неисчерпывающий список источников ухудшения, которые оказывают воздействие на показатели системы. Эти ухудшения следует вычесть из показателя строки 1.
- Строка 2 – Изменение показателей системы во времени:
Она определяет дополнительное ухудшение, вызванное явлениями колебаний поляризации, которые уменьшают средние показатели.
- Строка 3 – Линейное значение Q:
В этой строке приводится линейное значение Q. Оно является результатом следующей операции:
Строка 3 = Строка 1 – (строки 1.1–1.9) – Строка 2.
- Строка 4 – Определенное для TTE значение Q:
В этой строке приводится обратное значение Q, определяемое SLTE, на момент BOL и EOL.
- Строка 5 – Значение Q для сегмента:
В этой строке приводится значение Q для сегмента, вычисленное по показателям строк 3 и 4 по следующей формуле:

$$\frac{1}{Q^2 \text{ segment}} = \frac{1}{Q^2 \text{ line}} + \frac{1}{Q^2 \text{ TTEbacktoback}}$$

- Строка 5.1 – КОБ, соответствующий значению Q для сегмента, без ПИО:
Строка 5, переведенная в коэффициент ошибок по битам (КОБ) до использования упреждающей коррекции ошибок.
- Строка 5.2 – КОБ, соответствующий значению Q для сегмента, с учетом ПИО:
КОБ после ПИО.
- Строка 5.3 – Эффективное значение Q для сегмента с учетом ПИО:
Строка 5.2, переведенная в показатель Q.
- Строка 6 – Предельное значение Q, соответствующее G.826, после коррекции:
Показатель Q, соответствующий наихудшему допустимому коэффициенту ошибок по битам до ПИО. Например, 11,2 дБ соответствует КОБ = $2,4 \times 10^{-4}$. КОБ = $2,4 \times 10^{-4}$ посредством ПИО первого поколения переводится в величину, превышающую 10^{-11} . Таким образом, показатель Q = 11,2 дБ покрывает все длины DLS с помощью ПИО первого поколения.
- Строка 7 – Допуски на ремонт, потери на старение волокна и компонентов и из-за отказа накачки:
Показатель в строке 7 определяется путем вычитания строки 5 (EOL) из строки 5 (BOL).
- Строка 8 – Допуски на сегмент:
Строка 8 (EOL): Допуски на сегмент на момент EOL в соответствии с контрактом обычно составляют 1 дБ.
Строка 8 (BOL) определяется показателем в строке 7 + показатель в строке 8 (EOL).

- Строка 9 – Нераспределенный допуск на поставщиков:
Допуск на прочие и неизвестные ухудшения.
- Строка 10 – Допуски на ввод в эксплуатацию:
В этой строке приводятся установленные в контракте пределы показателей Q для каждой DLS.

ПРИМЕЧАНИЕ. FFS означает "подлежит дальнейшему изучению".

А.3.2 Характеристики цифровых линейных секций

Характеристики каждой цифровой линейной секции должны по меньшей мере соответствовать Рекомендации МСЭ-Т G.826.

А.4 Функционирование системы

А.4.1 Связь между оконечными устройствами

В общем случае между двумя оконечными станциями устанавливаются по меньшей мере два служебных канала: один через подводную волоконно-оптическую кабельную систему для эксплуатации и обслуживания системы, а другой – либо внешними средствами, либо иным путем для систем кольцевых сетей для поддержания связи между двумя оконечными станциями в случае неисправностей в системе.

В частности, служебный канал, как правило, обеспечивается для организации передачи сообщений между оконечными устройствами – между надзорным оборудованием соответствующих оконечных станций, – для обеспечения информации о состоянии системы и цифровых линейных секций, а также о текущей надзорной деятельности, с тем чтобы содействовать контролю за системой в целом, осуществлению надзорных функций и установлению места неисправности.

Однопорядковый проводной канал может быть установлен между оконечными станциями, обменивающимися трафиком для связи между обслуживающим персоналом оконечных станций.

А.4.2 Функции и характеристики энергетического оборудования

А.4.2.1 Нормальные эксплуатационные условия PFE

PFE обеспечивает, через провод питания в кабеле с замыканием контура питания через морскую воду, стабилизированный электрический ток для цепей электрического питания оптического подводного повторителя (повторителей) и/или оптического подводного блока (блоков) разветвления. Этот ток в общем случае регулируется и представляет собой слегка убывающую функцию активной нагрузки PFE.

Колебания во времени тока PFE, которые могут вызываться в определенных пределах изменениями температуры окружающей среды, колебания и переходные процессы в напряжении источника питания и защитное переключение в PFE поддерживаются в определенных пределах. Стабильность тока PFE определяется с тем, чтобы удовлетворить требование общей стабильности подводной волоконно-оптической кабельной системы. Стабильность тока PFE обычно выражается в процентах от номинального значения тока PFE.

Выходное напряжение PFE автоматически корректируется для поддержания постоянного тока PFE в присутствии естественным образом наведенного напряжения. Обычно считается, что это естественным образом наведенное напряжение, которое накапливается в звене, может достигать величины 0,3 В/км (в направлении восток-запад) и медленно изменяться во времени (со скоростью меньше 10 В/с).

А.4.2.2 Защита системы

Как правило, PFE оснащено устройствами, рассчитанными на защиту самого PFE и подводной части системы от избыточного тока или напряжения в случае неисправности энергопитания в самом PFE или где-то в системе.

В частности, обеспечивается защита заземления PFE, позволяющая автоматически направить ток сети питания к наземной станции, если системный электрод сетевого питания оказывается отключенным или изменяется избыточная разность потенциалов по отношению к заземлению станции. Функционирование этого устройства проектируется так, чтобы избежать прерываний питания подводной волоконно-оптической кабельной системы и предотвратить повышение потенциала заземления питающего оборудования до уровня, способного вывести из строя оборудование или создать угрозу обслуживающему персоналу.

А.4.2.3 Защита персонала PFE

Защита персонала PFE осуществляется для предотвращения его доступа к опасному уровню напряжения, генерируемого либо на ближнем, либо на дальнем концах подводной волоконно-оптической кабельной системы. Защитное оборудование включает, в частности, блокировку оконечного оборудования кабеля, аварийное отключение PFE, устройства заземления, дающие возможность разрядить кабельный проводник питания в землю перед обслуживанием.

А.5 Характеристики оптических подводных повторителей (OSR) и блоков разветвления (BU)

А.5.1 Общие положения

OSR и BU возможно эксплуатировать в соответствии с рекомендациями относительно характеристик систем в течение проектного срока службы системы при условиях окружающей среды, соответствующих морской глубине (температура, давление и т. д.).

OSR и BU рассчитаны на то, что ими можно манипулировать, т. е. укладывать на дно, извлекать на поверхность и заменять, без ухудшения эксплуатационных характеристик кабеля, кабельных стыковочных боксов, повторителей, блоков разветвления и оконечных устройств кабеля, если соблюдаются условия обращения.

OSR и BU рассчитаны на транспортировку и хранение при определенных температурных условиях без влияния на проектный срок службы системы, если соблюдаются условия хранения и транспортировки.

OSR и BU можно эксплуатировать на борту судов-кабелеукладчиков в процессе укладки и проведения ремонтных операций без влияния на проектный срок службы системы.

Размеры OSR и BU таковы, что ими можно манипулировать при помощи соответствующего оборудования судна-кабелеукладчика.

Оптический входной интерфейс повторителя (точка R) на каждом входящем волокне определяется в точке, где волокно повторителя сращивается с волокном кабеля.

Оптический выходной интерфейс повторителя (точка S) на каждом выходящем волокне определяется в точке, где волокно повторителя сращивается с волокном кабеля.

А.5.2 Элементы OSR (и BU)

OSR (и BU) состоят из следующих основных элементов:

- корпуса OSR (или BU):
механической части, содержащей электронный блок. Корпус рассчитан на сопротивление давлению морской воды, водонепроницаемость, высокую механическую прочность, электрическое и оптическое соединение с секциями кабеля на каждой стороне повторителя OSR (или BU), изоляцию высокого напряжения и низкое тепловое сопротивление между электронным блоком OSR (или BU) и морем;
- электронного/оптического блока OSR (или BU):
комплектующих, в состав которых входят оптический усилитель (усилители) и/или надзорная схема (схемы) и/или источник (источники) питания и схема (схемы) защиты и/или оптический мультиплексор (мультиплексоры) и демультиплексор (демультиплексоры) и/или резервный переключатель (переключатели).

А.5.3 Надзор и контроль

Вместе с контроллером технического обслуживания, установленным в оконечном устройстве, надзорный блок OSR (или BU) делает возможным контроль за показателями повторителя. Оптические петли дают возможность контролировать кабельные секции между двумя OSR с помощью COTDR.

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия В	Средства выражения: определения, символы, классификация
Серия С	Общая статистика электросвязи
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	TMN и техническое обслуживание сетей: международные системы передачи, телефонные, телеграфные, факсимильные и арендованные каналы
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
Серия Q	Коммутация и сигнализация
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных и взаимосвязь открытых систем
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевого протокола (IP) и сети следующих поколений
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи