



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.973

(12/2003)

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

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

**Характеристики подводных волоконно-
оптических кабельных систем
без повторителей**

Рекомендация МСЭ-Т G.973

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.

Характеристики подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей

Резюме

В настоящей Рекомендации рассматриваются главным образом характеристики систем и требования к интерфейсам подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей. В ней рассматриваются как системы с одной несущей (SWS), так и системы с волновым мультиплексированием (WDMS). Она также охватывает аспекты, связанные с применением отдельно используемых усилителей OFA (мощные усилители, предусилители и усилители с дистанционной накачкой) и/или распределенных усилителей OFA, использующих рамановское усиление с дистанционной накачкой.

История

1996 год – Версия 1.

2003 год – Версия 2: Эта пересмотренная версия содержит новое описание, касающееся рамановских усилителей с дистанционной накачкой. Характеристики волокон, используемых в подводном кабеле, перечислены в подразделе 7.4. В Приложение А также включены для иллюстрации системные параметры подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей со скоростью выше 5 Гбит/с и систем с волновым мультиплексированием. Кроме того, общие описания из Приложения А были перенесены в Рекомендацию МСЭ-Т G.971.

Как следует из вышесказанного, настоящая Рекомендация претерпела значительные изменения за эти годы, поэтому читатель должен рассматривать соответствующую версию, для того, чтобы определить характеристики уже установленного продукта, принимая во внимание год его изготовления. Фактически ожидается, что продукты должны соответствовать той Рекомендации, которая была в силе на момент его изготовления, но могут не полностью удовлетворять последующим версиям этой Рекомендации.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т G.973 утверждена 14 декабря 2003 года 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2001–2004 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

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" ("должен", "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 не получил извещения 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	Сфера применения	1
2	Ссылки	1
3	Термины и определения	3
3.1	Определения	3
3.2	Термины, определенные в других Рекомендациях.....	3
4	Сокращения	4
5	Характеристики и показатели системы.....	4
5.1	Характеристики и показатели цифровых линейных участков	4
5.2	Характеристики и показатели оптических секций	6
5.3	Показатели надежности системы	8
5.4	Возможность увеличения емкости системы	8
6	Характеристики и показатели окончного оборудования.....	8
6.1	Общие положения.....	8
6.2	Показатели передачи	8
6.3	Последующие действия при возникновении аварийного состояния	9
6.4	Автоматическое переключение	9
7	Характеристики и показатели подводного кабеля	9
7.1	Область применения.....	9
7.2	Характеристики передачи	10
7.3	Механические характеристики и устойчивость к воздействию окружающей среды.....	10
7.4	Характеристики волокна в подводном кабеле	12
Приложение А – Реализация подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей		14
A.1	Введение	14
A.2	Конфигурация системы	16
A.3	Характеристики линейного сигнала	19
A.4	Функционирование системы	20
A.5	Характеристики пассивного блока разветвления	20
Приложение В – Подводные волоконно-оптические системы без повторителей, использующие оптические усилители с дистанционной накачкой: бюджет оптической мощности между оптическими эталонными точками S и R и мониторинг линии.....		21
B.1	Оптические усилители с дистанционной накачкой.....	21
B.2	Бюджет оптической мощности для систем, использующих оптические усилители с дистанционной накачкой	21
B.3	Мониторинг линии на отрезке накачки	22

Характеристики подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей

1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации рассматриваются главным образом характеристики систем и требования к интерфейсам подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей; в ней рассматриваются как системы с одной несущей (SWS), так и системы с волновым мультиплексированием (WDMS). Она также охватывает аспекты, связанные с применением отдельно используемых усилителей OFA, таких как усилители мощности, предусилители и/или усилители с дистанционной накачкой (либо эрбиевые усилители, использующие дистанционную накачку с оконечных устройств, либо распределенные усилители, использующие рамановское усиление и дистанционную накачку с оконечных устройств).

Цель использования подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей – установить звенья передачи между двумя и более оконечными станциями, расположенными в ограниченной географической зоне.

Кабельная система, соединяющая только две оконечные станции, может называться подводным волоконно-оптическим кабельным звеном. Если же она соединяет больше двух оконечных станций, то она может быть названа подводной волоконно-оптической кабельной сетью.

В подводной кабельной системе без повторителей нет необходимости иметь оборудование PFE, поскольку нет линейных усилителей OFA.

Что касается блоков разветвления, то рассматриваемые в настоящей Рекомендации блоки являются пассивными, а следовательно, не имеющими электронных компонентов, что исключает необходимость использовать супервизорное наблюдение и силовое питание.

Физическая реализация подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей и результаты использования оптических усилителей с дистанционной накачкой рассматриваются соответственно в Приложениях А и В.

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.650.2 (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 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 a 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.*
- ITU-T Recommendation G.664 (2003), *Optical safety procedures and requirements for optical transport systems.*
- 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.783 (2000), *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.825 (2000), *The control of jitter and wander within digital networks which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH).*
- 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 the 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.*
- IEC 60825-1:2001, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide.*
- IEC 60825-2: 2000, *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems.*

3 Термины и определения

3.1 Определения

В настоящей Рекомендации определяются следующие термины:

3.1.1 блок разветвления (BU): Часть пассивного подводного оптического оборудования, встроенная в подводную часть подводной волоконно-оптической кабельной сети там, где требуется соединение более чем двух кабельных секций.

3.1.2 оптический усилитель с дистанционной накачкой (RPOA): Усилитель OFA, состоящий из секции волокна, легированного эрбием, которое активируется лучом накачки, посылаемым с оконечной станции.

3.1.3 распределенный рамановский усилитель (DRA): Усилитель OFA, использующий передающее волокно, как усилительную среду, которая накачивается лучом, посылаемым с оконечной станции. Его усиление возникает на протяжении всей длины волокна (отсюда название распределенный) за счет использования рамановских свойств волокна до тех пор, пока имеется достаточная мощность накачки.

3.1.4 оконечное оборудование передачи (TTE): Оборудование, включенное в наземную часть подводной волоконно-оптической кабельной системы, которое используется для операций оконечного мультиплексирования и демультиплексирования, кодирования и преобразования входящих цифровых компонентных сигналов в оптический линейный сигнал, преобразования и декодирования полученного оптического линейного сигнала в исходящие цифровые компонентные сигналы и осуществления кабельного оптического терминирования.

3.1.5 кабельный стыковочный бокс: Бокс, устанавливаемый на подводный или наземный оптический кабель в случае стыковки или ремонта самого кабеля, который проектируется так, чтобы обеспечить механическую, электрическую и оптическую непрерывность, водонепроницаемость и сохранение неразъемных соединений волокон, а также избыточной длины волокна.

3.1.6 коэффициент рамановского усиления: Находится в процессе изучения.

3.2 Термины, определенные в других Рекомендациях

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

- цифровой линейный участок (DLS): см. Рекомендацию МСЭ-Т G.701;
- заголовок мультиплексной секции (MSOH): см. Рекомендацию МСЭ-Т G.783;
- волоконно-оптический усилитель (OFA): см. Рекомендацию МСЭ-Т G.661;
- эталонные точки S, R: см. Рекомендации МСЭ-Т G.955 и G.957;
- эталонные точки S', R': см. Рекомендации МСЭ-Т G.661 и G.662;
- синхронная цифровая иерархия (СЦИ): см. Рекомендацию МСЭ-Т G.708;
- синхронный транспортный модуль (STM): см. Рекомендацию МСЭ-Т G.708;
- кабель с однократной армированной оболочкой: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- кабель с двойной армированной оболочкой: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- армированный кабель для скалистых грунтов: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- номинальная прочность на растяжение в переходном режиме: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- номинальная эксплуатационная прочность на растяжение: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- номинальная постоянная прочность на растяжение: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- минимальный радиус изгиба кабеля: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- нагрузка на разрыв кабеля: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972;
- нагрузка на разрыв волокна кабеля: см. Рекомендацию МСЭ-Т G.972.

4 Сокращения

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения:

КОБ	Коэффициент ошибок по битам
BU	Блок разветвления
CSF	Одномодовое волокно со сдвигом длины волны отсечки
DCF	Одномодовое волокно с компенсацией дисперсии
DLS	Цифровой линейный участок
DRA	Распределенное рамановское усиление
DSF	Одномодовое волокно со сдвигом нуля дисперсии
EDF	Волокно, легированное эрбием
ITI	Промежуточный наземный интерфейс
MSOH	Заголовок мультимплексной секции
MTC	Погружаемый в море наземный кабель
NRZ	Без возвращения к нулю
NZDSF	Одномодовое волокно с ненулевой смещенной дисперсией
OFA	Волоконно-оптический усилитель
PDH	Плещиохронная цифровая иерархия
PFE	Оборудование сети питания
PMD	Поляризационная модовая дисперсия
RPOA	Оптический усилитель с дистанционной накачкой
СЦИ	Синхронная цифровая иерархия
SMF	Одномодовое волокно
STM	Синхронный транспортный модуль
SWS	Система с одной несущей (волной)
TI	Наземный интерфейс
TTE	Оконечное передающее оборудование
WDM	Волновое мультимплексирование; мультимплексирование с разделением по длине волны
WDMS	Система с волновым мультимплексированием

5 Характеристики и показатели системы

5.1 Характеристики и показатели цифровых линейных участков

Цифровые линейные участки, формируемые системой, должны соответствовать определенным Рекомендациям МСЭ-Т.

5.1.1 Характеристики цифровых сигналов на системном интерфейсе

Рекомендуемые битовые скорости на интерфейсах даны в Рекомендациях МСЭ-Т G.702, G.703, G.707/Y.1322 и т. д.

Для волоконно-оптической системы с одной несущей волной могут одновременно существовать несколько интерфейсов с разными скоростями.

5.1.2 Общие показатели ошибок

Показатели ошибок подводных волоконно-оптических кабельных систем должны соответствовать подходящим для конкретного случая Рекомендациям МСЭ-Т (например, Рекомендации МСЭ-Т G.821 для систем PDH и Рекомендации МСЭ-Т G.826 для систем СЦИ) в течение проектного срока службы этих систем.

Для систем PDH подходящими параметрами являются секунды, пораженные ошибками, и секунды с ошибками. Они берутся из Рекомендации МСЭ-Т G.821 в соответствии с показателями (в расчете на километр длины тракта) для скорости 64 кбит/с. Информация, отображающая системные показатели на уровне 64 кбит/с, приводится в Приложении D/G.821.

Для систем СЦИ подходящими параметрами являются секунды, пораженные ошибками, и секунды с ошибками. Они берутся из Рекомендации МСЭ-Т G.826.

5.1.3 Готовность системы

Для систем PDH:

- определение времени неготовности берется из Приложения A/G.821;
- в соответствии с Приложением A/G.821 период времени неготовности начинается, когда коэффициент ошибок по битам (КОБ) в каждой секунде хуже чем 1×10^{-3} в течение периода в 10 последовательных секунд. Эти 10 секунд рассматриваются как время неготовности системы. Период времени неготовности заканчивается, когда КОБ в каждой секунде лучше чем 1×10^{-3} в течение периода в 10 последовательных секунд. Эти 10 секунд рассматриваются как время готовности системы.

Для систем СЦИ:

- определение времени неготовности берется из Рекомендации МСЭ-Т G.826.

Готовность системы в целом зависит от всех аспектов, определяющих показатели надежности, ремонтпригодности и обеспечения технического обслуживания системного оборудования и, в частности, окончного оборудования системы.

Спецификация неготовности применима к периоду времени неготовности, вызванному отказом компонентов системы, и включает, например, переключение лазера, неисправность терминалов, операции контроля и технического обслуживания, приводящие к прерываниям, длительностью 10 секунд и более. Она не охватывает неисправности, вызванные тралями или другими внешними факторами, включая питание оборудования ТТЕ, или любые периоды, в течение которых система отключена от питания для ремонта. Аналогичным образом неисправности, требующие использования для ремонта судов-кабелеукладчиков, не включаются при вычислении времени неготовности.

5.1.4 Показатели фазового дрожания

Показатели фазового дрожания (джиттера) для подводной волоконно-оптической кабельной системы должны соответствовать Рекомендациям МСЭ-Т G.823 и G.957, а также другим подходящим для этого Рекомендациям на интерфейсах ITI и TI в течение проектного срока службы этой системы.

5.1.5 Распределение показателей по отдельным частям системы

Сквозной качественный показатель для заданного цифрового линейного участка (DLS) получается путем умножения специфицированного распределения на длину в расчете на километр длины DLS. Если требуется распределить ухудшение показателя по отдельным частям DLS, то окончному оборудованию каждой станции выделяется величина, соответствующая фиксированной длине (которая должна быть определена), а подводной части системы выделяется величина на покилометровой основе, равная разнице между спецификацией DLS и тем, что выделено на окончное оборудование.

5.1.6 Независимость DLS

Рекомендуется, чтобы любой отказ, операция технического обслуживания, операция диспетчерского контроля и т. д. на любом DLS не оказывали влияния на специфицированные показатели любой другой DLS в этой системе. В частности,

- a) для WDMS и DWDMS
 - любой отказ до половины от общего числа несущих длин волн не должен влиять на любую из оставшихся длин волн;
- b) для SWS, WDMS и DWDMS
 - 1) любой отказ на какой-либо одной паре волокон не должен оказывать влияния на другие пары волокон в этой системе;
 - 2) любой отказ на уровне любого цифрового компонентного сигнала любого уровня мультиплексирования или демультиплексирования (оптическом или электрическом) в данной системе не должен оказывать влияния на оставшиеся части этой системы.

Кратковременное влияние переходных процессов обычно должно рассматриваться как допустимое, учитывая малую вероятность такого события.

5.2 Характеристики и показатели оптических секций

5.2.1 Бюджет оптической мощности

Оптические показатели оптической секции характеризуются бюджетом оптической мощности, который является разностью между средней оптической мощностью, выраженной в дБм, на двух концах погружаемой в воду волоконно-оптической кабельной секции, как она может быть получена с учетом характеристик оптических компонентов в оборудовании на обоих концах этой кабельной секции. Бюджет оптической мощности может быть использован для вычисления длины погружаемой волоконно-оптической кабельной секции, которая позволит выполнить требования к общему показателю ошибок, предъявляемые к цифровому линейному участку подводной волоконно-оптической кабельной системы.

Для вычисления бюджета оптической мощности можно использовать несколько подходов. Их можно классифицировать как подход, рассчитанный на худший случай, статистический подход и полустатистический подход.

В бюджете оптической мощности должны учитываться все или часть указанных ниже параметров:

- чувствительность приемника (дБм):
средняя оптическая мощность оптического сигнала, модулированного псевдослучайным электрическим сигналом с определенной плотностью (двоичных) единиц, на входе волоконно-оптического шнура приемника, ниже которой приемное оборудование демонстрировало бы показатель ошибок по битам выше 10^{-12} ;
- оптическая перегрузка приемника:
средняя оптическая мощность оптического сигнала, модулированного псевдослучайным электрическим сигналом с определенной плотностью (двоичных) единиц, на входе волоконно-оптического отвода приемника, выше которой приемное оборудование демонстрировало бы показатель ошибок по битам выше 10^{-12} ;
- динамический диапазон приемника:
разность между оптической перегрузкой приемника и чувствительностью приемника;
- средняя вводимая мощность:
средняя оптическая мощность оптического линейного сигнала на выходе волоконно-оптического отвода передатчика;
- внутренние потери оборудования (дБ);
- потери оптической секции (дБ);

- дополнительные потери, вызванные показателями системы (дБ):
учитывающие разницу между показателями "идеального" и "реального" линейного оконечного оборудования, связанными со всей кабельной секцией. Это явление рассматривается численно и включает оптическую обратную связь, эффект структуры передаваемого сигнала, неидеальное выравнивание, шумы отдельных участков, хроматическую дисперсию и т. д.;
- запас на старение (дБ):
учитывающий изменение затухания оптических компонентов, включая такие изменения в волокне, из-за старения в процессе срока службы системы;
- запас на ремонт (дБ):
учитывающий возможное увеличение затухания волокна кабеля, вызванное ремонтными работами в процессе срока службы системы. Величина запаса на ремонт зависит от глубины моря. Этот запас для мелководной части может быть получен путем умножения числа ремонтов на нарабатываемое за один ремонт среднее затухание, равное затуханию двух кабельных стыков, дополненное затуханием кабеля, пропорциональным его длине с учетом глубины моря;
- нераспределенный запас (дБ):
запас на явления, которые трудно предвидеть;
- запас на перегрузку (дБ):
минимальная разница между принимаемой мощностью и оптической перегрузкой на приеме для заданного КОБ.

Важным параметром, который должен быть специфицирован, с тем чтобы помочь ввести систему в эксплуатацию, является гарантированный запас, представляющий собой минимальный запас в бюджете мощности оптической секции, который должен быть измерен в определенный момент времени, т. е. в момент сборки системы на заводе-изготовителе или на борту судна-кабелеукладчика, и который равен сумме запасов на старение и ремонт и нераспределенного запаса.

5.2.2 Применение волоконно-оптических усилителей

Доступный бюджет мощности может быть значительно увеличен путем добавления волоконно-оптических усилителей к оконечному оборудованию. Эти усилители могут быть использованы как усилители мощности, помещаемые сразу за лазерными передатчиками для повышения оконечной выходной мощности, или как предусилители, помещаемые непосредственно перед оптическим приемником для снижения минимальной оптической мощности сигнала на входе составного приемника (предусилитель вместе с приемником). В общем случае улучшения системы можно достичь путем использования только усилителя мощности, только предусилителя либо комбинации из этих усилителей. В этих случаях определение бюджета оптической мощности дается с учетом параметров, описанных в подразделе 5.2.1, между оптическими эталонными точками S'-R, S-R', S'-R', соответственно, где определения точек S' и R' приведены в Рекомендации МСЭ-Т G.662.

Кроме того, рассматривается применение оптических усилителей с дистанционной накачкой (RPOA) и распределенных рамановских усилителей. Оптический усилитель с дистанционной накачкой состоит из секции волокна, легированного эрбием и накачиваемого с оконечной станции на определенной длине волны, тогда как рамановские усилители используют само передающее волокно как среду усиления и требуют накачивания этого волокна с оконечной станции на определенной длине волны. При этом не используется электрическая мощность для питания отдельно стоящего удаленного усилителя или распределенного рамановского усилителя. Эта техника может применяться как на передающей, так и на приемной стороне звена связи, хотя обычно считается, что она более эффективна на приемной стороне. В этом последнем случае определение бюджета оптической мощности, данное на основе параметров, перечисленных в подразделе 5.2.1, неприменимо, поскольку существует усиление оптического сигнала перед терминальным концом. Поэтому бюджет оптической мощности больше не считается равным разности мощностей между двумя концами, а равен распределяемым потерям между двумя концами этого звена связи (см. Приложение В).

Возможные конфигурации системы показаны на рисунке А.2.

5.3 Показатели надежности системы

Надежность подводной части подводной волоконно-оптической кабельной системы, как правило, характеризуется следующим:

- ожидаемое число ремонтов, требующих вмешательства со стороны судна-кабелеукладчика и вызванных отказами компонентов системы (например, неразъемных соединений, блоков BU, переходов и т. д.) во время проектного срока службы:

Обычные требования к надежности системы без повторителей составляют меньше одного отказа, требующего использования судна-кабелеукладчика, за время проектного срока службы;

- проектный срок службы системы:

Период времени, в течение которого подводная волоконно-оптическая кабельная система, согласно проекту, должна быть работоспособной в соответствии со специфицируемыми показателями. Обычно срок службы системы составляет 25 лет начиная с момента принятия системы в эксплуатацию, т. е. с момента, следующего за установкой системы, когда она заявляется соответствующей показателям, содержащимся в спецификации.

5.4 Возможность увеличения емкости системы

Может оказаться целесообразным увеличить емкость передачи путем повышения скорости передачи сигнала и/или увеличения числа каналов передачи (WDMS и DWDMS). Такая модернизация может быть выгодной, поскольку позволяет обеспечить экономически эффективное повторное использование кабеля на протяжении длительного срока эксплуатации оборудования, обычно 25 лет.

Для обеспечения возможности модернизации путем увеличения скорости передачи требуется, чтобы системы проектировались с кабелями, оптимизированными на более высокую скорость передачи, хотя первоначально может использоваться оборудование TTE с меньшей скоростью передачи. Даже после модернизации скорость передачи оборудования TTE должна удовлетворять спецификации систем СЦИ, чтобы гарантировать совместимость со стандартным наземным оборудованием.

Возможность такой модернизации также требует, чтобы первоначально проложенный кабель был способен передавать максимальное число каналов, ожидаемых в будущем.

Модернизация путем повышения скорости сигнала или путем увеличения числа каналов отличается во многом самой процедурой проектирования, включая такие аспекты, как выходная мощность усилителя на выходе транспондера, входная мощность предусилителя, бюджет мощности, отношение сигнал–шум, хроматическая дисперсия волокна и его нелинейность. Поэтому рекомендуется, чтобы системы проектировались надлежащим образом с учетом возможности последующей модернизации.

6 Характеристики и показатели окончного оборудования

6.1 Общие положения

Оконечное оборудование предназначено для объединения цифровых компонентных сигналов для передачи по подводной волоконно-оптической кабельной системе и обеспечение средств мониторинга и технического обслуживания.

6.2 Показатели передачи

6.2.1 Характеристики цифрового сигнала на системном интерфейсе

Цифровой сигнал на системном интерфейсе должен соответствовать всем относящимся к этому случаю Рекомендациям.

6.2.2 Характеристики цифрового сигнала на оптическом интерфейсе

Сигнал на оптическом интерфейсе должен быть согласован с бюджетом мощности данной оптической секции. В частности, в момент установки системы должны соблюдаться определенные ограничения:

- на минимальную среднюю входную мощность приемного оконечного оборудования (дБм):
среднюю оптическую мощность оптического линейного сигнала, которая должна наблюдаться на входном оптическом интерфейсе оконечного оборудования, так чтобы бюджет оптической мощности данной кабельной секции обеспечивал гарантированные запасы системы;
- на минимальную среднюю выходную мощность передающего оконечного оборудования (дБм):
среднюю оптическую мощность оптического линейного сигнала, которая должна наблюдаться на выходном оптическом интерфейсе оконечного оборудования, так чтобы бюджет оптической мощности данной кабельной секции обеспечивал гарантированные запасы системы;

6.2.3 Показатели фазового дрожания

Показатели фазового дрожания оборудования ТТЕ подводной волоконно-оптической кабельной системы должны соответствовать Рекомендациям МСЭ-Т G.823, G.825 и другим относящимся к этому случаю Рекомендациям в течение всего срока эксплуатации.

6.3 Последующие действия при возникновении аварийного состояния

Оконечное оборудование должно обнаруживать условия отказа и осуществлять последующие действия, как подробно изложено в соответствующих Рекомендациях. Сообщения об аварийных состояниях, которые должны учитываться для оптических усилителей, используемых в конкретной системе, должны быть ограничены критическими параметрами (например, входной и выходной оптической мощностью сигнала, условиями работы лазера накачки, такими как ток смещения и температура). Аспекты лазерной безопасности должны соответствовать Рекомендации МСЭ-Т G.664 и стандартам МЭК 60825-1 и МЭК 60825-2.

6.4 Автоматическое переключение

В тех случаях, когда для удовлетворения общего требования к готовности используется автоматическое переключение:

- ухудшение трафика, вызванное переключением, должно быть минимизировано и совместимо с общими показателями системы;
- находящемуся в рабочем режиме оборудованию должно быть послано сообщение;
- должна быть предусмотрена безусловная возможность ручного переключения, вносящая минимальные ухудшения в показатели системы.

Рекомендуется, чтобы резервное оборудование поддерживалось в рабочем состоянии и контролировалось так же, как и находящееся в рабочем режиме оборудование.

7 Характеристики и показатели подводного кабеля

7.1 Область применения

Подводный волоконно-оптический кабель может быть:

- подводным кабелем, рассчитанным на работу с повторителями;
- подводным кабелем, не рассчитанным на работу с повторителями;
- затопленным наземным кабелем.

Подводные кабели, рассчитанные на работу с повторителями, могут быть использованы во всех случаях применения подводного кабеля, а подводные кабели, не рассчитанные на работу с повторителями, – во всех МТС-приложениях.

Подводный кабель, не рассчитанный на работу с повторителями, одинаково хорошо подходит как для мелководного, так и для глубоководного применения. Он обычно подвергается широким испытаниям для подтверждения возможности его установки и ремонта на месте даже при самых худших погодных условиях без какого-либо ухудшения оптических, электрических или механических показателей или надежности.

Такая ремонтпригодность является необходимым качеством, поскольку длина пролетов возрастает и делает кабель слишком дорогим или трудно заменяемым. Полная (высокая) ремонтпригодность обычно важна для любого кабеля, проложенного в неблагоприятных условиях окружающей среды.

Высокий уровень обеспеченных показателей/прочности на растяжение (как для кабеля, так и для стыковочного бокса) учитывает возможность судна-кабелеукладчика поддерживать станцию в плохих погодных условиях и при любой глубине моря.

7.2 Характеристики передачи

Обычно характеристики передачи волокна перед каблированием (укладкой в кабель) аналогичны тем (или совпадают с теми), что определены в Рекомендациях МСЭ-Т G.652, G.653, G.654 или G.655. Типы волокна выбираются так, чтобы оптимизировать общий показатель цена–качество системы.

Характеристики передачи волокна, установленного в элементарной кабельной секции, должны находиться в определенных пределах изменений по отношению к характеристикам волокна до каблирования; в частности, конструкция кабеля, кабельные стыки и волокно должны быть такими, чтобы изгибы и микроизгибы кабеля вызывали пренебрежимо малое возрастание затухания. Это должно приниматься во внимание при определении минимального радиуса изгиба волокна в кабеле, а также в оборудовании (оптические кабельные стыки, оптические кроссы, блоки разветвления и т. д.).

Затухание волокна и хроматическая дисперсия должны оставаться постоянными в определенных пределах в течение проектного срока службы системы; в частности, конструкция кабеля должна минимизировать до приемлемых уровней как проникновение водорода извне, так и генерацию водорода внутри кабеля даже после того, как кабель поврежден на рабочей глубине; чувствительность оптического волокна к гамма-излучению также должна быть принята во внимание.

7.3 Механические характеристики и устойчивость к воздействию окружающей среды

7.3.1 Защита волокна структурой кабеля

Сохраняемость волокна определяется распространением дефектов внутри структуры стекла. Это зависит от начального механического состояния волокна перед каблированием, зависящего от физической структуры волокна (типа покрытия, внутренних напряжений), от условий окружающей среды при производстве волокна и от уровня отбраковочных испытаний, применяемых к волокну после его вытягивания. Это также зависит от среды, окружающей волокно в кабеле, и кумулятивного эффекта воздействия напряжений в течение срока жизни.

Прочность кабельной структуры вместе с прочностью волокна определяют механическое поведение всего кабеля. Они должны быть спроектированы так, чтобы гарантировать проектный срок службы системы, принимая во внимание кумулятивный эффект нагрузки, прилагаемой к кабелю при прокладке, извлечении и ремонте, а также любую постоянную нагрузку или остаточное удлинение, прилагаемые к установленному кабелю.

Для защиты оптических волокон широко используются два основных типа кабельной структуры:

- плотная кабельная структура, когда волокно строго фиксируется в кабеле, так что удлинение волокна во многом равно удлинению кабеля;
- свободная кабельная структура, когда волокно может свободно перемещаться внутри кабеля, так что удлинение волокна меньше, чем удлинение кабеля, оставаясь нулевым, пока удлинение кабеля не достигнет определенного значения.

Кроме того, кабель должен защищать волокно от воды, влажности и внешнего давления, а также ограничивать продольное проникновение воды после повреждения оболочки кабеля на рабочей глубине.

7.3.2 Механические показатели волокна

Механические показатели волокна в значительной степени зависят от применения тестовых испытаний к полной длине волокна. Тестовые испытания оптического волокна характеризуются нагрузкой, приложенной к волокну, или удлинением волокна и временем применения. Уровень тестовых испытаний должен определяться в зависимости от кабельной структуры. Сростки волокна должны проходить аналогичные испытания. Рекомендуется, чтобы длительность тестовых испытаний была как можно более короткой.

Механическая прочность сростков волокна должна учитываться при определении минимальных радиусов изгиба волокна в кабеле и в оборудовании (блоках разветвления, кабельных стыковочных боксах или кабельных муфтах).

7.3.3 Механические показатели кабеля

Кабель наряду с кабельными стыковочными боксами, кабельными муфтами и кабельными переходами должен обслуживаться судном-кабелеукладчиком во время операций прокладки и ремонта с учетом аспектов безопасности; он должен выдерживать многократные прохождения через носовую часть судна-кабелеукладчика.

Кабель должен быть ремонтпригодным, а время, требуемое для того, чтобы вытащить кабельный стык на борт для ремонта в нормальных рабочих условиях, должно быть достаточно коротким.

В случае если кабель был зацеплен "кошкой", большим якорем или рыболовными снастями, он обычно рвется под нагрузкой, которая равна некоторой части (в зависимости от типа кабеля и характеристик якоря) нагрузки на разрыв, которой он подвергается в условиях прямого тестирования; после этого существует риск уменьшения срока службы волокна и кабеля и их надежности в окрестности точки разрыва, в частности, вследствие нагрузки, приложенной к волокну, или проникновения воды; поврежденная часть кабеля должна быть заменена; ее длина при этом должна оставаться в установленных пределах.

Некоторые параметры определяются в Рекомендации МСЭ-Т G.972, которая описывает механические характеристики кабеля и способность кабеля к укладке, выемке и ремонту, и должны использоваться в качестве ориентиров при работе с кабелем:

- нагрузка на разрыв кабеля, измеренная во время квалификационных испытаний;
- нагрузка на разрыв волокна в кабеле, измеренная во время квалификационных испытаний;
- номинальная прочность на растяжение в переходном режиме, которая может встретиться случайно, в особенности при операциях по ремонту кабеля;
- номинальная эксплуатационная прочность на растяжение, которая может встретиться во время ремонта;
- номинальная постоянная прочность на растяжение, которая характеризует состояние кабеля после укладки;
- минимальный радиус изгиба кабеля, который может быть использован как ориентир при работе с кабелем.

7.3.4 Защита кабеля

Подводный волоконно-оптический кабель должен иметь хорошую защиту от опасностей окружающей среды на рабочей глубине: защиту от морской фауны, рыбьих зубов и абразивного износа, а также броню против агрессивных действий и активности судов. Различные типы защищенного кабеля определяются в Рекомендации МСЭ-Т G.972, в частности:

- кабель с однократной армированной оболочкой;
- кабель с двойной армированной оболочкой;
- армированный кабель для скалистых грунтов.

Наземный волоконно-оптический кабель 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 армированной защитной оболочкой, обслуживаемой при потенциале земли, который пригоден для прямой укладки в грунт;

- кабель, укладываемый в кабелепровод, с внешней защитной оболочкой (которая может защитить от рыбьих зубов), и которая удобна для затягивания в кабелепроводах.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Рекомендуется, чтобы кабель имел в своей структуре дорожку, проводящую ток от электрода, для того чтобы определять его местоположение с использованием погружаемого оборудования. Ток электрода той величины, которая необходима для обнаружения местоположения кабеля, обеспечивается оконечной станцией, частота тока от 4 до 40 Гц.

7.4 Характеристики волокна в подводном кабеле

7.4.1 Общие положения

Основные параметры, характеризующие оптическое волокно, следующие:

- коэффициент затухания для всего диапазона рабочих длин волн, выраженный в дБ/км;
- коэффициент затухания для всего диапазона длин волн накачки, 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;
- средняя по ансамблю поляризационная модовая дисперсия (PMD) в пс/(км)^{1/2};
- коэффициент рамановского усиления в м/Вт в случае использования распределенного рамановского усиления.

В соответствии с этими параметрами проектировщики подводных систем могут различать несколько типов оптических волокон, в частности:

- 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 с компенсацией дисперсии (DCF);
- волокна с отрицательным наклоном дисперсии;
- волокна с очень большой эффективной площадью сечения;
- волокна с сердечником из чистого кварцевого стекла.

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 комбинации волокон указанных выше типов, чтобы обеспечить показатели системы. В таком случае говорят, что эта система является системой с управляемой дисперсией.

7.4.2 Затухание волокна

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

7.4.3 Нелинейность волокна

Нелинейные эффекты следует учитывать тогда, когда проектируются длинные оптические звенья с усилителями OFA, имеющими большую выходную мощность. Эти эффекты накапливаются вдоль оптического звена связи и могут привести к значительному ухудшению 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 нормированной амплитуды. Эта нелинейность в присутствии хроматической дисперсии приводит к уширению импульса во временной области и, как следствие, к ухудшению показателей системы.

Однако в системах с несколькими длинами волн основным нелинейным эффектом обычно является фазовая кроссмодуляция, вызванная присутствием соседних длин волн. Эта нелинейность также приводит к ухудшению показателей.

7.4.4 Поляризационная модовая дисперсия (PMD)

Небольшие отклонения от точной цилиндрической симметрии в сердечнике волокна ведут к двойному лучепреломлению из-за различных показателей преломления мод, связанных с ортогонально поляризованными составляющими фундаментальной моды. PMD вызывает расширение импульса, и ее максимальное значение должно быть ограничено. Это значение может быть выражено для всего звена и обычно фиксируется в виде определенной части битового временного интервала. PMD выражается в $\text{пс}/(\text{км})^{1/2}$.

7.4.5 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 расширению импульса и может служить главной причиной ухудшения сигнала. В зависимости от проекта системы и в особенности от количества используемых длин волн, может оказаться интересным управлять ими по-разному, для того чтобы ограничить расширение импульсов и другие эффекты распространения. В общем случае такое управление ведет к формированию дисперсионной карты, которая показывает, как дисперсия управляется вдоль всего звена.

7.4.5.1 Отображение дисперсии

Дисперсионная карта является главным инструментом для описания характеристик хроматической дисперсии системы. Накопленная дисперсия определяется как дисперсия, измеренная между выходом оконечного передатчика и любой другой точкой на данном оптическом тракте. Дисперсионная карта представляет собой график хроматической дисперсии в локальной точке для заданной рабочей длины волны в зависимости от расстояния от оптического передатчика до оптического приемника. Дисперсионная карта будет зависеть от числа длин волн в системе.

7.4.5.2 Реализация управления дисперсией

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

Остаточная накопленная дисперсия для каждой длины волны может быть компенсирована до нуля путем использования выравнивающего волокна определенной длины или других пассивных устройств компенсации дисперсии на передающей (предкомпенсация) и/или приемной стороне (посткомпенсация) в оборудовании TTE.

При проектировании систем необходимо учитывать все как случайные, так и систематические причины возможной дисперсии относительно запланированной в дисперсионной карте, включая (но не ограничиваясь этим), следующее:

- неопределенность в измерении длин волн с нулевой дисперсией, дисперсии и наклона дисперсии в составляющих волокнах DSF, NDSF, DCF, NZDSF, CSF, волокнах с отрицательным наклоном, EDF и т. д.;
- неопределенность в температуре, давлении, коэффициентах напряжений в этих волокнах в кабеле и камерах под давлением;
- неопределенность температуры и напряжения в этих волокнах в процессе измерения дисперсии;
- неопределенность температуры уложенного волокна;
- неопределенность, являющуюся результатом переупорядочивания и случайного выбора части волоконных наборов при сборке элементарных кабельных участков;
- старение;
- ремонтные операции.

Приложение А

Реализация подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей

А.1 Введение

В настоящем Приложении описываются различные аспекты практики широкого использования подводных кабельных систем без повторителей с учетом применения усилителей OFA в качестве усилителей мощности и предусилителей.

Типичные параметры системы приведены в таблице А.1 для скоростей до 5 Гбит/с и систем с одной несущей волной в таблице А.2 – для скоростей выше 5 Гбит/с и систем с волновым мультиплексированием (WDMS).

Информация, представленная в настоящем Приложении предназначена в качестве руководства по текущей практике, а не в качестве рекомендации, относящейся к существующим или будущим системам.

Определения терминов, используемых в настоящей Рекомендации, можно найти в Рекомендации МСЭ-Т G.972.

Таблица А.1/G.973 – Показательные параметры подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей с одной несущей волной и скоростью до 5 Гбит/с

Системы	560 Мбит/с (PDH) 4 × 140 Мбит/с	622 Мбит/с (СЦИ) 4 × 140/155 Мбит/с	2488 Мбит/с (СЦИ) 16 × 140/155 Мбит/с	4977 Мбит/с (СЦИ) 32 × 140/155 Мбит/с
Емкость передачи (канал 64 кбит/с)	7560–7680	7560–7680	30 240–30 720	60 480–61 440
Скорость передачи информации (Мбит/с)	~560	~560	~2240	~4480
Линейная скорость (Мбит/с) (Примечание 4)	~591	~622	~2488	~4977
Линейный код (Примечание 3)	Максимальная гибкость	Скремблированный NRZ (СЦИ)	Скремблированный NRZ (СЦИ)	Скремблированный NRZ (СЦИ)
Максимальная длина системы (км) (Примечание 2)	>120	>120	>100	>80
Глубина воды (м)	До ~4000			
Тип волокна	G.652; G.653; G.654			
Рабочая длина волны (нм)	~1550			
Проектный срок службы системы (лет)	25			
Надежность (Примечание 5)	<1 ремонта в 25 лет			
Показатели ошибок	G.821	G.826		
Фазовое дрожание	G.823	G.958 (оптические интерфейсы) FFS (электрические интерфейсы) (Примечание 1)		

Таблица А.1/Г.973 – Показательные параметры подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей с одной несущей волной и скоростью до 5 Гбит/с

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – FFS означает "для дальнейшего изучения".

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Максимальная длина системы является только ориентировочной. Она может быть значительно увеличена путем использования нестандартных систем PDH и СЦИ или бустерных оптических усилителей и/или оптических предусилителей. Оптические усилители с дистанционной накачкой также могут быть использованы для увеличения длины системы (см. рисунок А.2).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В системах СЦИ используется скремблированный код NRZ. В системах PDH линейный код выбирается максимально гибко. Можно также комбинировать эти линейные коды с кодами исправления ошибок, используемыми для улучшения показателей системы.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Для систем PDH значение линейной скорости является только ориентировочным.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – См. подраздел 5.3.

ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Можно будет рассмотреть технологию WDM для увеличения емкости передачи и сетевой гибкости систем. Параметры подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей, использующих технологию WDM, требуют дальнейшего изучения.

Таблица А.2/Г.973 – Показательные параметры подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей для скоростей выше 5 Гбит/с и системы с волновым мультиплексированием (FFS)

Системы	10 G			
Емкость передачи (канал 64 кбит/с)				
Скорость передачи информации (Мбит/с)				
Линейная скорость (Мбит/с) (Примечание 4)				
Линейный код (Примечание 3)				
Максимальная длина системы (км) (Примечание 2)				
Глубина воды (м)	До ~4000			
Тип волокна	G.652; G.653; G.654; G.655			
Рабочая длина волны (нм)	~1550			
Проектный срок службы системы (лет)	25			
Надежность (Примечание 5)	<1 ремонта в 25 лет			
Показатели ошибок				
Фазовое дрожание				

Таблица А.2/Г.973 – Показательные параметры подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей для скоростей выше 5 Гбит/с и системы с волновым мультиплексированием (FFS)

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – FFS означает "для дальнейшего изучения".

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Максимальная длина системы является только ориентировочной. Она может быть значительно увеличена путем использования нестандартных систем PDH и СЦИ или бустерных оптических усилителей и/или оптических предусилителей. Оптические усилители с дистанционной накачкой также могут быть использованы для увеличения длины системы (см. рисунок А.2).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В системах СЦИ используется скремблированный код NRZ. В системах PDH линейный код выбирается максимально гибко. Можно также комбинировать эти линейные коды с кодами исправления ошибок, используемыми для улучшения показателей системы.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Для систем PDH значение линейной скорости является только ориентировочным.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – См. подраздел 5.3.

А.2 Конфигурация системы

А.2.1 Составные части подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей

Цель подводной волоконно-оптической кабельной системы без повторителей состоит в установлении звеньев передачи между двумя или более оконечными станциями, расположенными в ограниченной географической зоне.

Если такая кабельная система соединяет только две оконечные станции, то она может называться подводным волоконно-оптическим кабельным звеном. В других случаях она может называться подводной волоконно-оптической кабельной сетью.

На рисунке 1 показаны основная концепция подводной кабельной волоконно-оптической системы без повторителей и ее границы. Подводные оптические блоки разветвления могут быть включены в систему в зависимости от требований такой системы.

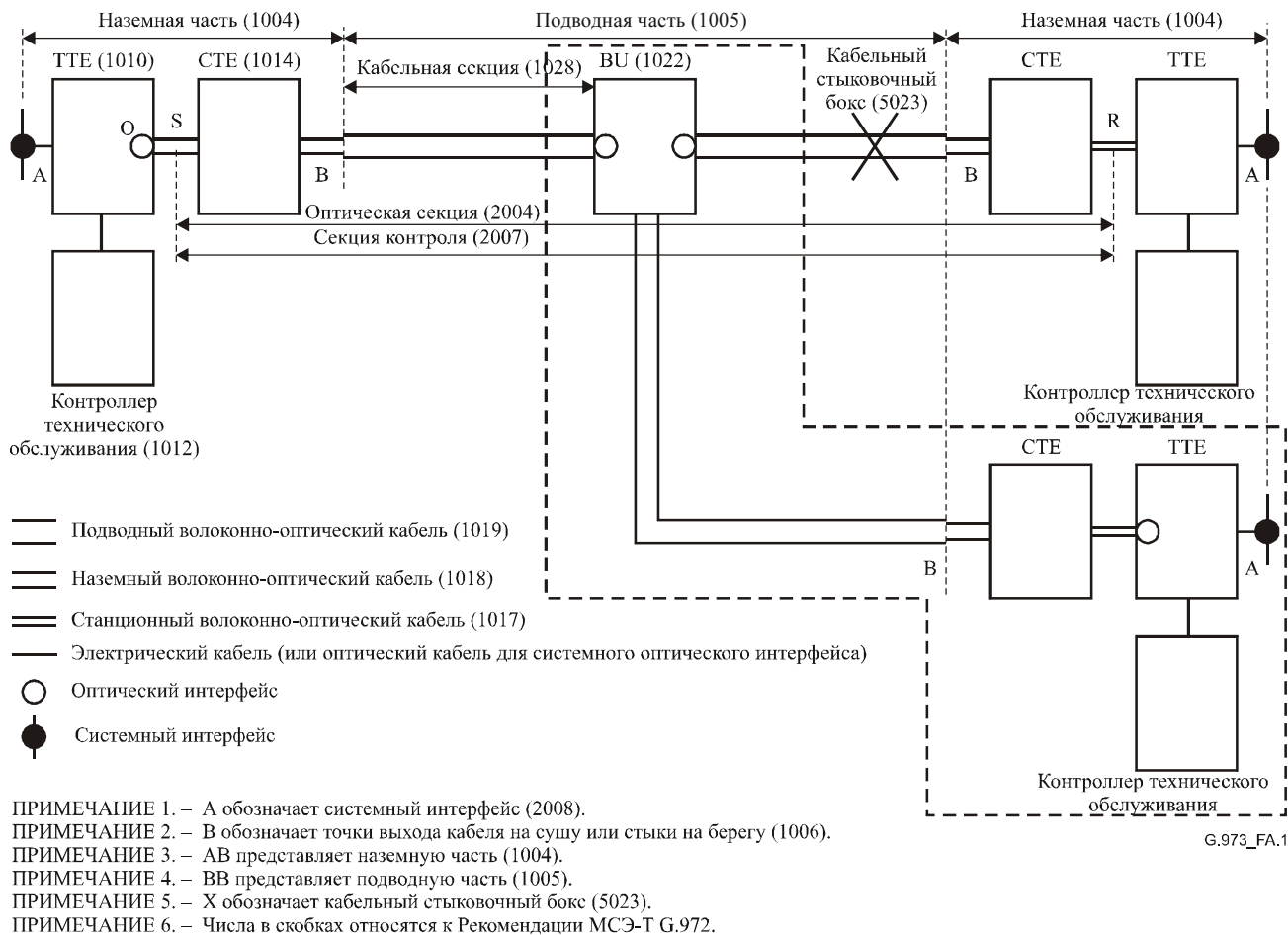


Рисунок А.1/G.973 - Пример подводной волоконно-оптической кабельной системы без повторителей

На рисунке А.1 "А" обозначает системный интерфейс на оконечной станции (где система может иметь интерфейсы с наземными цифровыми линиями или с другими подводными кабельными системами), а "В" обозначает стыки на берегу или точки выхода кабеля на сушу. Буквы в скобках в последующих подразделах относятся к рисунку А.1.

Подводная волоконно-оптическая кабельная система без повторителей состоит из:

- наземной части, между системным интерфейсом на оконечной станции (А) и стыком на берегу или точкой выхода кабеля на сушу (В), которая включает наземный волоконно-оптический кабель, стыки на суше и оконечное оборудование системы, возможно, в комбинации с OFA (усилитель мощности и/или предусилитель) и/или в комбинации с соответствующими электронными компонентами, необходимыми для осуществления дистанционной накачки для распределенных усилителей;
- подводной части на дне моря, между стыками на берегу или точками выхода кабеля на сушу (В), которая включает подводный волоконно-оптический кабель и, где это необходимо, подводное оборудование, т. е. блок(и) разветвления, кабельный(е) стыковочный(е) бокс(ы) и, возможно, легированное волокно, которое должно использоваться как оптический усилитель с дистанционной накачкой, который мог бы быть установлен в специальном боксе, уложенном на дно моря, или быть встроен в тот же кабель.

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

Подводный волоконно-оптический кабель защищен, где это необходимо: существуют несколько различных типов кабеля, характеризующихся своей механической структурой, таких как легкий кабель, легкий защищенный кабель, легкий армированный кабель, кабель с однократной армированной оболочкой, кабель с двойной армированной оболочкой и армированный кабель для скальных грунтов.

Наземный волоконно-оптический кабель также требует защиты.

A.2.2 Конфигурация передачи

Конфигурация передачи характеризует поток информации между оконечными станциями на маршруте подводной волоконно-оптической кабельной системы.

Волоконно-оптическая кабельная секция может содержать определенное число волоконно-оптических пар, и одна такая пара может поддерживать некоторое число цифровых линейных участков. Число цифровых линейных участков, переносимых подводной волоконно-оптической кабельной секцией, определяется произведением этих двух чисел.

Пассивный подводный оптический блок разветвления (BU) вводится в подводную часть подводной волоконно-оптической кабельной сети, где необходимо соединить более двух кабельных секций.

A.2.3 Контроль за системой и ее дистанционное техническое обслуживание

Оборудование для контроля и дистанционного технического обслуживания системы, расположенное в оконечном устройстве, вместе с контрольным блоком BU, обычно обеспечивает определение местонахождения отказов.

Средства контроля обычно включают одну или несколько следующих возможностей:

- предоставление без перерыва в обслуживании информации, достаточной для осуществления профилактического технического обслуживания и ремонта;
- индикация приближающегося отказа оборудования, находящегося в рабочем режиме, с тем чтобы можно было предпринять или запланировать превентивное действие (например, использование кодирования с исправлением ошибок в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.975 "Упреждающая коррекция ошибок для подводных систем");
- средства определения местонахождения отказов и перемежающихся (по длительности и частоте) неисправностей, которые приводят к тому, что система не может удовлетворять требованиям к показателям качества системы.

Могут быть использованы и другие средства, такие как оптическая рефлектометрия и электрические измерения с использованием оборудования, установленного на оконечных станциях или на борту судна-кабелеукладчика, которые позволяют повысить точность определения местонахождения отказов.

Контроль за системой может быть облегчен наличием компьютеризованного оборудования, расположенного на одном или обоих концах кабельной системы.

В случае использования усилителей OFA для управления их критическими параметрами предпочтительно, чтобы каналы технического обслуживания усилителей OFA были подсоединены к существующим цепям технического обслуживания оборудования ТТЕ. В действительности в конфигурации системы с усилителями (см. рисунок А.2) нет необходимости использовать выделенный служебный канал, независимый от кадров СЦИ и PDH, для того чтобы передавать сигналы аварийного состояния усилителей мощности и предусилителей и управлять ими.

Для оптических усилителей с дистанционной накачкой, в которых подводный узел полностью пассивен, а активная часть (электрооптические компоненты, а также лазерная накачка) полностью находится на приемной или передающей стороне оборудования ТТЕ, не должно рассматриваться использование какой-либо конкретной стратегии технического обслуживания, отличной от той, что принята для оборудования ТТЕ.

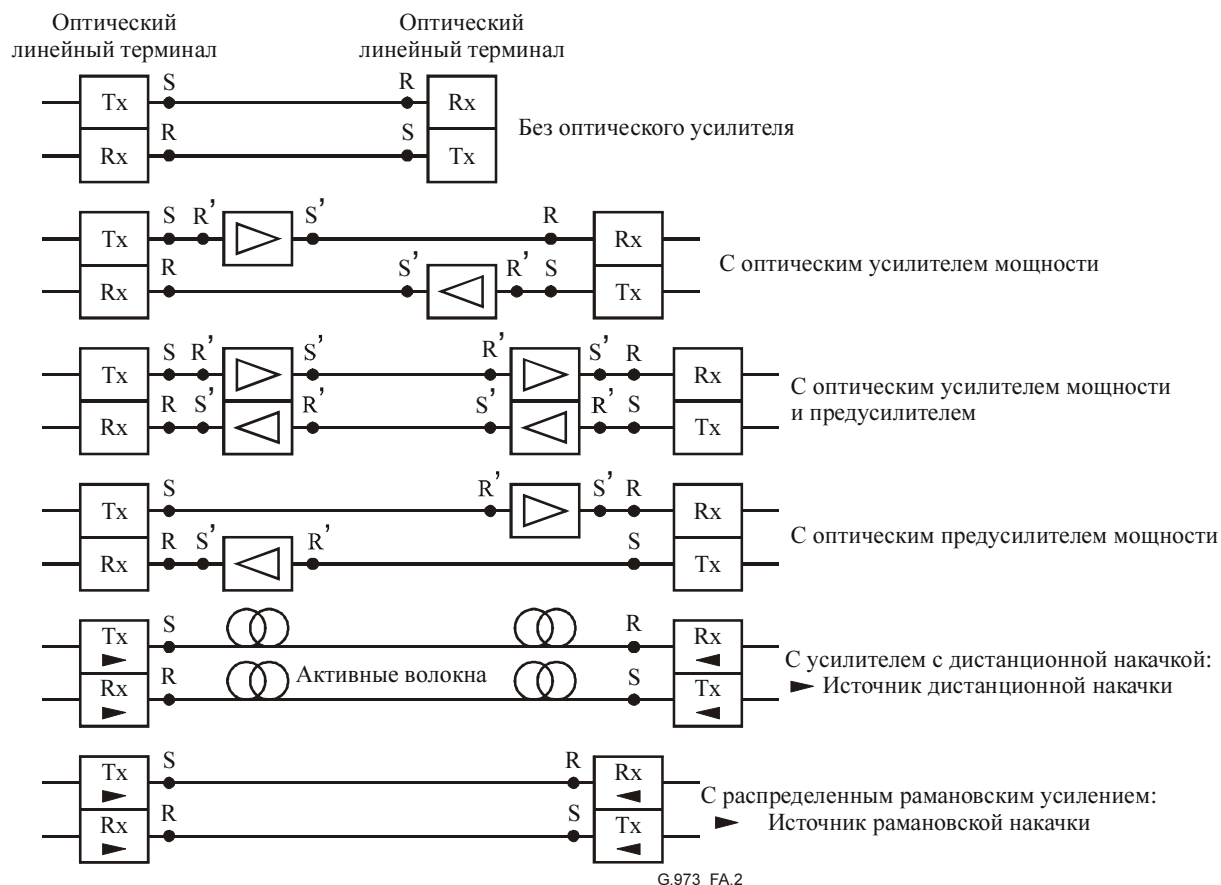


Рисунок А.2/G.973 – Возможные конфигурации системы

А.2.4 Интеграция системы

Подводное волоконно-оптическое кабельное звено связи или сеть может быть сформировано с использованием двух или более подводных волоконно-оптических систем (т. е. наборов оборудования, кабеля, оконечного оборудования, блоки ВU и т. д.), разработанных независимо различными поставщиками.

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

А.3 Характеристики линейного сигнала

А.3.1 Структура линейного сигнала

Линейный кадр и линейная скорость передачи являются результатом операций мультиплексирования и кодирования, осуществленных оборудованием ТТЕ, учитывая включение служебных и контрольных каналов.

Для систем PDH линейный код выбирается так, чтобы удовлетворить характеристикам подводной части. Он может быть использован для таких целей, как адаптирование частотного спектра оптического линейного сигнала на оптическом интерфейсе и мониторинга линейного коэффициента ошибок по битам на приемном оконечном оборудовании. Для целей контроля (системного мониторинга и/или передачи контрольной информации) могут быть использованы нарушения линейного кода.

Для систем СЦИ линейный код и его нарушение должны соответствовать надлежащим Рекомендациям.

Как для систем PDH, так и для систем СЦИ линейный код мог бы быть использован в комбинации с кодированием с исправлением ошибок (например, в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.975 "Упреждающая коррекция ошибок для подводных систем"), для того чтобы улучшить показатели системы.

А.3.2 Линейный коэффициент ошибок

Численные значения линейного коэффициента ошибок выражаются в виде $n \times 10^{-p}$, где p – целое число.

Для систем PDH контрольное оборудование обычно обнаруживает нарушения линейного кода. Наблюдаемый линейный коэффициент ошибок вычисляется непосредственно по результатам наблюдения. Более точное значение, т. е. фактический линейный коэффициент ошибок, может быть получен путем исключения намеренных нарушений линейного кода из результата вычислений. Нарушения линейного кода могут быть использованы для целей контроля или мониторинга.

Для систем СЦИ линейный коэффициент ошибок оценивается по принятому линейному сигналу на основе учета нарушений четности, фиксируемых байтом В2 в заголовке мультимплексной секции (MSOH) кадров СЦИ.

А.4 Функционирование системы

А.4.1 Связь между терминалами

В общем случае между двумя оконечными станциями устанавливаются по крайней мере два служебных канала: один через подводную волоконно-оптическую кабельную систему для эксплуатации и технического обслуживания этой системы, а другой – путем использования внешних средств для поддержания связи в системе между двумя оконечными станциями в случае неисправности системы.

В частности, служебный канал, как правило, создается для обеспечения возможности передачи сообщений между контрольным оборудованием соответствующих оконечных станций с целью предоставления информации о состоянии системы и цифровых линейных участков, а также о текущей деятельности по контролю, с тем чтобы помочь мониторингу системы в целом и определению места повреждения в системе.

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

А.5 Характеристики пассивного блока разветвления

А.5.1 Общие положения

Подводные оптические пассивные блоки разветвления:

- способны функционировать в соответствии с Рекомендациями по системным показателям в течение проектного срока службы в условиях окружающей среды на дне моря (температуры, давление и т. д.);
- проектируются, чтобы их можно было обрабатывать, т. е. укладывать, извлекать и перемещать, без ухудшения показателей кабеля, кабельных стыковочных боксов, блоков разветвлений и муфт, при условии соблюдения спецификаций обработки;
- предназначены для транспортировки и хранения при определенной температуре без воздействия на проектный срок службы при условии, что выполняются правила транспортировки и хранения;
- способны функционировать на борту судна-кабелеукладчика во время операций прокладки и ремонтных работ без воздействия на проектный срок службы.

Размер подводных оптических блоков разветвления таков, что они могут обрабатываться соответствующим оборудованием судна-кабелеукладчика.

А.5.2 Составляющие блока BU

Основной составляющей блока BU является:

- корпус BU:
 - механическая часть. Корпус спроектирован таким образом, чтобы противостоять давлению на глубине моря, быть водонепроницаемым, обладать высокой механической прочностью и иметь оптические соединения с кабельными секциями на каждой стороне блока BU.

Приложение В

Подводные волоконно-оптические кабельные системы без повторителей, использующие оптические усилители с дистанционной накачкой: бюджет оптической мощности между оптическими эталонными точками S и R и мониторинг линии

В.1 Оптические усилители с дистанционной накачкой

Использование оптических усилителей с дистанционной накачкой является той технологией, которая, по всей вероятности, приносит большую пользу подводным системам без повторителей.

Оптический усилитель с дистанционной накачкой состоит из секции легированного волокна, которое активизируется лучом накачки, посылаемым с оконечной станции. При этом отсутствует необходимость в электрическом питании удаленного оптического усилителя.

Эта технология применима как на передающей, так и на приемной стороне звена передачи (все электрооптические компоненты, главным образом лазеры накачки, располагаются на оконечных станциях), хотя опыт показывает, что ее более эффективно использовать на приемной стороне.

- i) Легированное волокно в комбинации с оптическим изолятором образуют полностью пассивное устройство, которое может быть реализовано так, как показано на рисунке В.1, либо в виде специальной коробки, уложенной на дне моря, либо быть встроено в кабель.

Оптимальное размещение легированного волокна вдоль звена связи определяется компромиссом между следующими параметрами:

- коэффициентом шума легированного волокна;
- усилением оптического усилителя с дистанционной накачкой;
- доступной оптической мощностью лазера(ов) накачки;
- затуханием волокна оптической линии связи;
- запасом на ремонт кабеля между легированным волокном и передающей или приемной оконечной станцией.

Опыт показывает, что хорошим компромиссом является расположение легированного волокна в нескольких десятках километрах от приемного конца. Это позволяет распределить запас на ремонт кабеля 1 дБ на весь проектный срок службы. Кроме того, запас на ремонт кабеля может быть увеличен путем увеличения оптической мощности лазера накачки без каких-либо последствий для подводной части системы.

- ii) Распределенное рамановское усиление.

Находится в стадии изучения.

В.2 Бюджет оптической мощности для систем, использующих оптические усилители с дистанционной накачкой

Для того чтобы увеличить длину оптической секции, необходимо оптимизировать положение легированного волокна вдоль звена связи.

Определение бюджета оптической мощности, как оно дано в подразделе 5.2.1, нельзя применить в этом случае, поскольку существует усиление оптического сигнала вдоль звена связи.

Бюджет оптической мощности, поэтому, больше не равен разности уровней оптической мощности между двумя концами этого звена, а равен допустимым потерям между двумя концами звеньев (т. е. между оптическими эталонными точками S и R).

Используя в качестве примера схему на рисунке В.1, усиление звена можно выразить следующим способом:

Усиление звена = Бюджет мощности (с RPOA) – Бюджет мощности (без RPOA)

Усиление звена = $(A_1 + A_2)$ (с RPOA) – A_1 (без RPOA),

где A_1 и A_2 – затухание волокна до и после легированного волокна, соответственно.

Вышеприведенная формула показывает, что изменение бюджетного усиления является функцией оптической мощности лазера накачки и затухания волокна между усилителем на легированном волокне и приемной станцией (A_2) (см. рисунок В.1).

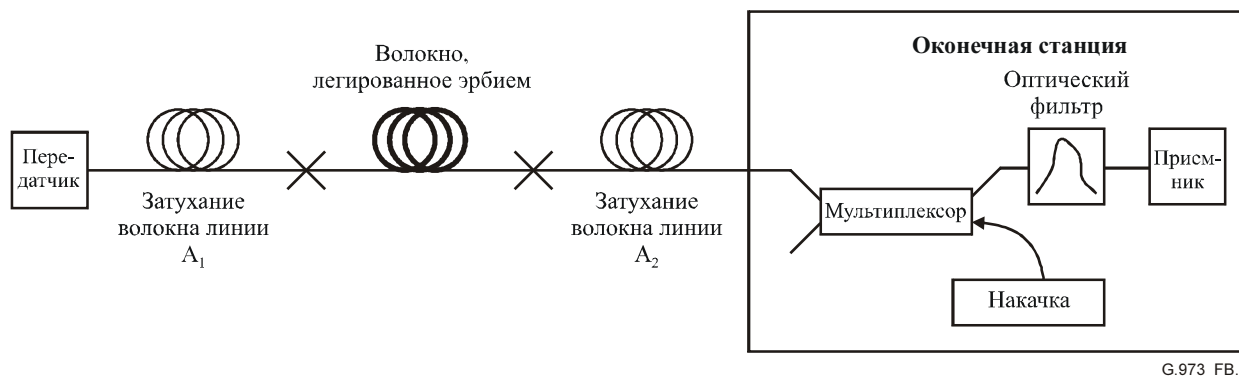


Рисунок В.1/G.973 – Пример конфигурации системы с оптическим усилителем с дистанционной накачкой, установленным со стороны приемного конца

В.3 Мониторинг линии на отрезке накачки

Показатели системы без повторителей с распределенным рамановским усилителем и усилителем с дистанционной накачкой в значительной степени зависят от уровня мощности накачки, потерь волокна на отрезке накачки и условий возникновения неисправностей. Для мониторинга состояния и показателей со стороны наземной станции требуется система мониторинга линии на отрезке накачки. Эта система должна быть способна функционировать, когда звено связи находится в рабочем и/или в нерабочем режиме без нарушения качественных показателей системы.

На рисунке В.2 показана основная конфигурация системы мониторинга линии в подводной волоконно-оптической кабельной системе без повторителей. Одним из кандидатов на использование в таких системах является оптический рефлектометр во временной области (OTDR), который используется преимущественно для диагностики волокна и определения местонахождения отказа оптических волокон, но может быть использован в качестве системы мониторинга характеристик усиления оптических усилителей.

В рамках мониторинга линии могут быть получены две важные характеристики:

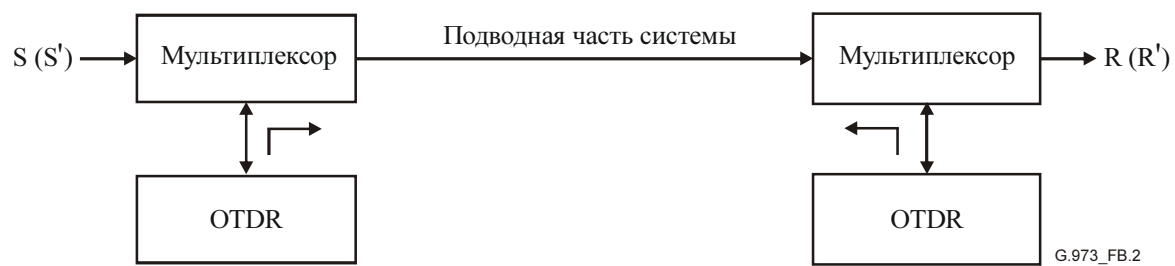
- коэффициент распределенного рамановского усиления (распределение усиления оптического усилителя);
- коэффициент оптического усиления усилителей с дистанционной накачкой.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для определения коэффициента оптического усиления в оптических усилителях с дистанционной накачкой не требуется оптических изоляторов. Для случаев, когда используются оптические усилители с дистанционной накачкой и оптическими изоляторами, определить коэффициент усиления нельзя.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Возможности мониторинга линии при использовании распределенного рамановского усиления не будут зависеть от наличия оптических изоляторов в усилителях с дистанционной накачкой.

Рефлектометры OTDR с точки зрения возможности детектирования могут быть разделены на две категории. Эти две категории охватывают рефлектометры, использующие метод прямого детектирования и метод когерентного детектирования. Для мониторинга линии больше преимуществ имеют когерентные рефлектометры (COTDR), чем рефлектометры прямого детектирования, поскольку они позволяют достичь более высокой чувствительности детектирования и очень высокой избирательности для слабого обратно-рассеянного сигнала в присутствии накопленного шума спонтанного излучения.

Что касается требований к источнику зондирующего оптического излучения для OTDR, то необходим источник зондирующего излучения с небольшой мощностью сигнала, формой огибающей и длиной волны, которые не будут влиять на характеристики передачи. Нужно иметь в виду, что использование источника зондирующего излучения высокой мощности в системах с усилителями ведет к ухудшению показателей передачи (см. рисунок В.2).



G.973_FB.2

Рисунок В.2/G.973 – Пример мониторинга линии с использованием OTDR

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 международных системы передачи, телефонные, телеграфные, факсимильные и арендованные каналы
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требование 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