

УДК 621.383:004.721

МАГИСТРАЛЬНЫЕ ЗАЩИЩЕННЫЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

В. В. Шубин

(ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ", г. Саров Нижегородской области)

Рассмотрены многоволновые защищенные волоконно-оптические системы передачи с оптическими усилителями и соответствующая им технология современных оптических транспортных сетей. Предлагается новое решение для построения таких систем. Показано, что магистральные защищенные волоконно-оптические системы передачи могут быть построены при расположении промежуточных пунктов вне контролируемой зоны. Предлагаемая защищенная магистральная волоконно-оптическая система состоит из трех частей: информационной, мониторинга и защиты информации. Для мониторинга систем с оптическими усилителями применяются когерентные рефлектометры, которые берут на себя часть функций защиты на основе метода обратного рассеяния. Защита информации обеспечивается специально введенным устройством на основе метода прямого детектирования. Таким образом, защита информации организована с использованием двух методов. В магистральных волоконно-оптических системах передачи защита информации техническими средствами может быть осуществлена с применением технологий трансокеанских волоконно-оптических систем.

Ключевые слова: магистральная защищенная волоконно-оптическая система передачи, технология оптических транспортных сетей, оптические усилители на активных оптических волокнах, система мониторинга на основе когерентных оптических рефлектометров, технические решения для магистральных волоконно-оптических трансокеанских линий передачи.

Введение

Магистральные системы строятся на основе технологии оптических транспортных сетей (Optical Transport Network — OTN) [1]. Отличительными особенностями волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) по технологии OTN являются:

- высокая скорость передачи информации (40, 100, 200, 600 Гбит/с и выше);
- длина волны в С-диапазоне (1 535—1 565 нм);
- плотное волновое уплотнение (по технологии DWDM) [2];
- фазовая манипуляция (PSK) [3];
- упреждающая коррекция ошибок (FEC) [4];
- многофункциональность.

В одном волокне присутствуют каналы разнородной информации: для цифрового телевидения, видеоконференций, интегральной телефонии, информационно-вычислительных систем

и др. Качество магистральных ВОСП определяется вероятностью ошибки на канал (BER) (по требованию Международного союза электросвязи, сектор телекоммуникаций (МСЭ-Т), $BER = 10^{-12}$). Для магистральных систем используются только одномодовые волокна [5—9], в которых излучение одной моды сосредоточено преимущественно в сердцевине волокна (диаметр модового пятна 8—12 мкм соизмерим с размерами сердцевины) и не выходит в оболочку и защитное покрытие волокна. Извлечение излучения из волокна неизбежно приводит к потерям информационного сигнала в месте съема (закон сохранения энергии).

Современный перехват информации для магистральных ВОСП производится (так считается при расчете) в наиболее благоприятном месте и при оптимальной чувствительности на основе *активных* и *компенсационных* способов съема [10].

При активном способе через боковую поверхность волокна выводится часть мощности излучения, при этом используются приемники с предельной чувствительностью. К ним относятся устройства с квантовым ограничением (Limit Quantum Detection — LQD) при коэффициенте ошибок $BER = 10^{-2}$. Для фазовой манипуляции приемник перехвата должен содержать соответствующие устройства.

При компенсационных способах выведенное излучение компенсируется вводом оптического сигнала через боковую поверхность волокна, поэтому метод относится к *нейнтризивным* (без вторжения в волокно). При полном совпадении параметров выведенный и введенный сигналы отличает только их неодновременность (а она присутствует всегда) за счет переходных процессов.

На рис. 1 представлена схема многопролетной обычной ВОСП. Многопролетная система может быть разбита на ряд однопролетных ВОСП, где средства защиты для каждого пролета существуют отдельно.

В многопролетной системе РФЯЦ-ВНИИЭФ на одном пролете реализована защищенная ВОСП на основе контроллеров FOBOS-100GL, которая удовлетворяет требованиям ФСЭК и ФСБ России для передачи информации, составляющей государственную тайну [11]. Конечно, схема ВОСП, основанная на FOBOS-100GL, имеет право на существование, но не все оптические усилители должны быть расположены в пределах контролируемой зоны. Такая ВОСП применима для многопролетных систем, но требует разбиения системы защиты на отдельные однопролетные системы с организацией отдельных абонентских пунктов, которые предусматрива-

ют создание новой контролируемой зоны, подготовку обслуживающего персонала, помещений и т. д. К тому же требуется создание технического и программного обеспечения общей контрольной системы ВОСП. Это решение экономически и технически не оптимально для предприятий и организаций, создающих новую контролируемую зону. Поэтому требуется система, где защита информации осуществляется только на концах линии.

В мире существует множество трансокеанских систем, промежуточные пункты которых находятся под водой и не обслуживаются длительное время (до 25–30 лет) [12]. Эти ВОСП относятся к магистральным линиям со своей спецификой, обусловленной погружением на глубину промежуточных пунктов (до 7 000 метров). Таким образом, для передачи информации магистральные защищенные ВОСП могут строиться так же, как трансокеанские системы. Такие оптические системы должны содержать систему защиты информации, размещенную только на концах линии. Мощность канального информационного сигнала на входе пролета защищенной ВОСП (так же, как мощность информационного сигнала на входе контролируемой зоны для однопролетной линии) может быть не более чем

$$W_0 = W_{\text{п}} - 10 \lg \left(K_{\text{п}} (1 - 10^{-0,1A_{\text{к}}}) \right) \text{ [дБм]}, \quad (1)$$

где $W_{\text{п}}$ [дБм] — чувствительность оптического приемника перехвата информации (на канал) при заданной скорости приема; $K_{\text{п}}$ [отн. ед.] — коэффициент передачи бокового излучения из волокна; $A_{\text{к}}$ [дБ] — сигнал срабатывания системы защиты (при средних вероятностях обнаружения и ложной тревоги при нарушении).

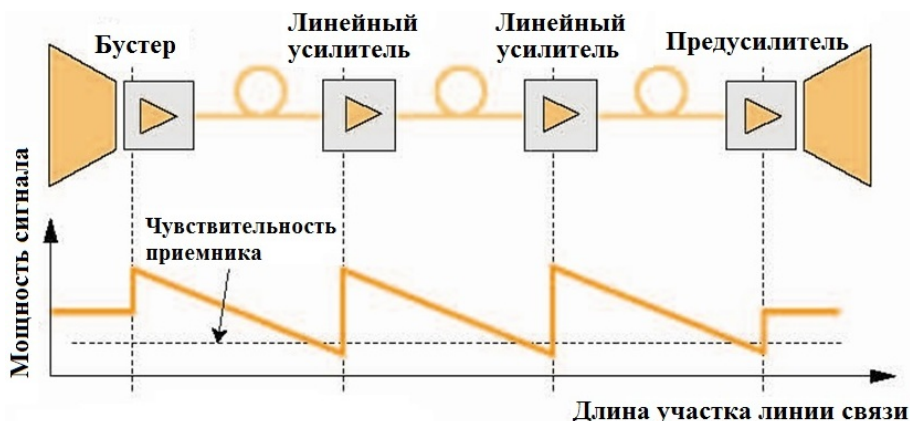


Рис. 1. Типовая схема многопролетной обычной ВОСП

В табл. 1 приведена рассчитанная по формуле (1) мощность информационного сигнала (на канал) защищенных ВОСП для скоростей передачи от 0,6 до 40 Гбит/с и выше, характерных для современных магистральных систем. Для многопролетной ВОСП, вероятно, чувствительность системы контроля будет больше, чем для однопролетных систем. Исходя из этого, проверенный на практике коэффициент срабатывания системы защиты 0,03 дБ для однопролетных систем увеличиваем до 0,1 дБ для семипролетных систем при условии независимости каждого пролета от других.

Как следует из табл. 1, при скорости передачи 10 Гбит/с и коэффициенте $A_k = 0,1$ дБ средняя мощность канального сигнала составляет $W_0 = -8,4$ дБ, для скоростей 40 Гбит/с и выше $W_0 = -3,4$ дБ. С учетом рекомендуемого МСЭ-Т эксплуатационного запаса (3 дБ на систему) при применении стандартного волокна на длине волны 1550 нм (табл. G.652D [5]) и чувствительности приемника с квантовым ограничением (LQD) для магистральных систем длина линии между пролетами составит 78,7 км. При этом общая длина линии, например, для семи пролетов должна быть 626,6 км.

Длина линии между пролетами по рекомендации МСЭ-Т для обычных ВОСП составляет 80–120 км [13]. Поскольку для защищенных магистральных линий полученное значение (78,7 км) не намного меньше, то возможна практическая реализация данных систем.

Общее описание новой схемы защиты информации

В предлагаемой многоволновой ВОСП с оптическими усилителями, расположенными за пределами контролируемой зоны, для обеспечения

технической защиты информации необходимо наличие трех составляющих:

- информационной части;
- системы мониторинга;
- технической системы защиты информации.

Информационная часть предназначена для передачи информации в соответствии со стандартами. Она должна соответствовать всем международным критериям OTN, рекомендованным МСЭ-Т [1–4]. Таким требованиям отвечают все многоволновые ВОСП, построенные на отечественной аппаратуре передачи информации с волновым уплотнением со скоростью 2,5–600 Гбит/с на канал фирмы "Т8" [14].

На рис. 2 представлена схема защищенной многоволновой многопролетной ВОСП для скорости передачи 10 Гбит/с [14].

Системой *мониторинга* снабжаются все магистральные ВОСП [14]. Основу системы мониторинга составляют оптические временные рефлектометры (Optical Time Domain Reflectometer — OTDR) [15]. В рефлектометрах реализуется метод обратного рассеяния. Для многопролетных ВОСП вместо обычных рефлектометров используются специальные когерентные рефлектометры (COTDR) или рефлектометры, работающие на нескольких длинах волн из сетки DWDM (FDM-OTDR). Когерентные рефлектометры используют для зондирования и обратного рассеяния два волокна: по одному распространяется зондирующий сигнал, по другому — обратное излучение. Это сопряжено с установкой на выходе и входе оптических усилителей-изоляторов, которые пропускают излучение только в одном направлении. Дальность мониторинга таких рефлектометров достигает 12 000 км [16, 17].

Техническая *система защиты информации* может быть основана на сравнении соседних сиг-

Таблица 1

Мощность информационного сигнала на входе оптического волокна

| Скорость передачи, Гбит/с | Чувствительность приемника захвата $W_{п}$, дБм | Срабатывание системы защиты A_k , дБ | | Коэффициент передачи через боковую поверхность $K_{п}$, отн. ед. | Мощность информационного сигнала (на канал) W_0 , дБ | |
|---------------------------|--|--|------------|---|--|------------|
| | | 1 пролет | 7 пролетов | | 1 пролет | 7 пролетов |
| 0,6 | -53 | | | | -17,4 | -23,4 |
| 2,5 | -43 | | | | -7,4 | -13,4 |
| 10,0 | -38 | 0,03 | 0,1 | 0,04 | -2,4 | -8,4 |
| 40,0 и выше | -33 | | | | +2,6 | -3,4 |

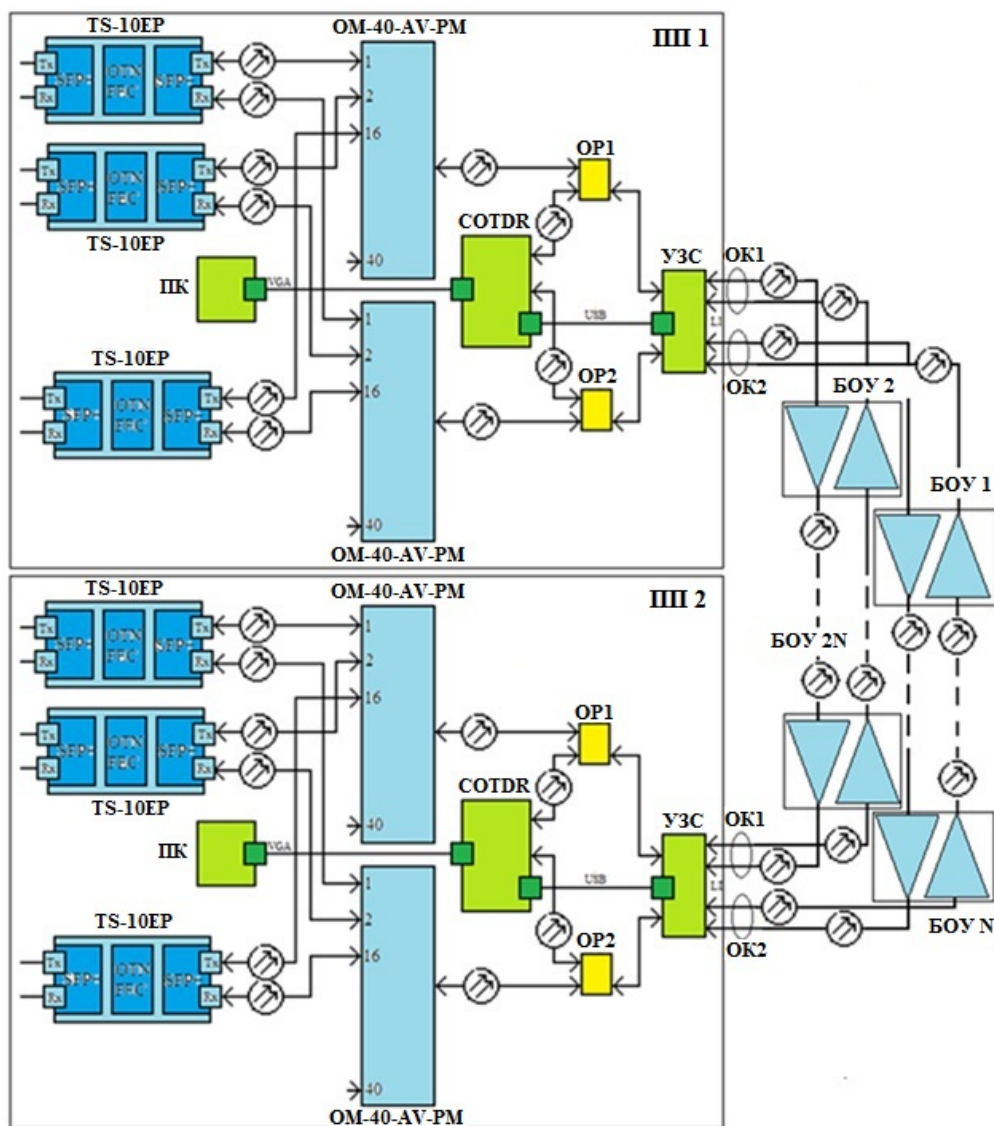


Рис. 2. Схема защищенной многоволновой многопролетной ВОСП: ПК — персональный компьютер; COTDR — когерентный рефлектометр; ОР — оптический разветвитель; УЗС — устройство защиты сигнала, основанное на прямом детектировании; ОК — оптический кабель; OM-40-AV-PM — мультиплексор/демультиплексор; TS-10EP — транспондер; БОУ — блок оптических усилителей; III — приемопередатчик ВОСП

налов (остальные функции защиты берет на себя система мониторинга). Устройство защиты, в котором реализован метод прямого детектирования, взаимодействует с оптическим рефлектометром системы мониторинга по каналу управления.

Например, защита информации может быть организована следующим образом. Устройство защиты постоянно контролирует оптическое волокно. В случае обнаружения нарушения оно подает сигнал на рефлектометр, который снимает рефлектограмму оптического волокна. Ре-

флектограмма, полученная в данный момент времени, сравнивается с эталонной, записанной в памяти персонального компьютера для того же оптического волокна.

При обнаружении новых локальных потерь рефлектометр включает сигнализацию (звуковую, световую, передачу SMS администратору безопасности) о нарушении и передает сигнал на устройство защиты, которое переключает основное волокно на резервное. Все эти действия фиксируются на персональном компьютере с указанием значения локальных потерь, времени, ме-

ста нарушения и т. д. Устройства находятся только на концах линии. Информация в сигналах оптических усилителей, расположенных по длине линии, защищается отдельно (на рис. 2 схема защиты не показана).

Таким образом, защита основана на сочетании лучших свойств двух методов — быстрого действия прямого детектирования и точности и постоянства во времени метода обратного рассеяния.

Система мониторинга и защиты

Система мониторинга и защиты для схем, содержащих оптические усилители, основана на включении когерентного рефлектометра, особенностью которого, как уже было отмечено, является передача и прием излучения по разным волокнам в отличие от обычного рефлекто-

метра, который использует только одну линию. На рис. 3 показано такое включение COTDR в ВОСП с оптическими усилителями [16, 17].

В табл. 2 приведены основные параметры когерентного рефлектометра COTDR типа MW90010A с уплотнением информации в С-диапазоне (1 535—1 565 нм) по технологии DWDM (с шагом между каналами 50 ГГц) [17]. Тестирование рефлектометра проведено на одномодовом волокне со смещенной дисперсией [6]. Рефлектометр может выводить на дисплей до восьми длин волн из сетки DWDM (с шагом по частоте 50 ГГц).

Для мониторинга может быть использован когерентный рефлектометр FDM-OTDR, усредняющий значения обратнорассеянного сигнала на нескольких длинах волн из сетки DWDM. Такое усреднение повышает чувствительность ре-

Таблица 2

Основные параметры рефлектометра COTDR MW90010A [17]

| Items | Specifications | Remarks |
|-----------------------------------|--|--|
| Fiber under test | ITU-T G.653 (DSF) | |
| Optical connector | FC, SC, DIN, HSM-10/A, ST | Replaceable, PC type |
| Wavelength (Probe light) | 1535.03 nm to 1565.08 nm | ITU-T Grid Wavelength in vacuum setting with 50 GHz steps |
| Wavelength accuracy | ± 0.2 nm | +20° to +30°C |
| Warm-up time | 30 minutes | +20° to +30°C |
| Loading light source (Dummy) | «wavelength of probe light» +50 GHz or –50 GHz | The loading wavelength can be selectable at +50 GHz or –50 GHz of the probe (OTDR) wavelength. |
| Pulse width | 3, 10, 30, 60, 100 μs | |
| Optical output power | 0 to +13 dBm (0.5 dB steps) | |
| Dead zone | 0.5 km | Pulse width: 3 μs |
| Distance measurement accuracy (m) | ±10 m ± 0.5 × 10 ⁻⁶ × measurement value | This does not include optical fiber refraction index (IOR) based uncertainty. |
| Vertical scale | 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0 dB/div | |
| Distance range | 100 km, 500 km to 12,000 km (500 km steps) | |
| Measurement time | 15 minutes | Distance Range: 1000 km Average times: 2 ¹⁶ |
| Monitor output | –25 to –15 dBm | For OTDR Wavelength Monitor |
| Display | 8.4 inch, XGA (1024 x 768) color LCD with touch panel | |
| Interface | USB (2 ports, REV1.1), Mouse (USB), Keyboard (PS/2), VGA | |

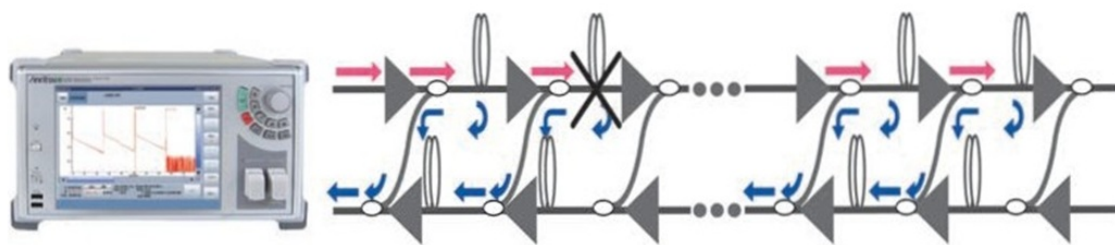


Рис. 3. Подключение когерентного рефлектометра к магистральной ВОСП

флектометра в 10–40 раз и увеличивает динамический диапазон. По сравнению с COTDR MW90010A применение многоволнового рефлектометра FDM-OTDR FOTDR-300 увеличивает динамический диапазон на 6 дБ (с 17 до 23 дБ). Также многоволновой рефлектометр не уступает представленному когерентному рефлектометру по внутренним возможностям и внешнему взаимодействию [16].

В табл. 3 приведены основные параметры когерентного многоволнового рефлектометра FDM-OTDR FOTDR-300, работающего на

одной, десяти и сорока длинах волн из сетки DWDM для C-диапазона [16].

В ВОСП с указанными рефлектометрами устройство прямого детектирования защищает от компенсационных и активных способов на малых временных интервалах, а когерентный рефлектометр COTDR (FDM-OTDR) — от активных способов съема при больших временах нарушения. Рефлектометр также обеспечивает сравнение текущей рефлектограммы с эталонным измерением. Такая защита ВОСП соединяет в себе постоянные и переменные средства защиты ин-

Таблица 3

Основные параметры рефлектометра FDM-OTDR FOTDR-300 [16]

| Category | Parameter | Specification |
|------------|--------------------------|--|
| Optical | Center Wavelength(OTDR) | 1535.03~1565.08 nm(ITU-Grid.Fixed at time of order) |
| | Center Wavelength(Dummy) | Center Wavelength(OTDR) +/- 3 nm |
| | Pulse Width | 2.5, 5, 10, 30, 60, 100 μ s |
| | Outpup Power | 0~+13 dBm(0.2 dB step) |
| | Dynamic Range | >23 dB ⁽¹⁾ |
| | Rayleigh Dead Zone | <0.5 km ⁽²⁾ |
| | Optical Connector | FC, SC, LC, ST (PC/APC, other types can also be specified) |
| Operation | Distance Range | 100 km, 500~12.000 km (500 km step) |
| | Frequency Mux | 1, 10, 40 |
| | Averaging | 2 ⁸ ~ 2 ²⁴ |
| | IOR(Index of refraction) | 1.300000~1.700000 |
| Electrical | Mode | Normal/High Resolution |
| | Display | 10.1 inch VGA(1024×600). Color LCD, Touch Panel |
| | Interface | USB (3 ports)/ RJ-45 (1 port), VGA (1 port) |
| | Power Supply | AC 100~240 V (50/60 Hz) |
| | Electricity Consumption | 220W |
| Physical | Inrush Current | 25A |
| | Dimension(WxHxD) | 450 ⁽³⁾ ×240×440 mm |
| | Weight | <20 kg |
| | Operating Temperature | 10 ~ 40°C |
| | Storage Temperature | -10 ~ 50°C |
| | Humidity | 40 ~ 80 % |
| | EMC | CISPR22. IEC61000-4-2,-3, -4, -5, -6 |
| | Shock | IEC C60068-2-27 |
| Vibration | IEC C60068-2-6 | |

формации [18]. При этом контроль потерь средней мощности (как более точных и независимых от времени) обеспечивается переходом рефлектометра в режим измерения при достижении локальных потерь заданного значения на устройстве защиты сигнала.

Таким образом, к защищенным многоволновым ВОСП с оптическими усилителями необходимо предъявить следующие основные требования:

- информационная часть ВОСП строится на отечественной или другой доступной для пользователя аппаратуре передачи;
- система мониторинга ВОСП представлена на основе когерентных рефлектометров COTDR или FDM-OTDR (например, MW90010A или FOTDR-300);
- система защиты ВОСП, состоящая из двух устройств, комплексная — на основе прямого детектирования и обратного рассеяния. Устройство на основе прямого детектирования реализует только быстрое действие системы защиты, а контроль локальных потерь в волокне обеспечивает рефлектометр COTDR или FDM-OTDR;
- автоматическое сообщение срабатывания устройства прямого детектирования является сигналом запуска когерентного рефлектометра, который измеряет локальные потери на новом дефекте;
- реакция защищенной ВОСП на нарушение — это переключение оптического волокна

на на *горячий* резервный канал (резервирование 1+1).

Промежуточные пункты регенерации сигналов

Промежуточные пункты регенерации сигналов защищенных ВОСП состоят из оптических усилителей, как в трансокеанских магистральных системах. Промежуточные пункты в трансокеанских системах погружаются в морскую воду на большую глубину на длительное время [12]. Для защищенных ВОСП пункты помещаются в грунт на глубину более метра (защита от промерзания грунта), в канализацию либо подвешиваются над землей. Промежуточные пункты не обслуживаются длительное время. Оптические усилители отличаются от обычных усилителей для наземных систем не только схемой включения для организации удаленного мониторинга, но и резервированием [12].

Для примера на рис. 4 показана схема дуплексного оптического усилителя для трансокеанских ВОСП [12]. Схема выполнена для мониторинга когерентным рефлектометром на основе соединения выхода первого оптического усилителя первого направления со входом второго усилителя другого направления. Особенность промежуточного пункта — двойное резервирование лазеров накачки, схем его возбуждения. Обеспечиваются мониторинг системы контроля лазеров накачки и дистанционное питание.

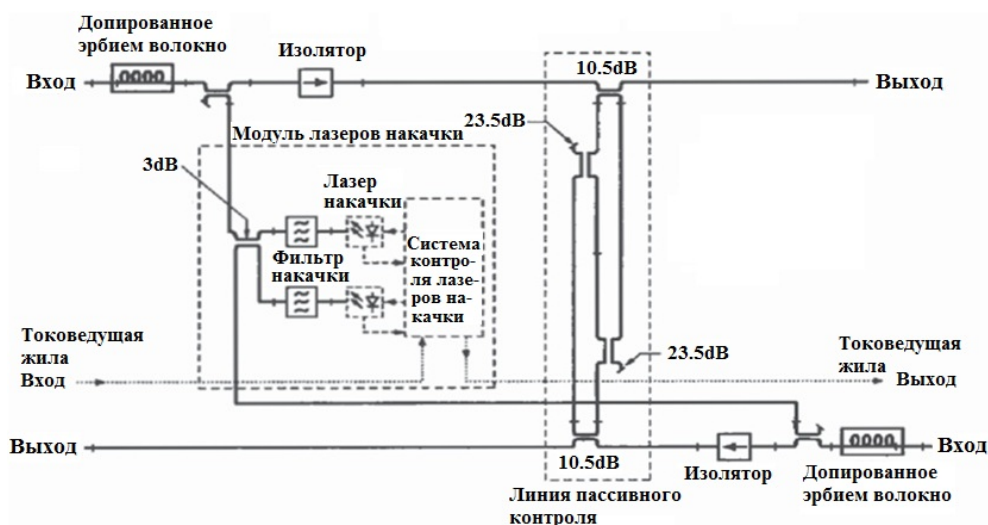


Рис. 4. Схема оптического усилителя для трансокеанских систем [12]

На рис. 5 показаны внешний вид и конструкция промежуточного пункта для магистральных трансокеанских систем, состоящего из опускаемых на глубину оптических усилителей [12].

Оптические кабели, обеспечивающие питание всех промежуточных пунктов регенерации высоковольтным напряжением и передачу информации по волокнам, также могут быть взяты из трансокеанских систем. Кабели имеют физическую защиту волокон металлическими слоями и обеспечивают подачу высокого напряжения для питания усилителей.

На рис. 6 показан пример подводного оптического кабеля, у которого стальная трубка, медные жилы и бронирование предназначены для защиты от внешних воздействий. Эти же слои

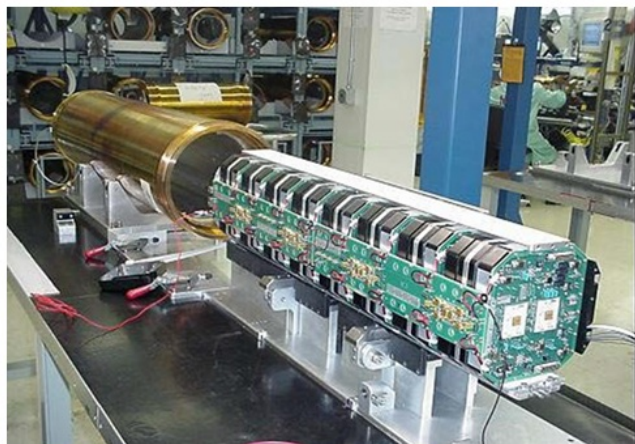


Рис. 5. Внешний вид и конструкция промежуточного пункта для магистральных трансокеанских систем [12]

могут быть использованы для защиты от внешнего нарушителя и обеспечения целостности кабеля [12].

На рис. 7 показаны поперечные сечения различных подводных оптических кабелей в зависимости от их применения [12], из многообразия которых можно выбрать волоконный кабель для защищенных систем.

Защита оптических подводных кабелей зависит от глубины, на которую спускается кабель, профиля дна и других факторов. Для питания подводных оптических усилителей используется высокое напряжение, источник которого расположен на берегу.

На рис. 8 представлено питание постоянным током трансокеанской оптоволоконной линии связи Сидней—Гуам [12]. На каждой станции энергоснабжения имеется источник высокого напряжения VDC. На станции А источник подключается положительным полюсом к токоведущей жиле подводного кабеля, а отрицательный полюс заземляется. На станции Б, наоборот, к токоведущей жиле подводного кабеля подсоединяется отрицательный полюс источника, а положительный заземляется. Таким образом создается цепь постоянного электрического тока, в которой ток от станции А идет к станции Б через подводный кабель, а от станции Б к станции А — через землю.

Для питания линий протяженностью более 6 000 км используется напряжение свыше 10 кВ. Для линий протяженностью от 2 000 до 6 000 км — напряжение от 5 до 10 кВ. До 2 000 км используется напряжение до 5 кВ [12].

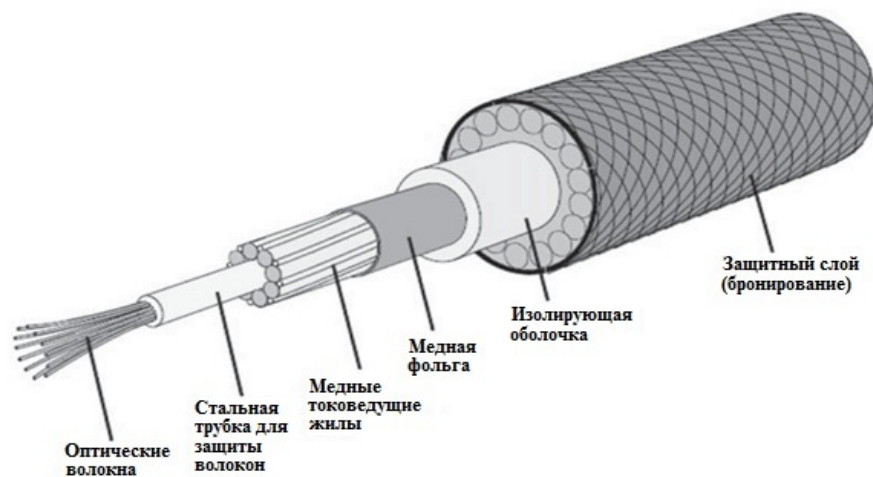


Рис. 6. Пример конструкции подводного оптического кабеля [12]

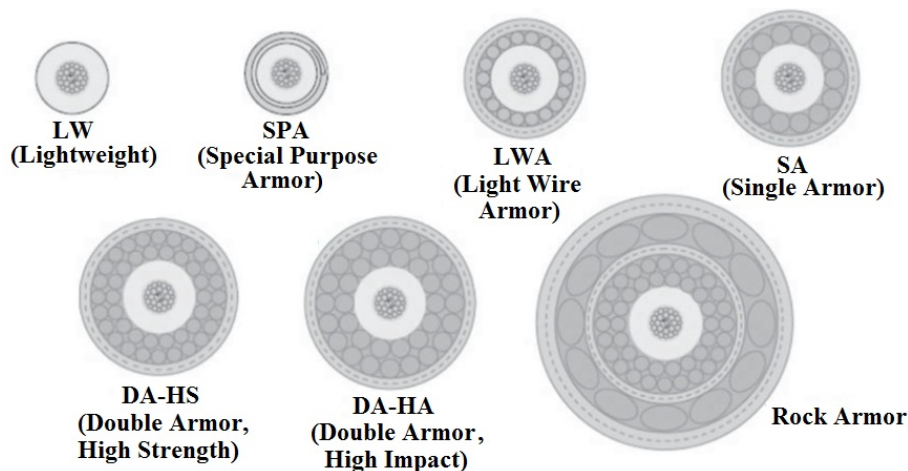


Рис. 7. Поперечные сечения подводных оптоволоконных кабелей [12]: LW — легковесовой; SPA — специальный бронированный; LWA — легкий проволочный бронированный; SA — однослойный бронированный; DA-HS — двойного бронирования, усиленный; DA-HA — двойного бронирования, высокоударный; Rock Armor — скальный бронированный



Рис. 8. Питание подводных оптических усилителей [12]

Напряжение и мощность источников питания рассчитываются исходя из параметров линии: длины линии, количества узлов (на подводных усилителях и устройствах сопровождения), мощности, потребляемой в каждом узле, удельного сопротивления токоведущей жилы [12].

Таким образом, для защищенных ВОСП с уплотнением информации по длинам волн и оптическими усилителями, расположенными за пределами контролируемой зоны, аппаратура может быть практически реализована. Для них можно использовать технические решения из трансокеанских волоконно-оптических систем.

Выводы

Многоволновые многопролетные защищенные ВОСП могут строиться на основе контроллеров FOBOS-100GL, но только на одном пролете. Указанные устройства защиты также размещаются только в пределах контролируемой зоны.

Предлагаемые магистральные защищенные ВОСП строятся на основе трех систем: информационной, мониторинга и технической системы защиты информации, которые взаимодействуют между собой. Магистральные защищенные ВОСП информации, у которых промежуточные пункты расположены за пределами контролируемой зоны, могут быть выполнены техническими средствами с использованием методов прямого детектирования и обратного рассеяния. Встроенная система мониторинга, которой оснащаются все магистральные ВОСП и которая строится на основе когерентных рефлектометров (COTDR, FDM-OTRD), может быть использована для систем защиты информации. Указанные рефлектометры используются для защиты информации методом обратного рассеяния, выполняя основные функции системы защиты: точный контроль локальных потерь в волокне на протяжении длительного времени эксплуатации. Для быстрого действия системы защиты используется устройство на основе прямого детектирования. Это устройство, специально введенное в состав ВОСП, управляет рефлектометром и системой защиты информации.

Промежуточные регенерационные пункты эксплуатируются длительное время без обслуживания, так же, как в трансокеанских системах. Для магистральных защищенных ВОСП можно воспользоваться техническим заданием, существующим в трансокеанских необслуживаемых системах.

Список литературы

1. ITU-T. G.709. Interfaces for the optical transport network.
2. ITU-T. G.694.1. Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid.
3. ITU-T. G.872. Architecture of optical transport networks.
4. ITU-T. G.975.1. Forward error correction for high bit rate DWDM submarine systems.
5. ITU-T. G.652. Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.
6. ITU-T. G.653. Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.
7. ITU-T. G.654. Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable.
8. ITU-T. G.655. Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.
9. ITU-T. G.656. Characteristics of fibre and cable with non-zero dispersion for wideband optical transport.
10. Волков А. П., Зайцев А. Л., Ивченко С. Н., Кращенко И. А., Курило А. П., Попов С. Н., Шубин В. В. Исходные данные для построения модели съема информации, передаваемой по волоконно-оптическому тракту // Вопросы защиты информации. 1989. № 1 (24). С. 43–48.
Volkov A. P., Zaytsev A. L., Ivchenko S. N., Krashchenko I. A., Kurilo A. P., Popov S. N., Shubin V. V. Iskhodnye dannye dlya postroeniya modeli syema informatsii, peredavaemoy po volokonno-opticheskomu traktu // Voprosy zashchity informatsii. 1989. № 1 (24). S. 43–48.
11. Система сертификации средств защиты информации по требованиям безопасности информации № РОСС RU.0001.01БИ00. ФСТЭК России. Сертификат соответствия № 3329 от 30.12.2014.
Sistema sertifikatsii sredstv zashchity informatsii po trebovaniyam bezopasnosti informatsii № ROSS RU.0001.01BI00. FSTEK Rossii. Sertifikat sootvetstviya № 3329 ot 30.12.2014.
12. Денисов С. Л., Самарцев И. Э. Подводные оптоволоконные линии связи: конструкции, способы прокладки, оборудование // Электросвязь. 2010. № 2. С. 24.
Denisov S. L., Samartsev I. E. Podvodnye optovolokonnye linii svyazi: konstruksii, sposoby prokladki, oborudovanie // Elektrosvyaz. 2010. № 2. S. 24.
13. ITU-T. G.692. Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.
14. DWDM системы "Волга". Объединяем Россию. Технологии бесконечности. [http:// T8-80000km.ru](http://T8-80000km.ru).
DWDM sistemy "Volga". Obyedinyaem Rossiyu. Tekhnologii beskonechnosti. http:// T8-80000km.ru.
15. RFTS — системы мониторинга ВОЛС. [http:// www.teralink.ru](http://www.teralink.ru).
RFTS — sistemy monitoringa VOLS. http:// www.teralink.ru.
16. Frequency-Division-Multiplexed Coherent OTDR. [http:// www.alnair-labs.com](http://www.alnair-labs.com).
17. MW90010A.Coherent OTDR. Catalog No MW90010A-E-A-1-(5.00). Printed in Japan 26/JAN/2015 ddch/CDT.
18. Шубин В. В. Информационная безопасность и волоконно-оптические системы. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2015.
Shubin V. V. Informatsionnaya bezopasnost i volokonno-opticheskie sistemy. Sarov: RFYaTs-VNIIEF, 2015.

Статья поступила в редакцию 07.07.22.