

Что относят к иерархии SDH? 6.1 Технология SDH

6.1.1 Модель транспортной сети SDH

Модель транспортной сети SDH представлена тремя самостоятельными по своей организации уровнями: среды передачи, трактов (маршрутов передачи информации), каналов.

Уровень среды передачи базируется преимущественно на оптоволоконных линиях (среда передачи), в которых создаются секции регенерации цифровых линейных сигналов и секции мультиплексирования цифровых данных. Среда передачи содержит: волоконные световоды в конструкциях различных кабелей; электрооптические преобразователи на передаче и оптоэлектронные преобразователи на приеме; оптические усилители, оптические аттенюаторы и компенсаторы дисперсии; разъёмные и неразъёмные оптические соединители; линейные кодеры и декодеры; оптические модуляторы и оптические детекторы.

Секцией мультиплексирования начинается и заканчивается участок волоконно-оптической системы передачи. Секция мультиплексирования может содержать от одного до нескольких участков — секций регенерации, которые необходимы для устранения искажений линейных импульсных сигналов и восстановления их формы и мощности. Секции регенерации и мультиплексирования являются предметом проектных расчетов, построений и технической эксплуатации. Для этого в рамках стандартизации SDH предусмотрены служебные сообщения по контролю качества передачи по битовым ошибкам, служебная связь, каналы управления и синхронизации. Секция мультиплексирования вместе с входящими в неё секциями регенерации может дублироваться с целью гарантированной защиты от повреждений. Для этого дублирующая (защитная) секция оснащается сигналами автоматического переключения за интервал времени не более 50 мс. Сигналы, передаваемые через физическую среду модели сети SDH, представляют собой циклы длительностью 125 мкс, называемые синхронными транспортными модулями STM-N (Synchronous Transport Module) порядка $N = 0, 1, 4, 16, 64, 256$. Порядок характеризует иерархический уровень и соответствующий скоростной режим передачи. Подробные сведения по формированию этих циклов и их содержанию рассмотрены ниже.

Уровень трактов сети SDH подразделён на два подуровня — высокий и низкий — стандартно обозначаемых в технической литературе: HOVC (Higher Order Virtual Container) — виртуальный контейнер верхнего уровня, и LOVC (Lower Order Virtual Container) — виртуальный контейнер нижнего уровня. Виртуальные контейнеры высокого и низкого уровней представляют собой циклические цифровые ёмкости, предоставляемые под загрузку информационными данными с подходящими скоростями. Виртуальные контейнеры низкого уровня могут объединяться для размещения в виртуальные контейнеры высокого уровня. Понятие «виртуальность» этим

цифровым блокам присвоено из-за специальных данных, называемых заголовками, в которых:

- прописывается уникальный маршрутный идентификатор для адресного переноса каждого контейнера через транспортную сеть от источника информации до получателя;
- ведется контроль качества передачи «из конца в конец» и по отдельным участкам маршрута;
- вставляются сообщения о необходимости защитных переключений;
- вставляются сообщения о виде информационных данных;
- поддерживается служебная связь и т.д.

Виртуальные контейнеры могут сцепляться для переноса нестандартных информационных нагрузок. Благодаря непрерывной циклической передаче виртуальных контейнеров может поддерживаться однонаправленное и двунаправленное транспортное соединение — тракт или маршрут, рассчитываемое на различную пропускную способность в интересах потребителей транспортных услуг. Эти соединения могут проходить через различные системы передачи SDH (волоконно-оптические и радиорелейные) с различными иерархическими уровнями STM-N.

Уровень каналов сети SDH обеспечивает интерфейсы для пользователей транспортной сети. Учитывая, что транспортная сеть SDH является частью первичной сети связи, на уровне каналов производится согласование с вторичными сетями (пользователями), например, с телефонными сетями через потоки цифровых данных 2,048 Мбит/с (E1), с сетями Ethernet на скоростях передачи 10, 100 и 1000 Мбит/с, через сцепки виртуальных контейнеров и протоколы согласования.

Все процедуры формирования цифровых блоков SDH происходят с использованием единого высокостабильного тактового механизма — тактовой сетевой синхронизации (ТСС). Создание и поддержка всех соединений в сети SDH и контроль всех функций обеспечиваются системой управления, имеющей сеть выделенных каналов связи и средства протокольного взаимодействия через эти каналы.

6.1.2 Технология мультиплексирования SDH

Синхронная цифровая иерархия SDH (Synchronous Digital Hierarchy) — набор иерархических цифровых транспортных структур (циклов), предназначенных для транспортировки адаптированной нагрузки через физическую сеть. К иерархии цифровых структур относятся:

- синхронные транспортные модули STM-N (Synchronous Transport Module) порядка $N = 0,1, A, 16, 64, 256$;
- виртуальные контейнеры VC-n/m (Virtual Container) порядка $n/m = 1, 2, 3, 4$, они подразделяются на виртуальные контейнера высокого $n = 3, 4$ и низкого уровней $m = 1, 2$ (11, 12, 2) и

обеспечивают формирование трактов высокого (HOVC) и низкого (LOVC) порядков;

- административные блоки AU-n (Administrative Unit) порядка $n = 3,4$;
- компонентные блоки TU-n (Tributary Unit) порядка $n = 1, 2, 3$;
- контейнеры C-n/m (Container) уровня $n/m = 1, 2, 3,4$, уровень $n = 3/4$ называется высоким, а уровень $m = 1,2(11,12,2)$ называют низким.

Перечисленные цифровые структуры представлены во взаимной связи схемой мультиплексирования (рис. 94).

Цикл STM представляет собой информационную структуру, используемую для соединения на уровне секции мультиплексирования и передачи в сети SDH. Базовая структура STM-N представлена тремя составляющими:

- секционными заголовками SOH (Section Overhead), которые необходимы для обслуживания секций регенерации (RSOH, Regeneration SOH) и мультиплексирования (MSOH, Multiplex SOH);
- указателями административных блоков AU (Administration Unit pointer);
- информационной нагрузкой (STM-N Payload).

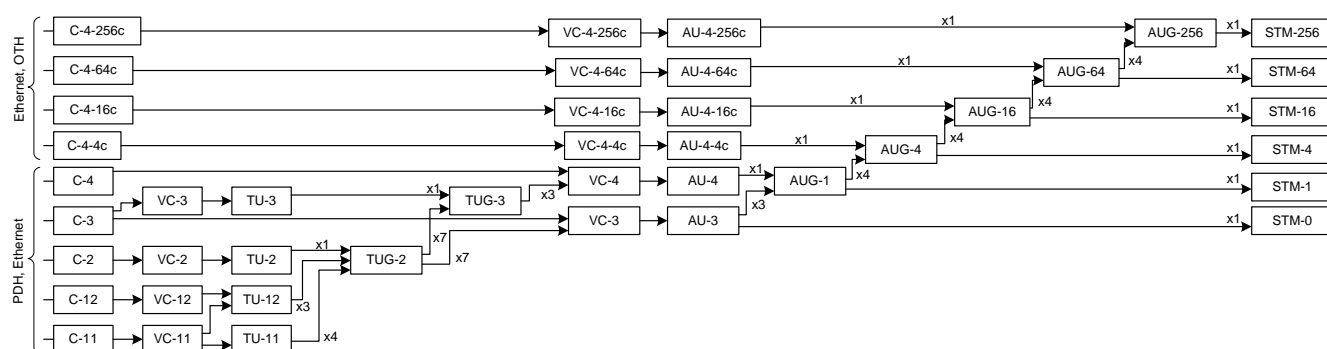


Рисунок 94 – Схема мультиплексирования NG SDH

Такая структура образуется каждые 125 мкс и имеет емкость $270 \times 9 \times N$ байтов (для $N = 0$ емкость 90×9 байтов), т.е. это цикл с байтовой структурой, который в технической литературе называют кадром или фреймом (frame). В таблице. 6 представлены иерархические уровни STM-N и соответствующие им скорости передачи.

Любая из иерархических скоростей STM-N вычисляется простой операцией умножения, например, STM-1 имеет емкость $270 \times 9 = 2430$ байтов, которая повторяется 8000 раз за 1 секунду, а число бит составит - $2430 \text{ байт} \times 8000 \times 8 = 155520000$ бит/с.

Другие иерархические скорости получаются умножением $155520000 \times N$, т.е. на 4, 16, 64 и 256.

Таблица 6 – Иерархия скоростей передачи в SDH

Уровень STM-N	Иерархическая битовая скорость
0	51840
1	155 520
4	622 080
16	2 488 320
64	9 953 280
256	39 813 120
1024	Около 160 Гбит/с (в проекте)

Усовершенствованным решением на последнем этапе стандартизации стало введение уровней STM-0 и STM-256, а также увеличение числа вариантов создания STM-N. При этом базовыми элементами остались виртуальные контейнеры, иерархия которых также расширилась за счет введения сцепленных структур VC-12-Xv (виртуально сцепленные X), VC-4-Xc (последовательно сцепленные X), VC-4-Xv и другие (табл. 7), где X указывает на число сцепляемых контейнеров. Это число может быть фиксированным для последовательно сцепляемых ($C = 1, 4, 16, 64, 256$) и изменяемым в определенных диапазонах для виртуально сцепляемых ($V = 1..64$ или $1..256$).

С точки зрения стандартов на построение транспортных сетей SDH блоки STM-N и VC-n относятся к различным уровням транспортной сети. В уровневой модели транспортной сети SDH представлены не все компоненты схемы мультиплексирования SDH, т.к. схема мультиплексирования не полностью реализуема в европейских стандартах, например, применительно к контейнерам C-11, C-2, представляющим американские стандарты. Положение VC-3 в качестве основы тракта верхнего или нижнего уровня определяется схемой мультиплексирования. Если VC-3 входит по схеме в VC-4, то его относят к нижнему уровню. Если VC-3 входит в AU-3, то его относят к верхнему уровню. При этом он служит основой формирования для STM-0.

Виртуальные контейнеры VC-n, как и STM-N, представляют собой цифровые циклические структуры с байтовым построением. Блоки VC-n отличаются емкостью, временем формирования и рядом других показателей.

Таблица 7 – Иерархия виртуальных контейнеров в SDH

VC-тип	VC-нагрузка, кбит/с	Шаг, кбит/с
VC-11	1600	
VC-12	2 176	
VC-2	6 784	
VC-3	48 384	
VC-4	149 760	
VC-4-4c	599 040	

VC-4-16c	2 396 160	
VC-4-64c	9 584 640	
VC-4-256C	38 338 560	
VC-11-Xv,X=1...64	1600...102400	1600
VC-12-Xv,X=1...63	2 176...137088	2176
VC-2-Xv,X=1...21	6 784...142464	6784
VC-3-Xv,X=1...3	48 384...145152	48 384
VC-4-Xv,X=1...256	149 760...38 338 560	149 760

Административные AU-n и компонентные TU-n блоки служат средствами адаптации различных цифровых структур друг к другу. Центральным элементом этих блоков являются указатели PTR, т.е. цифровые блоки данных, в которых записываются адреса начала размещения адаптируемой нагрузки. Например, VC-4 размещается в AU-4, а VC-12 размещается в TU-12. С помощью указателей согласуются цифровые блоки с различными скоростями передачи. Благодаря этому VC-12 может смещаться в TU-12 без ухудшения качества доставки информации пользователя и аналогично VC-3 и VC-4 в AU-3 и AU-4.

Административный блок AU-n представляет собой структуру для адаптации между уровнем тракта верхнего порядка и уровнем секции мультиплексирования. Компонентный блок TU-n представляет собой информационную структуру для адаптации между уровнями трактов верхнего и нижнего порядков. В процессы адаптации входят также процедуры размещения данных в контейнеры C-n.

Контейнеры представляют собой информационные структуры, в которые записываются пользовательские данные и осуществляется согласование скоростей на уровне каналов. Составным элементом каждого вида адаптации (TU-n, AU-n) служит группообразование, т.е. формирование двух информационных структур:

- группового компонентного блока TUG-n (Tributary Unit Group), $n = 2, 3$;
- группового административного блока AUG-N (Administrative Unit Group), $N = 4, 16, 64, 256$.

Способ формирования TUG-2, TUG-3, AUG-n единый, представляющий собой синхронное побайтовое мультиплексирование в интервале времени 125 мкс. Блок TUG-2 формируется из 3-х четвертинок TU-12. Блок TUG-3 формируется из 7 TUG-2. Блок AUG-n формируется из 4, 16, 64 или 256 AUG ступенями синхронно побайтно. Присоединение к AUG-n секционных заголовков SOH создает STM-N. Секционные заголовки RSOH и MSOH, соответственно секций регенерации и мультиплексирования, обеспечивают служебные сигналы уровня среды передачи.

Сцепленные контейнеры представляют собой информационные структуры, формируемые для переноса пользовательской нагрузки. Каждый контейнер C-n, C-X-c, C-X-v поддерживает различные виды согласования скоростей при

загрузке и выгрузке данных пользователя. Например, асинхронная загрузка, синхронная по битам, синхронная по байтам, синхронная по циклам и т.д. Контейнеры отличаются от виртуальных контейнеров отсутствием маршрутных заголовков, обозначаемых в документах РОН (Path Overhead). Виртуальный контейнер VC-12 формируется путем присоединения трактового заголовка РОН к контейнеру С-12, который загружается трафиком в интервале времени 500 мкс одним из следующих способов:

- асинхронно цифровыми данными на скорости 2048 кбит/с с допуском отклонения 50 ppm или 50×10^{-6} ;
- бит-синхронно на скорости 2048 кбит/с;
- байт-синхронно с размещением 31x64 кбит/с.

Виртуальный контейнер VC-3 формируется путем присоединения трактового заголовка РОН к контейнеру С-3, который загружается в интервале времени 125 мкс асинхронно данными на скорости 34368 кбит/с с допуском отклонения ± 20 ppm.

Виртуальные контейнеры VC-4, VC-4-Xc и VC-4Xv формируются путем присоединения трактового заголовка РОН к контейнеру С-4, С-4-Xc или С-4-Xv, которые загружаются в интервале времени 125 мкс одним из трех способов:

- асинхронно цифровыми данными на скорости 139264 кбит/с ± 15 ppm;
- синхронно побайтно;
- синхронно побайтно со сцепкой: последовательно Xc и виртуально Xv.

Формирование сцепленных виртуальных контейнеров обусловлено необходимостью предоставления прозрачного соединения в транспортной сети для пользовательского трафика, передаваемого с соответствующей скоростью. Сцепки виртуальных контейнеров подразделяются на последовательные CCAT (Contiguous Concatenation) и виртуальные VCAT (Virtual Concatenation). Сцепки типа CCAT содержат строго фиксированное число виртуальных контейнеров, требуют единого маршрута в транспортной сети и поддержки этого маршрута всеми промежуточными мультиплексорами. Сцепки типа VCAT организуются с различным числом виртуальных контейнеров, и маршруты контейнеров могут быть различными. Структура STM-N формируется побайтовым мультиплексированием N-то числа ($N = 4, 16, 64$ и 256) AUG и присоединением к этой вновь созданной структуре секционных заголовков SOH, которые разделяются на заголовок секции регенерации RSOH и секции мультиплексирования MSOH. Важнейшей, глубоко проработанной частью технологии SDH являются решения по контролю качества всех участков транспортной сети: секции регенерации RS, секции мультиплексирования MS, тракта высокого HP и низкого LP порядков, процедур указателей, идентификации маршрутов.

6.2 Технология OTN/OTN

6.2.1 Модель транспортной сети OTN/OTN

Модель транспортной сети OTN/OTN представлена двумя самостоятельными по своей организации уровнями: сети OTN и пользователя.

Уровень сети OTN состоит из трёх физически и логически связанных подуровней: среды передачи сигналов с разделением по длине волны (WDM); оптических секций ретрансляции OTS (Optical Transmission Section) и мультиплексирования OMS (Optical Multiplex Section); оптических каналов OCh (Optical Channel) с нагрузкой в виде оптических транспортных блоков OTU_k (Optical Transport Unit-k) с включением в них блоков данных оптических каналов ODU_k (Optical channel Data Unit-k), которые, в свою очередь, включают блоки полезной нагрузки оптических каналов OPU_k (Optical Channel Payload Unit-k). Индекс k соответствует иерархической ступени OTN (k = 1,2,3) и указывает на различные по длительности, ёмкости и скорости передачи циклы. Детальное представление этих циклически повторяющихся блоков приводится ниже. Оптические секции базируются на ресурсах одномодовых волоконных световодов со стандартными характеристиками и огромной полосой частот передачи, которая достигает примерно 30...60 ТГц в диапазоне волн 1260...1675 нм для различных типов волокон. Этот диапазон используется в режиме WDM с числом волновых каналов 2...4 OCh до нескольких сотен OCh, объединяемых в оптические волновые (транспортные) модули OTM (Optical Transport Module) ёмкостью до 16 OCh в каждом. Таким образом, среда передачи в этой модели транспортной сети позволяет достигать скоростей передачи порядка 10 и более Тбит/с при скорости передачи в каждом из волновых каналов от 2,5 до 100 Гбит/с.

Оптические секции ретрансляции OTS организуются внутри оптической секции мультиплексирования OMS для компенсации потерь оптической мощности в стекловолкне и компенсации дисперсионных искажений. Эти функции обеспечивают линейные оптические примесные волоконные усилители с эквалайзерами, рамановские оптические усилители и компенсаторы хроматической и поляризационной дисперсии, а в перспективе полностью оптические регенераторы 2R и 3R.

В оптической секции мультиплексирования формируются, передаются, обслуживаются и расформируются отдельные оптические каналы, оптические волновые модули OTM с числом каналов до 16 (называемые также оптическими транспортными модулями), группы оптических модулей. Каждый оптический модуль может иметь отдельный оптический сервисный канал, в который включаются служебные данные для каждого OCh. Кроме того, в секции оптического мультиплексирования создаётся сервисный оптический канал для обслуживания всей секции и отдельных участков — секций ретрансляции OTS. Секция OMS может иметь гарантированную защиту благодаря дублированию передачи в альтернативной кабельной

линии с соответствующими секциями ретрансляции. Нормированное время защитного переключения составляет 50 мс.

Оптический канал OCh в оптической сети выполняет при терминировании функции регенерации цифрового сигнала типа 3R, т.е. восстанавливает амплитуду импульсов (1R), их форму (2R) и устраняет накопленные фазовые дрожания (3R). Также производится оптическая модуляция и детектирование, контроль качества передачи цифровых данных в блоках OTUk и ODUk и т.д.

Уровень пользователя оптической транспортной сети OTN/ОТН выполняет функции интерфейса между транспортной сетью и сетями пользователей транспортных услуг, к которым относятся сети SDH, АТМ, Ethernet и др. Для эффективного согласования между сетями применяются различные протокольные решения по размещению данных пользователей в оптических каналах. Это протоколы: общей процедуры формирования кадра GFP (Generic Framing Procedure), протокол защищаемого пакетного кольца или пакетного кольца с самовосстановлением RPR (Resilient Packet Ring) и некоторые другие, рассматриваемые в следующей главе. Протоколы позволяют согласовать циклическую передачу данных в оптических каналах со случайной во времени передачей пакетов данных различной емкости от пользователей, например, пакеты IP, MPLS или Ethernet.

6.2.2 Мультиплексирование в OTN/ОТН

Оптическая транспортная сеть OTN (Optical Transport Network) на основе технологии мультиплексирования оптической транспортной иерархии ОТН предназначена для построения транспортных магистралей с пропускной способностью до десятков Тбит/с. Это достигается сочетанием гибкого цифрового мультиплексирования стандартных циклических блоков, с одной стороны, и гибким построением оптических каналов и их мультиплексированием в управляемые оптические модули, с другой стороны.

Для реализации возможностей OTN-ОТН Рекомендациями G.709 и G.798 МСЭ-Т предусмотрена иерархическая структура интерфейса, которая повторяет, по существу, модель транспортной сети OTN-ОТН.

Однако в структуре интерфейса подчеркнуты технологические решения для всех составляющих уровней сети OTN, в частности, представлены полный и упрощенный набор функций интерфейса при формировании оптического транспортного модуля ОТМ.

Для реализации функций интерфейса используется электронное и оптическое оборудование, объединяемое в транспондерные (TPD) и оптические блоки (OMX) с оптической ретрансляцией R. Через транспондерные блоки реализуются функции уровня оптического канала OCh (Optical Channel).

Уровень OCh обеспечивает формирование цифровых транспортных структур оптической транспортной иерархии через генерацию блоков для упаковки информации пользователя: OPU, ODU, OTU. Также уровень OCh

обеспечивает преобразование электрических сигналов в оптические на передаче и обратную операцию на приеме с регенерацией амплитуды, формы и длительности импульсов сигнала (функции 3R).

6.2.2.1 Компоненты структуры

OPUk (Optical channel Payload Unit-k) — блок нагрузки оптического канала порядка k , где $k=1, 2, 3$. Эта циклическая информационная структура используется для адаптации информации пользователя к транспортировке в оптическом канале. Блок OPUk состоит из поля информационной нагрузки и заголовка.

ODUk (Optical Data Unit-k) — блок данных оптического канала порядка k , где $k = 1, 2, 3$. Эта информационная структура состоит из поля информации OPUk и заголовка.

ODUk-P (ODUk Path) — блок данных оптического канала порядка k , поддерживающий тракт «из конца в конец» сети OTN.

ODUk-T (ODUk-TCM, ODUk Tandem Connection Monitoring) — блок данных оптического канала, поддерживающий наблюдение (мониторинг) парных (тандем-ных) соединений в сети OTN. Один блок ODUk-T допускает поддержку мониторинга до шести тандемных соединений.

OTUk (Optical Transport Unit-k) — оптический транспортный блок порядка k , где $k = 1, 2, 3$. Эта информационная структура используется для транспортировки ODUk через одно или более соединений (кроссовые соединения в узлах) оптических каналов. Блок OTUk определен в двух версиях — OTUk-V и OTUk. Он рекомендован к применению на локальных участках OTN в полной и упрощенной формах исполнения.

OTUk-V характеризуется как частично стандартизированная структура, рекомендуемая для применения в составе оптического транспортного модуля OTM в полной форме исполнения. OTUk-V состоит из блока данных оптического канала, заголовка для управления соединением оптического канала и поля исправления ошибок FEC. Блок OTUk направляется на оптический модулятор, где формируются импульсные оптические посылки на определённой волне излучения. Волны излучения каждого OCh объединяются в оборудовании оптической секции мультиплексирования OMS (Optical Multiplex Section).

На уровне оптической секции мультиплексирования OMS-n производится мультиплексирование/демультиплексирование n оптических каналов. Число $1 < n < 16$ указывает на оптические частоты, рекомендованные для передачи сигналов через волоконно-оптические линии в диапазоне 1260-1675 нм. В этом диапазоне возможно группирование оптических частот блоками из n в модули OTM-n для их последующей трансляции в оптических секциях OTS (Optical Transmission Section).

На уровне оптической секции передачи OTS-n формируются и расформируются оптические транспортные модули OTM-n,m, OTM-

nr.m, OTM-O.m (Optical Transport Module). Индексы OTM определены для обозначения различных вариантов построения интерфейсов.

Индекс «n» используется для обозначения максимального числа волн передачи. Если $n = 0$, то это признак одной волны передачи.

Индекс «k» используется для обозначения упрощенных функций, в частности, OTM не содержит отдельного волнового сервисного канала передачи заголовков.

Индекс «t» используется для обозначения иерархической ступени OTN с соответствующей скоростью передачи в варианте комбинирования скоростей. Он является расширенным, по сравнению с индексом «k», обозначением ($t = 1, 2, 3, 12, 123, 23$).

Индекс «k» используется для обозначения поддерживаемой иерархической скорости OTN (табл. 8). Так $k = 1$ соответствует скорости 2,7 Гбит/с, $k = 2$ соответствует скорости 10.7 Гбит/с, $k = 3$ соответствует скорости 41.2 Гбит/с.

Таблица 8 – Иерархия скоростей передачи в OTN

OTUk	Скорость, кбит/с	Отклонение скорости	Длительность цикла, мкс
OTU1	255/238x2488320	$\pm 20 \times 10^{-6}$	48,971
OTU2	255/237x9953280		12,191
OTU3	255/236x39813120		3,035

Уровень оптической физической секции порядка n OPS-n (Optical Physical Section-n) предусмотрен для передачи многоволнового оптического сигнала через оптические среды разных типов (одномодовые волокна с характеристиками G.652, G.653, G.655, G.656). Порядок волновой передачи определен индексом «n», который может лежать в пределах $0 < n < 16$. В этом интерфейсе отсутствует волновой сервисный канал.

6.2.2.2 Схема мультиплексирования

Схема мультиплексирования и упаковки оптической транспортной иерархии OTN отражает последовательность преобразований информационных данных и оптических сигналов в интерфейсе OTN (рис. 95). Процедуры преобразований показаны стрелками. Блоки схемы, изображенные в виде прямоугольников, предназначены под упаковку цифровых данных. Блоки схемы, изображенные в виде овалов, предназначены для операций мультиплексирования.

В результате операций упаковки создаются адаптированные блоки цифровых данных OTU, которые передаются в оптических каналах. В результате операций мультиплексирования создаются групповые блоки цифровых данных ODTUG и групповые блоки оптических каналов OCG.

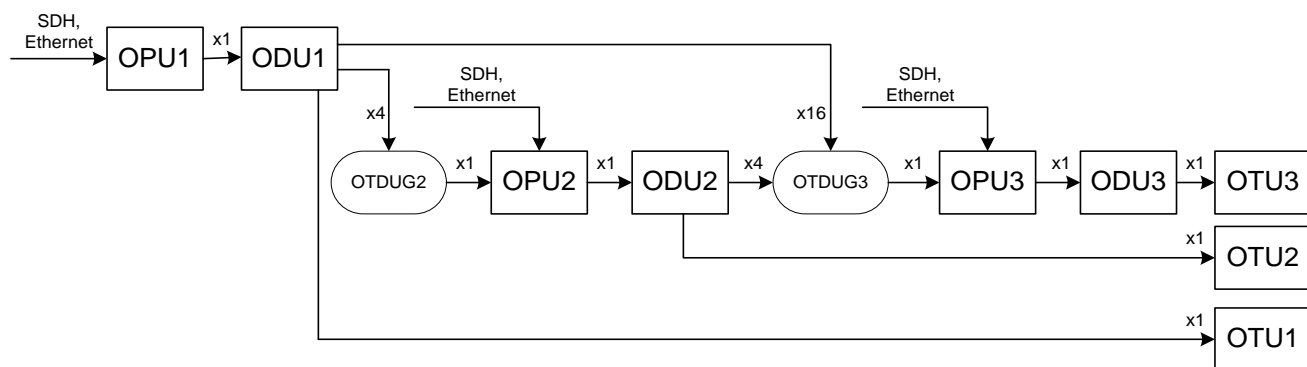


Рисунок 95 – Схема мультиплексирования ОТН

При создании OTU_k на этапах мультиплексирования применяется синхронное побайтовое объединение информационных данных ODU_k в групповые блоки ODTUG_k, где k= 1,2,3. Формирование структур OTU_k, ODU_k и OPU_k также связано с присоединением заголовков ОН (Overhead) и согласованием скоростей.

Цикл OTU_k начинается синхрословом в заголовке FAOH емкостью 7 байтов в головной части. В завершении цикла применяется блок 4x256 байтов, который может быть заполнен кодом Рида-Соломона (RS, Reed-Solomon) для упреждающей коррекции ошибок FEC или содержать нулевое балластное заполнение. Передача байтов блоков OTU_k производится слева направо и сверху вниз байт за байтом.

Конечным результатом выполнения операций схемы мультиплексирования является оптический транспортный модуль OTM в одном из трех вариантов исполнения. В этих вариантах могут сочетаться различные по скорости и цикличности оптические каналы с загружаемыми в них блоками OTU_k. Блоки нагрузки оптических каналов OPU_k предназначены для упаковки цифровых информационных данных с синхронным по битам или асинхронным согласованием скоростей. Блок OPU_k может иметь один из трех порядков (k = 1, 2, 3), который соответствует определенной скорости передачи ОТН. Заголовок OPU_k имеет одинаковую структуру на всех иерархических ступенях.

Блок ODU_k — информационная циклическая структура, используемая в оптическом канале для поддержки тракта «из конца в конец».

Информационная циклическая структура ODU_k представлена двумя частями: полем нагрузки OPU_k и полем заголовка ODU_k ОН. Емкости ODU_k определены для k = 1,2,3. В заголовке ODU_k помещается информация о функциях эксплуатации и управления при поддержке оптического канала OCh.

Таблица 9 – Типы и емкость блоков ODU_k

Тип ODU _k -Xv	Номинал битовой скорости ODU _k , кбит/с	Отклонение скорости
ODU1	239/238 x 2488320	±20x10 ⁻⁶

ODU2	239/237 x 9953280
ODU3	239/236x39813120

Для увеличения емкости информационных данных, передаваемых через оптические каналы, в схеме мультиплексирования OTN предусмотрено формирование различных объединенных групповых блоков данных, обозначаемых ODTU_{jk} (Optical channel Data Tributary Unit j into k) или ODTUG_k (Optical channel Data Tributary Unit Group). Значение индексов $j = 1, 2, k = 2, 3$ указывает на физический объем объединенных блоков и их состав. Оптический транспортный блок OTU_k, где $k = 1, 2, 3$, является основным цифровым транспортным средством оптической сети OTN, передаваемым с определенной цикличностью в оптическом канале. В структуру OTU_k помещаются блоки ODU_k.

Блок OTU_k перед отправкой в оптический канал проходит процедуру скремблирования за исключением байт заголовка OH (FAOH, OTU_k OH).

Для скремблирования применяется полином $1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$.

Транспортировка информационных данных пользователя сети OTN в каждом оптическом канале OCh происходит между точками включения регенераторов 3R, восстанавливающих амплитуду, форму и длительность электрических импульсов. Пользовательские сигналы в OCh представляют собой сигналы OTU_k. Кроме того, OCh могут поддерживать передачу других цифровых сигналов, например STM-N, GbE. Блок оптического канала может создавать сетевой цикл полной или упрощенной формы.

Полная форма цикла уровня OCh предполагает перенос пользовательских данных на отдельной оптической частоте и заголовка каждого оптического канала на общей оптической частоте для n-каналов, т.е. отдельным оптическим сервисным каналом (OOS).

Блок переноса оптического канала OCC (Optical Channel Carrier) предназначен для модуляции/демодуляции оптической частоты. Он может исполнять функции в двух вариантах: OCC_o и OCC_r. Вариант блока OCC используется в полнофункциональной схеме оптического мультиплексирования с формированием заголовка OCC_o и поля нагрузки OCC_r в секции мультиплексирования OMS. Вариант блока OCC_r используется в упрощенной схеме оптического мультиплексирования без заголовка OCC_o.

Каждому блоку OCC придается точно определенная оптическая частота, соответствующая стандарту DWDM или CWDM.

Блок группирования оптических несущих частот порядка n (OCG-n, Optical Carrier Group of order n) предназначен для мультиплексирования /демультиплексирования до 16-и частот. Предусмотрено две разновидности группирования: OCG-n.m и OCG-nr.m. Группирование OCG-n.m состоит в объединении/делении g оптических несущих частот с каналами нагрузки OTU-m в любом сочетании и канала обслуживания с заголовком OCC_o. Группирование OCG-nr.m состоит в объединении/делении n оптических несущих частот с каналами нагрузки OTU-m в любом сочетании. В этом

варианте группирования не предусмотрено отдельного ассоциированного заголовка.

Благодаря группированию OCG-n создается оптическая секция мультиплексирования OMS-n, в которой образуются блоки оптического мультиплексирования OMU-n (Optical Multiplex Union-n, $n > 1$). Для поддержки уровня оптической секции мультиплексирования создается заголовок секции мультиплексирования OMS-nOH, транспортируемый в сервисном канале OOS.

Выводы:

1. Для реализации комплекса оконечной и промежуточной каналообразующей аппаратуры на скорости передачи от 155 Мбит/с до 10 Гбит/с необходимо использовать технологию SDH до уровня STM-64.
2. Для реализации оконечной и промежуточной каналообразующей аппаратуры со спектральным разделением каналов на скорость передачи в одном канале 100 Гбит/с необходимо использовать технологию OTN и DWDM.
3. Функции контроля состояния линейных устройств и автоматизированного управления, а также наблюдения и контроля работы каналообразующего комплекса и линейных устройств целесообразно реализовать при разработке технических решений комплекса оконечной и промежуточной каналообразующей аппаратуры и оконечной и промежуточной каналообразующей аппаратуры со спектральным разделением каналов.

5 Типовая структурная схема линейного тракта с размещением элементов линейного тракта на ПВОЛС

На основе анализа мирового и отечественного опыта создания ПВОЛС большой протяженности, требований тактико-технического задания ОКР, принципов функционирования линейного тракта и принципов разветвления топологии линейного тракта, в данном разделе представлены типовые структурные схемы линейного тракта с размещением элементов линейного тракта на ПВОЛС.

На рисунках 91, 92 и 93 представлены три варианта типовой структурной схемы линейного тракта.

На рисунке 91 представлена типовая структурная схема линейного тракта Вариант 1. Данный вариант предполагает использование существующих технологий передачи оптического сигнала, которые позволяют при

минимальной стоимости обеспечить качественную передачу на 100 км. Через каждые 100 км необходима установка оптического усилителя для компенсации затухания сигнала в кабеле. Через каждые 1250 км необходима установка БРП, который восстанавливает амплитуду, форму и фазу передаваемого сигнала. БРП представляет собой 2 комплекта оконечной каналообразующей аппаратуры. Таким образом, в БРП осуществляется преобразование оптического сигнала в электрический, и обратное преобразование электрического сигнала в оптический. На линии протяженностью 5000 км необходима установка 3-х БРП.

К преимуществам данного варианта относится проработанность технологии и меньшая стоимость (по сравнению с другими вариантами). Кроме этого, в данном варианте более просто реализуется дистанционное электропитание усилителей, и предъявляются менее жесткие требования к подводному оптическому кабелю, что позволяет изготовить его с приемлемыми массогабаритными и стоимостными характеристиками.

К недостаткам варианта относится необходимость организации 3-х береговых пунктов регенерации, что может быть осложнено отсутствием инфраструктуры в предполагаемом месте их размещения.

На рисунке 92 представлена типовая структурная схема линейного тракта Вариант 2. Данный вариант предполагает использование более сложных (чем в первом варианте) технологий передачи оптического сигнала, которые позволяют, при сохранении расстояния между оптическими усилителями в 100 км, обеспечить расстояние между регенераторами в 2500 км.

Регенераторы в данном варианте аналогичны первому варианту, однако их количество на линии протяженностью 5000 км равно 1.

К преимуществам данного варианта относится необходимость установки всего одного берегового регенерационного пункта.

К недостаткам варианта относятся увеличение стоимости за счет использования более сложной технологии передачи оптического сигнала, усложнения системы дистанционного электропитания и ужесточения требований к подводному оптическому кабелю, что приведет к увеличению его массогабаритных и стоимостных характеристик.

На рисунке 93 представлена типовая структурная схема линейного тракта Вариант 3. Данный вариант предполагает использование самых современных зарубежных технологий передачи оптического сигнала, которые позволяют, при сохранении расстояния между оптическими усилителями в 100 км, обеспечить передачу сигнала без регенерации на расстояние 5000 км.

К преимуществам данного варианта относится присутствие на всей линии протяженностью 5000 км только оптических усилителей и отсутствие необходимости организации береговых пунктов.

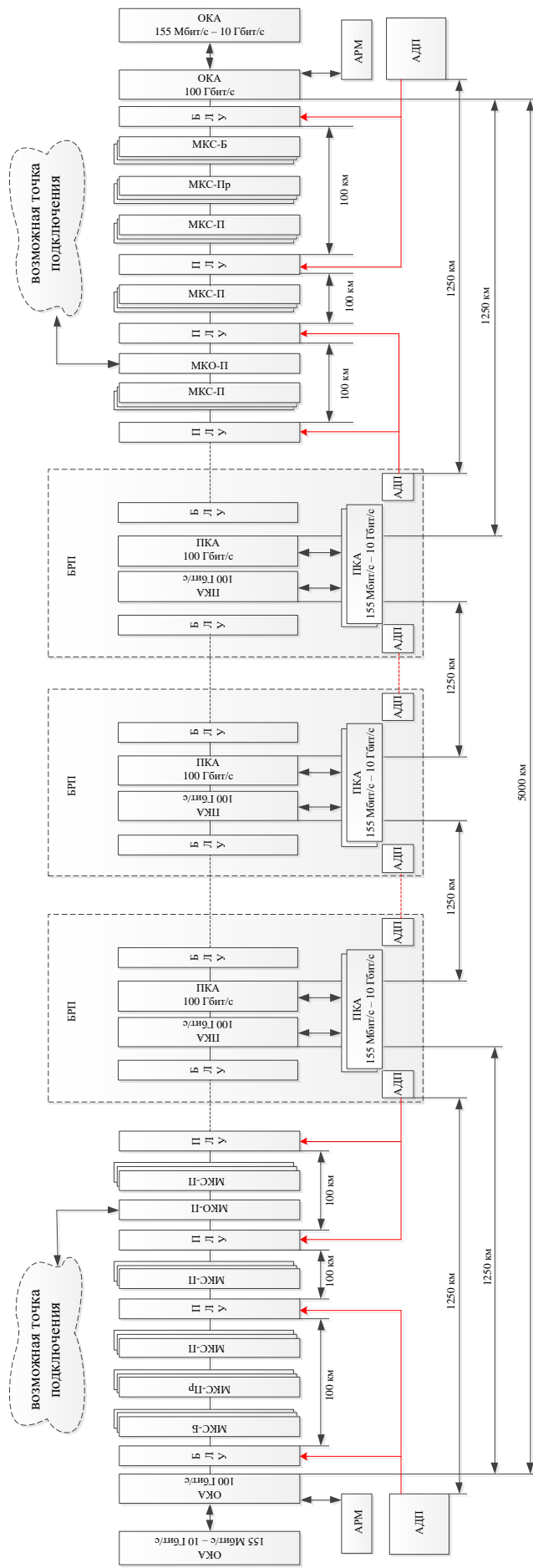
К недостаткам варианта относится большая стоимость реализации за счет использования иностранной технологии передачи оптического сигнала, дополнительного усложнения системы дистанционного электропитания усилителей и ужесточения требований к подводному оптическому кабелю, что приведет к увеличению его массогабаритных характеристик (из-за

требований системы дистанционного электропитания), и, следовательно, усложнит процесс строительства ПВОЛС.

Таким образом, каждый из вариантов отличается степенью реализуемости, которая определяется как возможностью безрегенерационной передачи многочастотного оптического сигнала на определенную дальность, так и возможностью организации дистанционного электропитания подводных и береговых линейных усилителей по медным жилам подводного оптического кабеля при допустимых значениях его массогабаритных характеристик и стоимости разработки и изготовления.

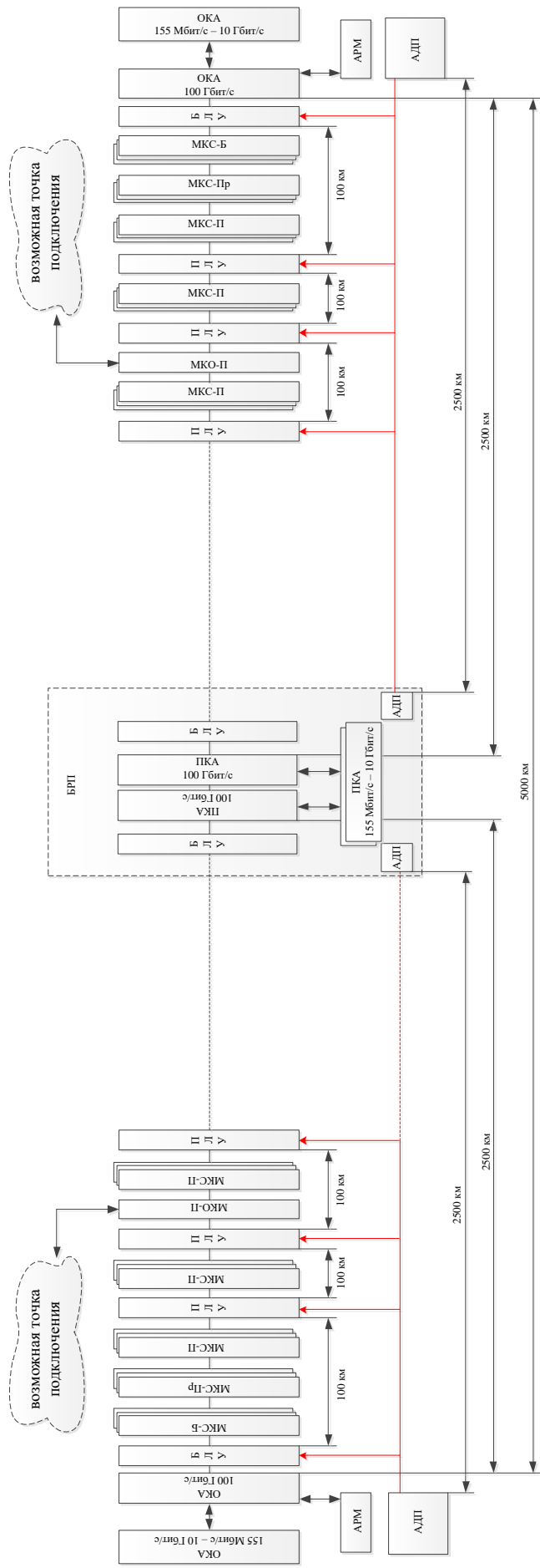
Выводы:

1. Наиболее предпочтительным для реализации является первый вариант типовой структурной схемы линейного тракта. При его использовании будут получены оптимальные значения стоимости разрабатываемых изделий АКК ПВОЛС при выполнении всех заданных требований и сохранении всех эксплуатационных характеристик.
2. При наличии ограничений по размещению БРП, а также наличии ресурса на покрытие большей стоимости оконечного оборудования и подводного оптического кабеля, имеется возможность реализации второго варианта типовой структурной схемы.
3. Третий вариант типовой структурной схемы линейного тракта не рекомендуется к реализации в настоящее время по причине большой стоимости.



Оконечная и промежуточная каналообразующая аппаратура со спектральным разделением каналов на скорость передачи в одном канале 100 Гбит/с - (ОКА и ПКА)
 Комплекс оконечной и промежуточной каналообразующей аппаратуры на скорость передачи от 155 Мбит/с до 10 Гбит/с
 Муфта кабельная соединительная подводная - (МКС-П)
 Муфта кабельная соединительная подводная - (МКО-П)
 Муфта кабельная соединительная береговая - (МКС-Б)
 Муфта кабельная соединительная прибрежная - (МКС-Пр)
 Береговые регенерационные пункты - (БРП)
 Подводный линейный усилитель - (ПЛУ)
 Береговой линейный усилитель - (БЛУ)
 Аппаратура дистанционного питания линейных (подводных и береговых) усилителей и береговых промежуточных пунктов - (АДП)

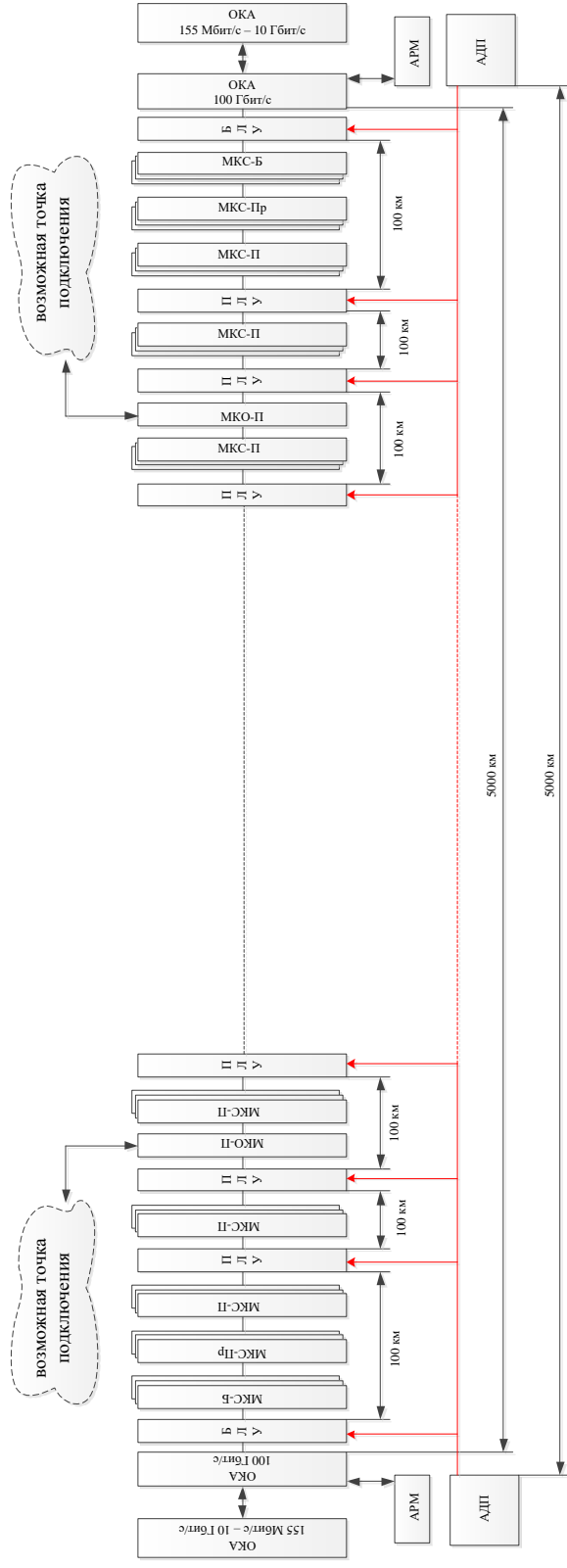
Рисунок 91 – Типовая структурная схема линейного тракта с размещением элементов линейного тракта на ПВОЛС (вариант 1)



Оконечная и промежуточная каналообразующая аппаратура со спектральным разделением каналов на скорость передачи в одном канале 100 Гбит/с - (ОКА и ПКА)
 Комплекс оконечной и промежуточной каналообразующей аппаратуры на скорость передачи от 155 Мбит/с до 10 Гбит/с

- Муфта кабельная соединительная подводная - (МКС-П)
- Муфта кабельная ответвительная подводная - (МКО-П)
- Муфта кабельная соединительная береговая - (МКС-Б)
- Муфта кабельная соединительная прибрежная - (МКС-Пр)
- Береговые регенерационные пункты - (БРП)
- Подводный линейный усилитель - (ПЛУ)
- Береговой линейный усилитель - (БЛУ)
- Аппаратура дистанционного питания линейных (подводных и береговых) усилителей и береговых промежуточных пунктов - (АДП)

Рисунок 92 – Типовая структурная схема линейного тракта с размещением элементов линейного тракта на ПВОЛС (вариант 2)



Оконечная и промежуточная каналообразующая аппаратура со спектральным разделением каналов на скорость передачи в одном канале 100 Гбит/с - (ОКА и ПКА)

Комплекс оконечной и промежуточной каналообразующей аппаратуры на скорость передачи от 155 Мбит/с до 10 Гбит/с

Муфта кабельная соединительная подводная - (МКС-П)

Муфта кабельная ответвительная подводная - (МКО-П)

Муфта кабельная соединительная береговая - (МКС-Б)

Муфта кабельная соединительная прибрежная - (МКС-Пр)

Береговые регенерационные пункты - (БРП)

Подводный линейный усилитель - (ПЛУ)

Береговой линейный усилитель - (БЛУ)

Аппаратура дистанционного питания линейных (подводных и береговых) усилителей и береговых промежуточных пунктов - (АПТ)

Рисунок 93 – Типовая структурная схема линейного тракта с размещением элементов линейного тракта на ПВОЛС (вариант 3)