

УДК 621.318.5

## ПОДВОДНЫЕ ОПТОВОЛОКОННЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ: КОНСТРУКЦИЯ, СПОСОБЫ ПРОКЛАДКИ, ОБОРУДОВАНИЕ

С.Л. Денисов, НТО «ИРЭ-Полус», инженер-разработчик; sDenisov@ntoire-polus.ru

И.Э. Самарцев, заместитель генерального директора НТО «ИРЭ-Полус»; sam@ntoire-polus.ru

**Ключевые слова:** подводная волоконно-оптическая линия связи, подводный оптический кабель, подводный оптический усилитель, протяженность (линии связи), условия эксплуатации.

Подводные волоконно-оптические системы (ВОЛС) играют важную роль в жизни современного информационного общества, являясь неотъемлемой частью глобальной системы связи. На сегодняшний день ВОЛС переносят значительно больший поток информации, нежели спутниковые системы связи. По сравнению со спутниками у них значительно больший ресурс — 30 лет против 10—12 лет у спутников, а кроме того, они независимы от способов кодирования передаваемой информации, обеспечивают высокую помехоустойчивость и защищенность от несанкционированного доступа.

Применение оптических телекоммуникационных технологий способствовало значительному снижению стоимости передачи информации. Однако при прокладке кабеля на морском и, особенно, океанском дне возникает множество проблем. Значительные глубины (более 8000 м), высокое давление, малая доступность, сложный подводный рельеф и условия прокладки заставляют обращать особое внимание на конструкцию кабеля, оптических усилителей, узлов соединения, разветвителей и другого оборудования. К агрегатам, располагающимся под водой, предъявляются повышенные требования по надежности, качеству производства, ресурсу (их срок эксплуатации составляет 25—30 лет). Поэтому компоненты подводных линий связи должны обладать высокой надежностью.

**Виды подводных оптоволоконных линий связи.** Существует две основные группы подводных ВОЛС:

- линии связи с применением подводных оптических усилителей;
- линии связи без применения подводных оптических усилителей.

В свою очередь, линии связи с применением подводных оптических усилителей делятся на межконтинентальные, или трансокеанские (рис. 1, а), и прибрежные (рис. 1, б) [1].

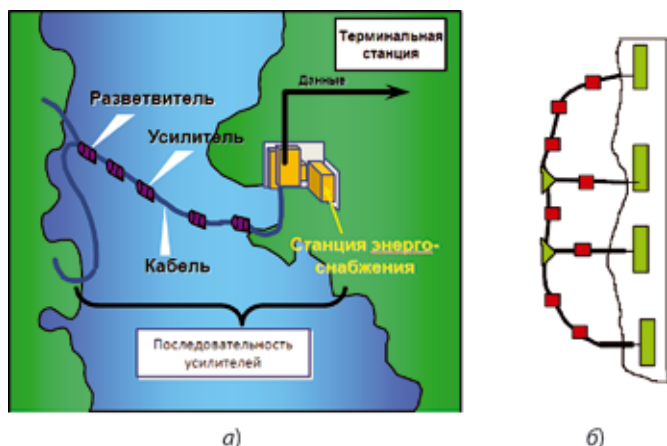


Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

Линии связи без применения подводных оптических усилителей делятся на прибрежные с разветвителями (рис. 2, а), прибрежные без разветвителей (рис. 2, б), межконтинентальные (рис. 2, в) и линии с применением рамановского усилителя (рис. 3, где ROPA — Remote Optically Pumped Amplifier, эрбиевый усилитель с удаленной оптической накачкой [2]).

Наибольшее распространение сегодня получили системы с оптическими усилителями — именно они являются основным средством связи и обмена информацией между материками. Это, например, трансатлантические линии связи (ТАТ) и транстихоокеанские линии связи (ТРС), длина которых превышает 9000 км.

Подводные системы, не имеющие оптических усилителей, распространены гораздо меньше. Обычно они применяются для создания национальных сетей государств, располагающихся на нескольких островах (таких, например, как Багамы, Индонезия), или для связи морских нефтяных платформ. Их длина не превышает 400 км.

В данной работе основное внимание уделяется межконтинентальным (трансокеанским) линиям связи. Однако следует отметить, что в последнее время все активнее внедря-

ются линии связи с применением рамановских усилителей, основанных на эффекте ВКР, причем такие усилители могут использоваться как в межконтинентальных, так и в прибрежных линиях связи [2].

**Прокладка подводных ВОЛС.** При планировании маршрута прокладки кабеля для подводной оптоволоконной линии связи необходимо принимать во внимание несколько факторов. Маршрут должен быть экономически выгодным и безопасным, так как использование различных способов защиты кабеля приводит к увеличению стоимости проекта и срока его окупаемости. Кроме того, при прокладке кабеля между разными странами требуются разрешения на использование прибрежных вод того или иного государства, а также лицензии на проведение кабелеукладочных работ [3].

Следующий этап — анализ потенциальных рисков при укладке кабеля, исследование маршрута, морфологии и геологии морского дна (таких факторов, как сейсмическая активность, подводный вулканизм, подводные барханы, выход скальных пород, возможность подводных оползней и обвалов), океанографии и метеорологии.

Геологическое исследование маршрута прокладки кабеля нацелено на определение топографии морского дна и получение информации о морском грунте. Качество исследования должно быть обеспечено образцами грунта и анализом отложений, находящихся на морском дне.

Изучение маршрута прокладки включает в себя геофизические (измерение глубины моря, сканирование поверхности дна гидролокатором, профилирование дна) и геотехнические (определение возможности и способов бурения) работы, а также вычисление плотности грунта.

Особое внимание при прокладке кабеля следует уделить возможным отклонениям от выбранного географического маршрута. Они могут привести к увеличению длины прокладываемого кабеля и, более того, к укладке кабеля в область, исследование которой не проводилось и поэтому она представляет собой зону потенциального риска повреждения кабеля.

При укладке кабеля в глубоководных районах необходимо учитывать течения: они могут серьезно влиять на местоположение не только корабля, но и кабеля, когда он касается морского дна. Потенциально любые течения способны отнести кабель в сторону от маршрута укладки [4].

Опасность для кабеля могут представлять и последствия деятельности человека: дноуглубительные работы; повреждения, наносимые корабельными якорями; рыболовство; добыча нефти, газа и природных ископаемых; расположение других кабелей/трубопроводов.

После анализа вышеперечисленных факторов, которые могут привести к повреждению подводной линии связи, происходит выработка рекомендаций для а) безопасного маршрута прокладки кабеля и б) способов защиты кабеля от внешних воздействий.

Существует два основных способа защиты кабеля: бронирование и укладка в траншею, выкапываемую на дне. При бронировании кабеля уровень его защиты от внешних воздействий ниже, зато выше степень доступности к нему, что особенно важно при проведении ремонтно-восстановительных работ. Зарывание кабеля в траншею на глубину от 0,6 до 3 м обеспечивает высокий уровень защиты, но значительно снижает доступность к кабелю (возможность зарывания зависит от типа грунта), а кроме того, приводит к снижению уровня защиты при движении донных отложений (подвижке грунта) [3, 5]. Если укладка в траншею невозможна, применяются

другие меры по защите кабеля: укрытие специальными плитами (покрытием) или засыпание камнями.

**Береговые терминальные станции и станции энергоснабжения.** На береговых терминальных станциях (рис. 4) [1] располагается оборудование для энергоснабжения подводной линии связи, контроля состояния линии, соединения с береговым центром сбора и распределения данных, а также приемопередающее оборудование оптических линий связи.

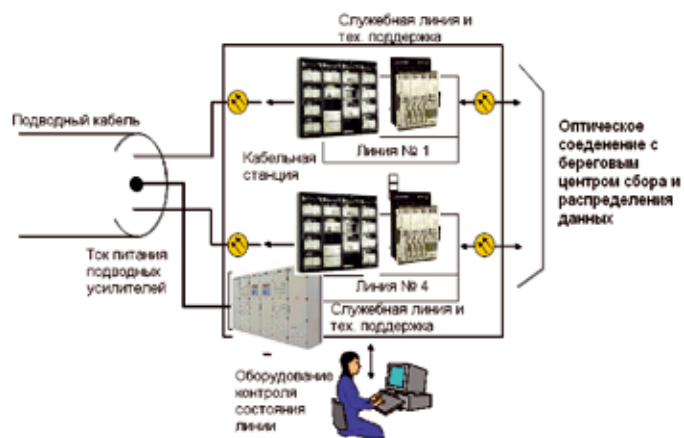


Рис. 4

На рис. 5 приведен пример питания постоянным током подводной оптоволоконной линии связи РСС-1 Сидней — Гуам [6]. На каждой станции энергоснабжения имеется источник высокого напряжения. На станции А плюс источника подключается к токоведущей жиле подводного кабеля, а минус идет на землю. На станции Б к токоведущей жиле подводного кабеля подсоединяется минус и, соответственно, плюс 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 ВОЛС протяженностью более 6000 км используется напряжение свыше 10 кВ, линий протяженностью 2000—6000 км — 5—10 кВ и линий протяженностью до 2000 км — до 5 кВ.

Напряжение и мощность источников питания рассчитываются исходя из параметров линии. Учитываются такие параметры, как длина линии, мощность, потребляемая в каждом узле (подводном усилителе), количество узлов, удельное сопротивление токоведущей жилы.

Системы энергоснабжения должны обладать высокой надежностью и очень стабильным постоянным напряжением;



Рис. 5

на передающих станциях присутствуют системы локализации ошибок и неисправностей. Также системы энергоснабжения нуждаются в специальных системах контроля тока и напряжения для предотвращения скачков, которые могут вывести из строя подводный усилитель и даже всю линию. Для повышения надежности система энергоснабжения резервируется.

**Подводные волоконно-оптические кабели.** Оптоволоконные кабели для подводных межконтинентальных линий связи [1, 7] состоят, как правило, из оптического сердечника, токоведущей жилы и внешних покровов (рис. 6). В трубчатом сердечнике располагаются оптические волокна (от 4 до 12 штук), внешние покровы предназначены для защиты кабеля от внешних воздействий, а токоведущая жила необходима для обеспечения питания постоянным током подводных усилителей.

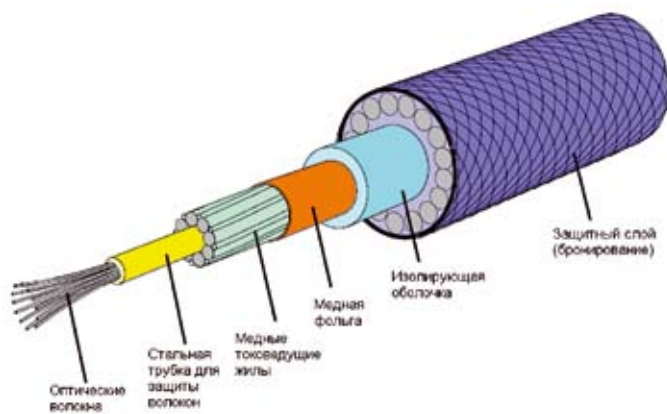


Рис. 6

Существует несколько видов конструктивной защиты подводного кабеля от внешних воздействий — в таблице приведены типы подводных оптических кабелей и области их применения [3]. Соответственно, промышленные предприятия выпускают оптоволоконные кабели различных видов защиты [1] в зависимости от поперечного разреза (рис. 7).

Сегодня производятся и специальные типы кабелей для подводных оптоволоконных сетей без усилителей — в них отсутствуют токоведущие жилы [8].

Конструкция бронированных кабелей обычно включает в себя выполненную из нержавеющей стали металлическую трубку (трубчатый металлический сердечник), в которой находятся оптические волокна (пространство между волокнами

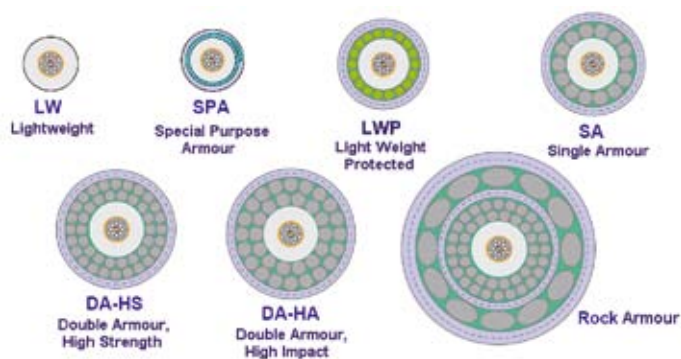


Рис. 7

заполняется гидрофобным компаундом), пластиковую оболочку, повив медных токоведущих жил, меднополиэтиленовую оболочку, однослойный повив стальных проволок в случае бронированного кабеля (для дважды бронированного кабеля — двухслойный повив стальных проволок), битумный наполнитель и наружное покрытие (обычно используется светостабилизированная полипропиленовая пряжа).

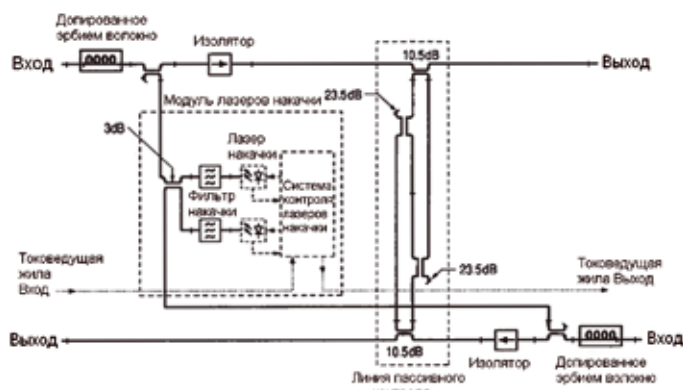
**Подводные оптические усилители** предназначены для усиления оптических сигналов, распространяющихся в подводном оптоволоконном кабеле. Обычно в межконтинентальных линиях используются EDFA-усилители.

На рис. 8 представлена архитектура подводного оптического усилителя оптоволоконной пары [9]. Усилитель для оптоволоконной пары состоит из двух EDFA-усилителей, обеспечивающих усиление оптических сигналов, распространяющихся в двух противоположных направлениях. Общая конструкция блока оптических усилителей может включать в себя до четырех усилителей таких оптических пар.

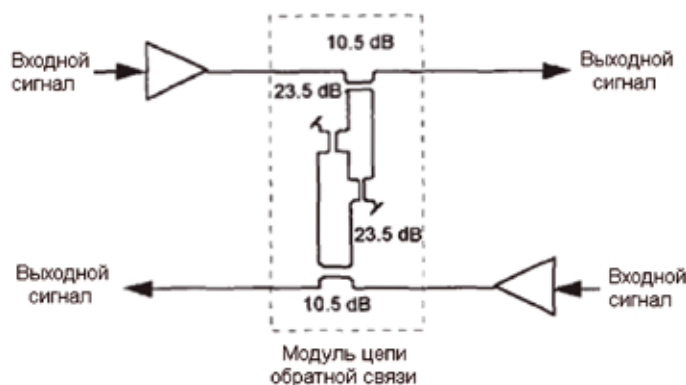
Неотъемлемой особенностью подводных оптических усилителей в протяжённых оптоволоконных линиях связи является удалённый контроль характеристик любого усилителя для выявления случаев деградации или каких-либо сбоев в системе. Для этого существуют системы типа команда-отклик и системы пассивного мониторинга. В первых береговой терминал посылает сигнал, который принимается усилителем, анализируется, после чего генерируется исполняемая команда и отправляется ответный сигнал обратно на терминал. Системы пассивного контроля содержат в себе механизм, обеспечивающий системе контроля состояния линии на береговом терминале специальный канал контроля в каждом усилителе — так называемую цепь обратной связи для воз-

Кабель	Характеристики	Глубина укладки, м
Легкий Lightweight — LW	Глубоководный кабель для областей, где отсутствует риск значительных повреждений	<8000
Защищенный легкий Light Weight Protected — LWP	Легкий кабель с защитой от механических повреждений. Подходит для областей с пересеченной местностью	<3500
Бронированный легкий Single Armour Light — SLA	Относительно легкий кабель для областей, где возможно его зарывание в траншею и риск внешних повреждений минимален	<1500
Бронированный Single Armour — SA	Для областей, где допускается ограниченное зарывание кабеля	<1500
Дважды бронированный кабель Double Armour — DA	Сильно защищенный кабель для применения в прибрежных областях и местах, где существует большой риск повреждения кабеля тральми и сетями рыболовных судов	<500
Кабель для прокладки в скалах Rock Armour — RA	По свойствам схож с кабелем DA, но отличается повышенным сопротивлением и большей гибкостью. Предназначен для укладки на волнистом каменном дне и в областях с высокой рыболовной активностью	<200





*Рис. 8*



*Рис. 9*

вращения части передаваемого сигнала назад к источнику. Архитектура усилителя с цепью обратной связи для пассивного контроля характеристик представлена на рис. 9 [9].

Система с цепью обратной связи позволяет использовать оптические рефлектометры (OTDR) для исследования передающей линии при определении мест поломок кабеля между усилителями [9].

Конструкция корпуса усилителя должна отвечать следующим основным требованиям [10]: антикоррозийная стойкость; стойкость к внешнему гидростатическому давлению; герметичность узлов ввода оптоволоконна; высокие электроизолирующие характеристики; защита от перепадов напряжения и тока; устойчивость к вибрационному и ударному воздействию; высокая надежность компонентов, входящих

в конструкцию усилителя; уверенная эксплуатация в диапазоне рабочих температур.

Корпус усилителя изготавливается из медно-бериллиевого сплава, обладающего высокими антикоррозийными и механическими свойствами [10]. Особенно жесткие требования предъявляются к герметичности корпуса усилителя, который подвергается внешнему гидростатическому давлению до 80 МПа. Отсек, в котором располагается электронное оборудование усилителя, отделен от внешнего металлического корпуса посредством специальной высоковольтной изоляции [10].

Для защиты подводного усилителя от внезапных перепадов высокого напряжения в цепи питания применяется специальная предохранительная цепь. Расчеты показывают, что такая система обеспечивает защиту от перепадов напряжения и тока в пределах  $\pm 15$  кВ и  $\pm 200$  А [10]. Электропитание усилителя осуществляется постоянным током с использованием тоководящей жилы подводного кабеля. Сила тока может достигать 1,6 А [6].

---

**ЛИТЕРАТУРА**

1. **Markow A.** Summary of Undersea Fiber Optic Network Technology and Systems. URL: <http://www.davidrossgroup.com>.
2. **Bakhshi B.** Repeaterless DWDM Transmission in Submarine Systems/Tyco Telecommunications, NJ, USA // *Laser Optics*.— 2008.
3. **Rapp R., Lawrence M., Borwick D., Kuwabara T.** Marine Survey & Cable Routing/Sub Optic.— 2004.
4. **Allan P.G.** Hydrographic information and submarine cable industry//Hydro, Norwich. — 2001.— March.
5. **Jonkergouw M.** Industry Developments in Burial Assessment Surveying (BAS)/Alcatel.— Sub Optic, 2001.
6. Блог строительства подводной оптоволоконной линии связи PPC-1 Сидней—Гуам. URL: <http://www.pipeinternational.com>.
7. **Kaminow I.P., Tingye Li.** Optical Fiber Telecommunications IVB/Systems and Impairments.— Academic Press, 2002.— P. 154—197.
8. SOFC Submarine Power Cable: Catalogue/Zhongtian Technologies Submarine Cable Co.
9. **Kaminow I.P., Koch Thomas L.** Optical Fiber Telecommunications IIIB.— Academic Press, 1997. — P. 42—57.
10. **Harasawa S., Sumitani M., Ohta K.** Reliability Technology for Submarine Repeaters//Fujitsu Sci. Tech. J.— 44, 2 (April 2008).— P. 148—155.

Получено 28.05.09

## ИНФОРМАЦИЯ

## ЦЕНТРУ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ «ДУБНА» — 30 ЛЕТ

31 января 2010 года Центр космической связи (ЦКС) «Дубна» — филиал ФГУП «Космическая связь» — отпраздновал 30-летний юбилей со дня основания. ЦКС «Дубна» был введен в эксплуатацию в 1980 г. приказом министра связи СССР как олимпийский объект, задача которого состояла в обеспечении трансляций Олимпийских игр из Москвы на страны Европы и Атлантического региона.

Сегодня ЦКС «Дубна» — крупнейший телепорт России и один из крупнейших в Европе. Наиболее важная задача ЦКС

«Дубна» — обеспечение качественной и непрерывной работы линий правительственной связи. Одно из основных направлений работы ЦКС «Дубна» — организация спутниковых каналов связи (включая сети VSAT) и цифрового телерадиовещания. Телевизионное вещание и обмен новостями осуществляются через спутниковую распределительную систему ГПКС, обеспечивающую передачу цифрового телевизионного сигнала российских государственных программ на Сибирь и Дальний Восток, а также

через спутниковую систему «Москва-Глобальная», вещающую на Европу и Африку.

В ЦКС «Дубна» развернут западный пункт наземного комплекса управления и мониторинга загрузки спутников «Экспресс-АМ» в составе космической группировки ГПКС. На территории ЦКС установлены также станции мониторинга загрузки и управления космическими аппаратами международных операторов спутниковой связи Eutelsat и Intelsat.