

## ВВЕДЕНИЕ

Сегодня связь играет важную роль в нашем мире. И если ранее для передачи информации использовались медные кабели и провода, то теперь наступило время оптических технологий и оптоволоконных кабелей. Применение оптических телекоммуникационных технологий способствовало значительному снижению стоимости передачи информации во всём мире.

Сегодня общая протяженность кабельных линий связи в России достигает несколько десятков тысяч километров. Она перекрывает пролеты длиной более 1000 км при глубине прокладки от нескольких сот метров до километра, а срок их службы превышает 25 лет.

Более 20 лет назад на смену металлическим коаксиальным линиям связи пришли океанские и морские подводные кабельные волоконно-оптические линии связи. Они проложены через Тихий и Атлантический океаны, по побережьям вокруг Африки, Северной и Южной Америки, что позволило насытить мировой рынок телефонной связью. В настоящее время протяженность зарубежных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) составляет более 400 тыс. км. Современные ВОЛС способны пропускать потоки информации объемом 42 Гбит/с, через несколько лет прогнозируется освоить 1,6 Тбит/с. Существующие технические возможности позволяют строить подводные волоконно-оптические системы передачи без линейных регенераторов протяженностью свыше 2000 км.

Широкое использование подводных ВОЛС объясняется продолжительным сроком службы, высоким качеством каналов, возможностью организации связи в относительно короткие сроки, причем даже вдоль малообжитых побережий, где прокладка подземных кабелей экономически нецелесообразна. Строительство подводных ВОЛС выгодно, поскольку капитальные вложения окупаются всего за два-три года, хотя существует риск повреждений подводного кабеля в местах активного

судоходства и лова рыбы, а работы по его восстановлению очень сложны.

Прокладка кабеля на морском, а особенно на океанском дне, сталкивается со многими проблемами. Значительные глубины (более 8000 м), высокое давление, малая доступность, сложный подводный рельеф и условия прокладки налагают особые требования на конструкцию кабеля, оптических усилителей, узлов соединения, разветвителей и другого оборудования.

На все агрегаты, располагающиеся под водой, налагаются повышенные требования по надёжности, качеству производства, ресурсу (срок эксплуатации составляет 25-30 лет). Поэтому компоненты подводных линий связи должны обладать высокой надёжностью.

Совершенствованию и развитию техники подводной кабельной связи в мире уделяется большое внимание; повышается их надёжность и экономичность за счет удешевления самого кабеля и используемого оборудования, увеличения числа каналов в системе, улучшения способов прокладки и профилактики. Однако проектированию, прокладке и защите подводных ВОЛС уделяется недостаточное внимание. Для этих целей необходимо шире использовать не только различные заглубители и подводные аппараты, но и различные методы автоматизированного проектирования.

Данное учебное пособие курса «Подводные ВОЛС» посвящено рассмотрению вопросов проектирования и строительства подводных ВОЛС, их элементов, а также интегральным оценкам создаваемых подводных ВОЛС. Учебное пособие будет полезно студентам, аспирантам, инженерам-проектировщикам и всем интересующимся волоконно-оптическими системами передачи.

# **ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

## **1.1. АНАЛИЗ МИРОВОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА СОЗДАНИЯ ПВОЛС БОЛЬШОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ**

На сегодняшний день связь - это важнейшая отрасль во всем мире. И если раньше для передачи информации использовались медные кабели, то теперь наступило время оптических технологий и оптоволоконных кабелей. Оптические телекоммуникационные технологии способствуют значительному снижению стоимости передачи информации при огромном увеличении пропускной способности.

Для того чтобы обеспечить передачу информации в мировом масштабе необходимо соединять оптическими кабелями очень удаленные территории, включая различные континенты. Развитие такого огромного государства как Россия также немыслимо без прокладки оптических кабелей. А учитывая наличие больших по протяженности водных границ - абсолютно обоснованно и необходимо развивать прокладку подводных ВОЛС, которые позволяют обеспечить надежной связью наши стратегически важные территории.

Если прокладка кабеля по суше не вызывает значительных затруднений (кабели можно укладывать в траншеи, вести на опорах, подобных ЛЭП), то прокладка кабеля на морском, а особенно на океанском дне приводит к многократному возрастанию проблем и, как следствие, стоимости всего проекта. Огромные глубины (более 8000 м), высочайшее давление, малая доступность, сложный подводный рельеф, предъявляют особые требования к конструкции кабеля, оптических усилителей, соединительных муфт, разветвителей и другого оборудования.

Также для укладки кабеля необходимо строительство специального корабля-кабелеукладчика, применение глубоководного оборудования,

аппаратов для заглубления кабеля в грунт и других специальных агрегатов.

В инженерно-техническом плане, прокладка подводной линии связи является очень сложным и дорогостоящим мероприятием (стоимость проекта может превосходить 100 млн. долларов). Однако, благодаря высокой помехозащищённости, широкой полосе пропускания, низкому уровню шумов, экономичности, высокой защищённости от несанкционированного доступа и другим достоинствам все затраты окупаются.

Для сокращения сроков окупаемости линии, повышения надёжности и качества связи необходимо провести тщательное исследование морского дна, анализ воздействий, которые могут вызвать повреждения кабеля (учесть как человеческий, так и природный факторы), изучить информационные потоки, переносчиком которых будет данная подводная линия связи. Проведение такого анализа предшествует началу любых работ по прокладке подводного оптоволоконного кабеля.

После проведения анализа необходимо выбрать способы и сроки укладки кабеля, методы его защиты от внешних воздействий, а также разработать методику и оборудование для ремонта и восстановления кабеля/оптического усилителя/разветвителя в случае повреждения.

Таким образом, нужно отметить, что прокладке подводной оптоволоконной линии связи предшествует тщательное планирование, изучение и анализ проводимых работ.

После этого начинаются работы по прокладке кабеля (на берегу, вывод кабеля с берега в море, прокладка кабеля в море) и строительство береговых терминальных станций.

Подводные волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) являются магистральными линиями связи между континентами и удаленными территориями. 99% всей передачи информации между континентами происходит по подводным ВОЛС. Кроме этого, ПВОЛС используются и

для связи с удаленными регионами, куда еще труднее протянуть наземные оптоволоконные линии. Несмотря на высокую стоимость подводной оптики, это направление очень активно развивается во всем мире и в России.

Подводные ВОЛС - это наиболее эффективная и надежная связь. Поскольку беспроводная связь (кроме спутниковой) не может быть организована на такие большие расстояния. Кроме этого, что наиболее важно, осуществлять передачу данных на высоких скоростях (Тбит/с) можно сегодня только по оптоволокну.

Прокладка подводных кабелей осуществляется специальными судами – кабелеукладчиками. Для подводных ВОЛС используются оптические кабели, толщина которых составляет 7-10 см. Кроме того, они имеют защитную бронированную оболочку. Пропускная способность и надежность таких линий связи должны быть высокими, поскольку через один кабель может осуществляться связь в интересах огромного числа абонентов.

Естественно, стоимость прокладки подводных ВОЛС достаточно высокая. Так, стоимость прокладки 1 км оптического кабеля составляет около 40 тыс. долл. США. Таким образом, подводный кабель протяженностью в 3 тыс. км, может стоить до 120 млн. долл. США. Однако при пересчете стоимости к объему трафика, передаваемого через подводные ВОЛС, получим 15-20 тыс. долл. США за скорость передачи в 1 Мбит/с. Одним из недостатков ПВОЛС является то, что подводные кабели сравнительно быстро изнашиваются, и для восстановления ПВОЛС нужно прокладывать новые кабели. Поэтому расходы на подводные ВОЛС столь значительны.

До недавнего времени считалось, что главное при проектировании ПВОЛС - правильно выбрать трассу. При этом принижалась роль подготовки кабельных судов к прокладке, защиты подводного кабеля от механических повреждений и несанкционированного доступа, что

приводило к существенному ухудшению устойчивости ПВОЛС, повышению стоимости его прокладки и эксплуатации.

Не всегда в процессе проектирования ПВОЛС в должной мере учитывались требования к трассе подводного кабеля, которая должна проходить вдали от стоянок судов и участков тралового лова рыбы, сильных прибоев, мощных придонных течений и т. д. О недостаточном высоком качестве проектирования свидетельствуют показатели функционирования подводных линий связи, действующих в России. Например, в 1999 г. по всем линиям в расчете на 100 км трассы средняя наработка на отказ составляла  $T_{cp} = 1 \times 10^4$  ч при коэффициенте готовности  $K_T = 0,95$ , что является неудовлетворительным.

Важное место в обеспечении высокой эффективности и надежности ПВОЛС занимают технические средства прокладки: кабельные суда, системы контроля, кабельные машины, устройства сращивания подводного кабеля, устройства заглубления кабеля и др.

Через сравнительно небольшие водные преграды (реки, озера, болота и другие водоемы) кабель прокладывают по дну водоема, заглубляя его в предварительно отрытую траншею, а на заболоченных участках, которые трудно обойти, бестраншейным способом. Для этого используют неспециализированные плавучие средства (баржи, шаланды, катера), оснащенные устройствами для размотки кабеля, кабелеукладчики для заглубления кабеля в донный грунт и средства для разработки подводных траншей. Плавучие средства оборудуют устройствами для размещения кабеля, направления его за борт при прокладке и тормозными приспособлениями.

Кабель укладывается на плавсредства восьмеркообразными витками так, чтобы каждый позже укладываемый виток располагался над ранее уложенным. Это необходимо для предотвращения запутывания витков при размотке.

В России прибрежный кабель заглубляют в зоне действия прибоя (за

рубежом - на глубину моря до 1500 м и более). Использовать для этой цели технические средства заглубления подземного кабеля без переработки невозможно.

Развитие ПВОЛС в определенной мере сдерживается тем, что ремонтировать и восстанавливать поврежденные подводные кабели и усилители очень сложно, поэтому необходимо принимать специальные организационные и технические меры для предупреждения возможных повреждений кабеля в наиболее опасных местах.

Исследования отечественных подводных линий связи показали, что чаще всего причинами их повреждений являются: обрыв кабеля якорями и тралами судов (53 %); излишнее натяжение или слабина кабеля (15 %); обрыв кабеля рыболовными тралами (10,3 %); обрыв кабеля льдом (5 %); обрыв кабеля от перетирания о грунт (5,2 %); обрыв кабеля оползнями (2,5 %), повреждение подводных усилителей (1,7%).

Необходима такая система технических и организационных мер, которая позволит предусмотреть: совершенствование методов изыскания оптимальных трасс прокладки ПВОЛС при проектировании; оптимальный выбор способов и технических средств защиты кабеля от повреждений; совершенствование способов прокладки подводного кабеля; выполнение необходимых профилактических и ремонтных работ.

Несомненно, что применение волоконно-оптических кабелей на подводных линиях связи позволило повысить их пропускную способность без существенного утяжеления, обеспечило их техническую надежность и сроки службы, а также уменьшило стоимость их строительства и эксплуатации. Сегодня конструкция подводного ВОК отчасти основана на технологии, разработанной применительно к подводным кабелям с медными жилами.

Кабель сконструирован с таким расчетом, чтобы его прочность соответствовала условиям прокладки с кабельных судов в морях и океанах, а также возникающим нагрузкам при подъеме со дна для работ по

ремонту и модернизации. При необходимости в дополнительной защите от истирания новый кабель может быть покрыт внешней оболочкой толщиной до 2 мм из полиэтилена высокой плотности.

Кабель, используемый на мелководье, необходимо заключать в броню, состоящую из одного или двух слоев проволоки, уложенных на промежуточный слой из джута или полимерного материала. Силовой провод выполняется из алюминия или меди.

Применение волоконно-оптической техники на подводных линиях связи позволяет:

- увеличить в несколько раз емкость систем подводной кабельной связи с одновременным увеличением длины усилительного участка до 100 км, что в свою очередь повышает надежность линейного тракта магистрали;
- использовать подводные линии связи для передачи всех видов сигналов, в т.ч. широкополосных;
- обеспечить полную защищенность от наводимых радиопомех;
- исключить возможность неконтролируемого перехвата сообщений;
- добиться значительной экономии цветных металлов;
- обеспечить прокладку линий связи меньшим числом кабельных судов.

Благодаря всем этим преимуществам расширяются функциональные возможности подводных линий связи, которые способны обеспечить связь между целыми государствами и регионами по одному подводному ВОК (при помощи ответвителей и разветвителей от магистрального ВОК). Например, для связи России с Западной Европой и Прибалтикой проложена ПВОЛС между городами Санкт-Петербург и Калининград с выходом на Германию. Таким образом возможно организовать связь между Европейской частью России и Северной Америкой через Северный полюс Земли, связь Дальнего Востока с Северным регионом Европейской части России, связь с буровыми платформами, добывающими



нефтепродукты; с глубоководными подводными объектами и т. д.

Совершенствование техники прокладки (строительства) ПВОЛС идет в направлении автоматизации рабочих процессов на кабельных судах и снижения трудоемкости работ по подготовке кабеля к прокладке.

Уменьшение усилий, прикладываемых к подводному ВОК, достигается, например, путем прокладки кабеля из контейнеров, перемещающихся в воде на небольшом удалении от дна водоема. Своевременное заглубление кабеля в грунт также способствует уменьшению прикладываемых к нему механических усилий, сохранению его надежности.

Надежность ПВОЛС будет тем выше, чем точнее будут выдерживаться все режимы, предусмотренные для кабеля в процессе прокладки. Учесть все дестабилизирующие факторы и оптимизировать режим прокладки позволяет полная автоматизация прокладки с использованием ЭВМ. С этой целью разрабатывают сложное математическое обеспечение, систему датчиков и исполнительных механизмов, измерительных и контрольных устройств, которые позволяют осуществлять строительство ПВОЛС в т.ч. в Арктике.

Широкое использование ПВОЛС определяется продолжительным сроком их службы, высоким качеством каналов, возможностью организации связи в относительно короткие сроки, а также вдоль малообжитых побережий, где прокладка подземных кабелей экономически нецелесообразна. Хотя существует риск повреждений подводного кабеля в местах активного судоходства и лова рыбы, а работы по его восстановлению очень сложны, строительство подводных линий связи выгодно, поскольку капитальные вложения окупаются всего за два - три года.

По мере того, как совершенствуются способы передачи данных по оптоволокну, развивается и область подводных оптических линий связи. В первых подводных ВОЛС примерно каждые 40-80 км на кабелях

устанавливались специальные регенераторы, которые усиливали и восстанавливали форму сигнала. Без этого данные невозможно было передавать на тысячи километров. За годы существования оптоволоконных линий связи были найдены способы уменьшить количество вспомогательного оборудования на линиях связи, в том числе и регенераторов. Сегодня благодаря усилителям сигнала и прочему специализированному оборудованию подводные регенераторы практически не используются. Однако возник новый рынок – усилителей сигналов для подводных ВОЛС, который сегодня успешно развивается.

Перспектива развития подводных волоконно-оптических линий связи объясняется тем, что проведение подводных линий связи – это трудоемкий, дорогостоящий и сложный процесс. Требуется специальное оборудование, начиная от судов-кабелеукладчиков и заканчивая каждым элементом линии. Это и кабели, и муфты, и усилители сигнала, и многое другое.

Чтобы сделать процесс проведения подводных магистралей менее затратным и длительным, изобретаются новые технологии передачи данных, новые оптические кабели (более надежные и мощные), новое оборудование для усиления и восстановления сигнала. Кроме этого, все оборудование требует проведения тщательных тестов перед тем, как оно будет использоваться на дне океанов, ведь малейшая недоработка или брак может стоить десятков миллионов долларов в дальнейшем.

Одной из проблем, усложняющих ПВОЛС, являются разные условия пролегания подводных ВОЛС, требующие разных решений. Так, по береговой линии прокладываются одни кабели и используются одни технологии, между материками – другие. Все это объясняется и глубиной прокладывания линий, и расстоянием между терминальными станциями, и давлением под водой, и напряжением питания, и т.п.

Прокладка подводных ВОЛС состоит из нескольких важных этапов: длительное и тщательное планирование, выбор кабеля, заглубление

кабеля, установка оборудования для энергоснабжения, установка усилителей, терминальных станций, налаживание бесперебойной работы линии связи, ввод в эксплуатацию.

Учитывая стоимость создания подводных ВОЛС, а также уровень их востребованности в наше время, данное направление развития систем связи является чрезвычайно перспективным и многообещающим.

## **1.2. История развития подводных линий связи**

Подводные кабельные линии связи имеют большую историю развития, начало которой положил русский ученый П.Л. Шиллинг, впервые применивший в 1812 г. подводный изолированный проводник для взрыва морских мин. Позднее он занимался устройством ПКЛС Петербург - Кронштадт на кабеле с каучуковой изоляцией. В 1862 г. был проложен подводный кабель с гуттаперчевой изоляцией протяженностью 32 км через Северную Двину, а в 1897 г. кабель между Баку и Красноводском, связавший через Каспийское море Среднюю Азию с Европой, для чего профессор В.И. Коваленко разработал ряд решений по теории телефонно-телеграфной связи и изобрел подводный усилитель.

Первые подводные линии связи появились еще в XIX веке. Тогда же приступили к прокладке трансатлантических телеграфных линий. Первый этап строительства вылился в целую эпопею, которая продолжалась с 1857 по 1866 г. и потребовала создания нового гуттаперчевого кабеля, специального электротехнического и монтажного оборудования, кабельных судов и организации пяти морских экспедиций.

Битва за Атлантику для компаний электросвязи была ничуть не легче, чем в свое время открытие Америки: четыре плавания Христофора Колумба к берегам Нового Света также заняли десять лет. Первый кабель между Европой и Америкой протянули в 1858 г., но он проработал всего

две недели. Предполагается, что причиной стали нарушение гидроизоляции кабеля и последующая его коррозия и обрыв. Лишь в 1866 г. удалось создать постоянно действующую телеграфную линию. В 1870 году был проложен кабель в Индию, что позволило связать напрямую Лондон и Бомбей. В эти проекты были вовлечены одни из лучших умов и промышленников того времени: Уильям Томсон (будущий великий лорд Кельвин), Чарльз Уитстон, братья Сименсы. Т.е. почти 150 лет назад люди активно занимались созданием линий связи протяженностью в тысячи километров. И на этом прогресс не остановился.

Следующим важным шагом в телекоммуникационном покорении Атлантики стало открытие в 1956 г. подводной телефонной кабельной линии ТАТ-1 (трансатлантическая телефонная первая). Ее первоначальная емкость составила всего 36 телефонных каналов, а работы длились почти 10 лет.

Наше время потребовало создания более совершенных подводных магистралей на основе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) для передачи высокоскоростного мультимедийного трафика.

### **1.3. Принципы организации ПВОЛС**

#### **1.3.1 Общие вопросы создания подводных волоконно-оптических линий передачи**

Основные этапы создания ПВОЛП:

- Предпроектная подготовка на строительство ПВОЛП;
- Морские инженерные изыскания и изыскания на береговых участках ПВОЛП;
- Проектирование ПВОЛП;
- Оценка воздействия на окружающую среду ПВОЛП;

- Государственная экологическая экспертиза ПВОЛП;
- Государственная экспертиза проектной документации на строительство ПВОЛП;
- Разработка рабочей документации на строительство ПВОЛП;
- Строительство ПВОЛП;
- Ввод в эксплуатацию ПВОЛП;
- Эксплуатационно-техническое обслуживание ПВОЛП.

Указанные этапы и предлагаемый порядок основаны на мировом опыте, опыте создания ПВОЛП в России и соответствуют требованиям Законодательства Российской Федерации.

Состав работ предпроектной подготовки для строительства ПВОЛП:

1. Уточнение и согласование исходных данных для проектирования, выдаваемых Заказчиком.

2. Предварительное обследование (рекогносцировочные мероприятия):

- объектов Заказчика на предмет размещения основного оборудования;
- побережья с целью определения мест возможного вывода ПВОЛП на берег и размещения береговых колодцев (БК);
- местности на предмет размещения трассы береговых участков ПВОЛС.

3. Сбор и обобщение материалов изысканий прошлых лет, ранее опубликованных научных материалов и иной информации, необходимой для оптимального выбора трассы для проведения морских инженерных изысканий и дальнейшего проектирования.

4. Оформление материалов выбора земельных участков для размещения береговых участков трассы ПВОЛП и БК при необходимости.

5. Подбор морских плавсредств (судов) для проведения морских инженерных изысканий, подготовка и оформление договора фрахта (аренды).

6. Разработка программы морских инженерных изысканий (МИИ).

7. Подготовка заявления для получения разрешения на проведение морских инженерных изысканий.

8. Получение разрешения на проведение МИИ в экономических зонах и территориальных морях других государств, в соответствии с Международными правовыми документами и Законодательством этих государств.

Последовательность выполнения работ по прокладке ПВОЛС:

1. Подготовительные работы (при необходимости дооборудование судна).

2. Строительство оконечной станции на берегу (дооснащение узла связи).

3. Сборка кабельной системы на предприятии изготовителя.

4. Погрузка кабельной системы на кабельное судно.

5. Контрольные электрические измерения кабельной системы.

6. Прокладка береговых участков ПВОЛС (от оконечной станции до берегового колодца).

7. Прокладка прибрежных участков ПВОЛС (до стартовой муфты на глубинах до 20м).

8. Прокладка основного глубоководного участка ПВОЛС.

9. Монтаж (сращивание) глубоководного и прибрежного участков (установка финальной муфты).

10. Установление связи между станциями.

11. Тестирование системы передачи.

12. Составление паспорта ПВОЛС.

Строительство ПВОЛП состоит из комплекса различных работ и операций, значительная часть которых выполняется с помощью кабельных судов:

- прокладка основной части ПВОЛС;
- вывод кабеля на берег в прибрежной части трассы;

- проверка, измерение и испытание элементов ПВОЛС;
- отбор проб грунта с морского дна;
- измерение температуры придонного слоя воды;
- заглобление ПВОЛС в донный грунт;
- обеспечение проверки водолазными специалистами качества выполнения работ по прокладке и заглоблению ПВОЛС.



Рисунок 1 – Пример организации работ при строительстве прибрежных участков



*ROV Q-тренич 400*



*Плуг MD 3*



*Система предварительного натяжения, 4-6т*



*Кабельная машина барабанного типа на 40 тонн*



*Линейная кабельная машина усилием 20 тонн*

Рисунок 2 – Оборудование для прокладки подводного оптического кабеля

Основные особенности кабельного судна:

- Длина кабельного судна  $L_{\max}$  от 120 до 140 м, ширина  $B$  от 20 до 22 м, осадка  $T$  от 5 до 10 м;
- Водоизмещение кабельных судов от 8000 до 15000 т;
- Ледовая категория судов не выше Arc 4;
- Система динамического позиционирования Класса 2;
- Рубка кабельных судов обеспечивает обзор 360°;



Рисунок 3 – Палубные краны носовые и кормовые, краны-манипуляторы

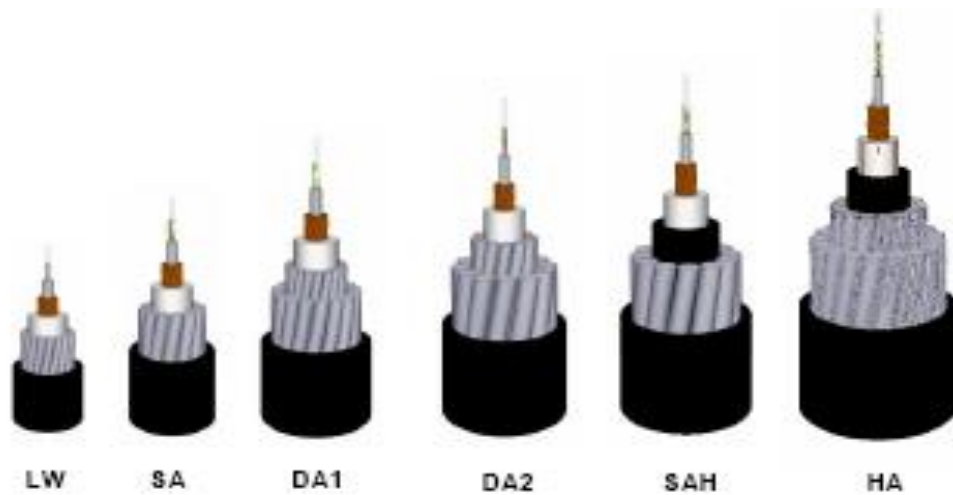
- Два или три основных кабельных тенкса, объём которых составляет от 1000 до 5000 м<sup>3</sup>;
- Оснащение кормовым роульсом для спуска кабеля и П-образной рампой для спуска и подъема плуга;
- Подводный плуг для закапывания кабеля в грунт;
- Для проведения работ по ремонту кабеля и его локальному заглублению предусматривается дистанционно управляемый подводный аппарат с обеспечением грунторазмыва;



- Для обеспечения автоматизированной укладки кабеля, суда оснащаются кабельными машинами линейного и барабанного типа.
- Высокую скорость хода (не менее 15 узлов);
- Хорошую обитаемость (размещение 60 чел экипажа и дополнительно 10-15 человек);
- Наличие посадочной площадки для вертолета.



Рисунок 4 – Строительство линейного тракта ПВОЛС



## Рисунок 5 – Основные типы подводных морских оптических кабелей связи

Таблица 1 – Характеристики основных типов подводных морских оптических кабелей связи

	LW	LWP	SAL	SA	DA
OD(mm)	18	22	27	30	36.5
NTTS(kN)	55	55	115	175	300
W(kg/m)	0.55	0.70	1.5	2.2	4.3

### 1.3.2 Состав межконтинентальной ПВОЛС

На рисунке 6 представлен состав межконтинентальной оптоволоконной линии связи. Как правило, такая линия связи состоит из:

- Подводного оптоволоконного кабеля;
- Подводных оптических усилителей;
- Подводных разветвителей;
- Береговых станций энергоснабжения;
- Наземного сетевого оборудования;
- Системы контроля работоспособности подводной линии;
- Системы управления.

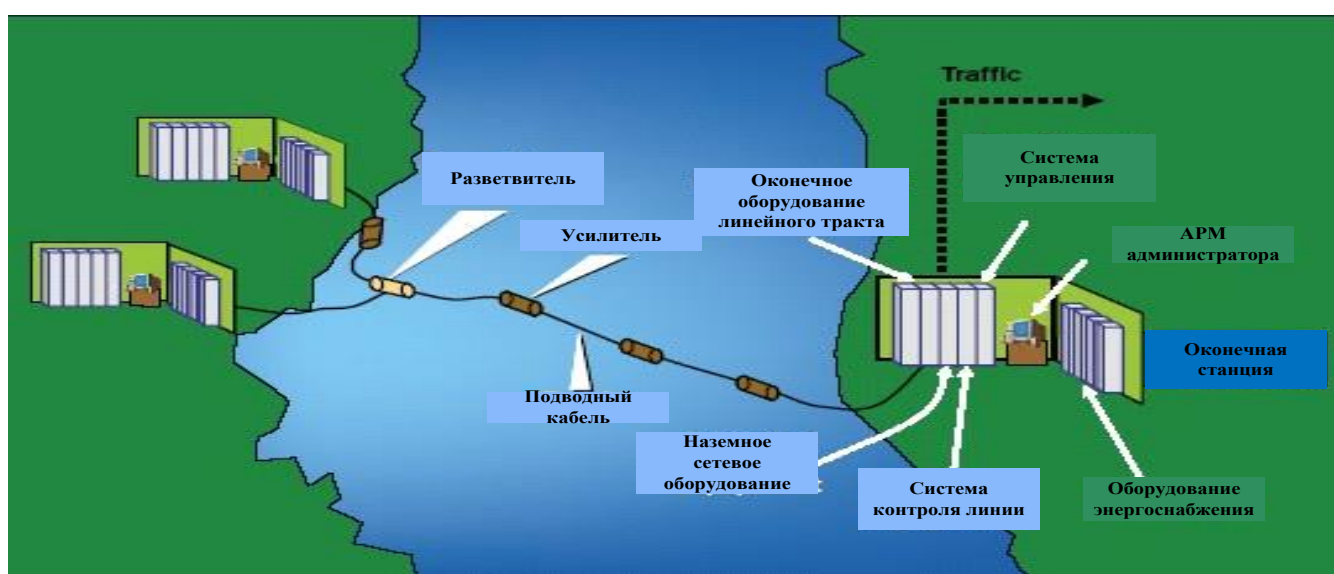


Рисунок 6 – Пример межконтинентальной оптоволоконной линии связи [26]

Ко всем агрегатам, располагающимся под водой, предъявляются повышенные требования по надёжности, качеству производства, ресурсу. Они многократно тестируются на предмет определения допустимых пределов эксплуатационных нагрузок и возможности противостоять внешним воздействиям.

Прокладка подводной линии связи представляет собой сложную исследовательскую, инженерную и конструкторскую задачу, к решению которой привлекаются специалисты множества отраслей.

### **1.3.3 Различные виды подводных волоконно-оптических линий связи**

Несмотря на всё разнообразие оптоволоконных линий связи их можно разделить на несколько типовых линий, каждая из которых характеризуется своими собственными характерными чертами.

Итак, подводные волоконно-оптические линии связи можно разделить на линии связи с усилителями (с применением подводных оптических усилителей) и линии связи без усилителей. Линии с применением оптических усилителей разделяются на магистральные трансокеанские (межконтинентальные) и прибрежные линии связи. Линии связи без усилителей разделяются на прибрежные линии связи и линии связи между отдельными пунктами (между островами или между материком и островами, материком и буровыми станциями). Отдельно необходимо выделить линии связи с применением удалённой оптической накачки.

Для магистральных трансокеанских линий связи (рис.7) расстояние между терминальными станциями может составлять от 2000 до 13000 км. Число оптических усилителей на линии может составлять несколько сотен. Напряжение питания может составлять свыше 15 кВ.

Для прибрежных волоконно-оптических линий связи с применением подводных усилителей (рис.8) длина кабеля между береговыми станциями

может составлять несколько сотен километров. Напряжение питания – порядка 5 кВ.

Для передачи информации на меньшие расстояния (до 200 км) используются линии связи без усилителей с применением разветвителей (рис.9а). Для снижения стоимости применяются линии без использования подводных разветвителей (рис.9б). В таких линиях используется более дешёвый кабель, и они не нуждаются в береговых станциях энергоснабжения (т.к. разветвителям не требуется дистанционное управление), что значительно снижает стоимость линии. Управление траффиком в таких линиях осуществляется на береговых терминальных станциях.



Рисунок 7 – Магистральная трансокеанская волоконно-оптическая линия связи [27]

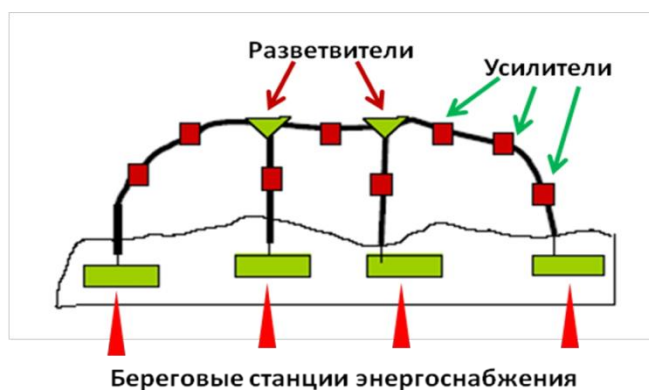


Рисунок 8 – Прибрежная волоконно-оптическая линия связи с применением разветвителей и оптических усилителей на линии [28]

Подобные линии связи часто применяются для соединения прибрежных населённых пунктов, а также в тех случаях, когда прокладка кабеля по суше является затруднительной в связи со сложным рельефом местности или другими ограничениями.

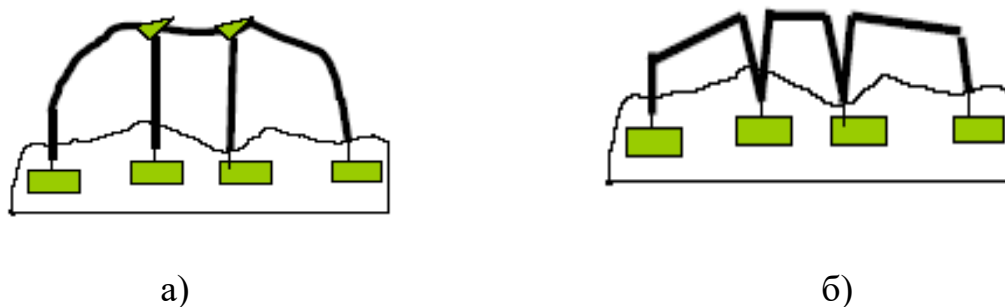


Рисунок 9 – Прибрежные волоконно-оптические линии связи без подводных оптических усилителей с применением разветвителей (слева) и без применения разветвителей (справа) [28]

Для связи между островами и буровыми платформами, а также для национальных сетей островных государств (например, Багамские острова, Индонезия), удалёнными друг от друга на расстояние до 400 км используются системы без усилителей (рис.10), а также системы с удалённой рамановской накачкой.

В последнее время начали использоваться системы с удалённой оптической накачкой (ROPA – Remote Optically Pumped Amplifier), в которых в расположенном на дне кабеле устанавливается активное эрбиевое волокно длиной до 30 м, накачиваемое посредством рамановских усилителей (рис.11). В зависимости от скорости передачи данных длина такой линии может составлять до 500 км.



Рисунок 10 – Линия связи без усилителей [28]

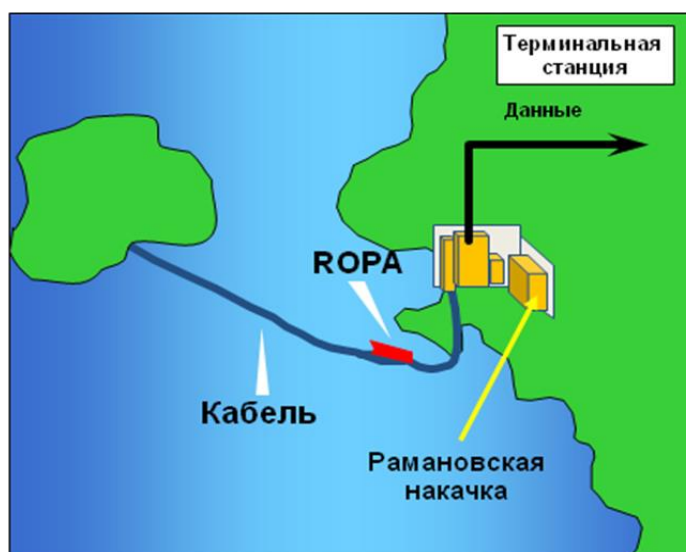


Рисунок 11 – Линия связи с применением РОРА и удалённой рамановской накачки [28]

Таким образом, общей характеристикой всех подводных оптоволоконных линий связи (как с усилителями, так и без них), является обязательное наличие подводного оптоволоконного кабеля и береговых терминальных станций.

Если в линии имеются подводные усилители и/или разветвители, то тогда на береговых терминальных станциях обязательно имеется оборудование для их энергоснабжения.

### 1.3.4 Энергетическое оборудование для подводной линии связи

Оборудование для обеспечения электрической энергией усилителей подводной оптоволоконной линии связи располагается на специальных береговых терминальных станциях.

На каждой станции имеется источник высокого напряжения. На станции «А» плюс источника подключается к токоведущей жиле подводного кабеля, а минус идет на землю. На станции «Б» к жиле кабеля подсоединяется минус и соответственно плюс заземляется. Таким образом создаётся цепь постоянного электрического тока, в которой ток от станции «А» к станции «Б» идёт через подводный кабель, а от станции «Б» к станции «А» через землю (рис.12).

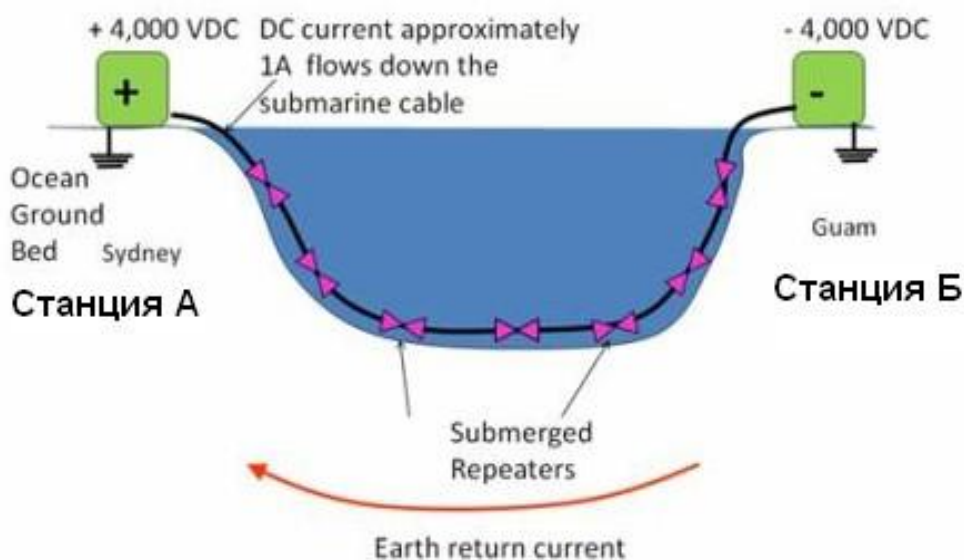


Рисунок 12 – Пример питания постоянным током подводной оптоволоконной линии связи РСС-1 Сидней – Гуам [30]

Например, при прокладке кабеля РСС-1 Сидней – Гуам для снижения сопротивления земли в прибрежной зоне до уровня грунтовых вод были пробурены скважины, в которые устанавливались длинные прочные электроды, которые повышали проводимость земной поверхности [30].

Для питания подводных усилителей применяются высокий (свыше 10 кВ), средний (свыше 5 кВ) и низкий (менее 5 кВ) уровни постоянного



выходного напряжения в зависимости от протяжённости оптоволоконной линии связи, мощности, потребляемой усилителями, и числа усилителей. Например, для электропитания устройств трансокеанских линий с 8-ю оптическими волокнами используется постоянное напряжение вплоть до 12,5 кВ и токи до 1,6 А.

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

Постоянный ток для питания подводных оптических усилителей передаётся через оптоволоконный кабель, в котором располагается специальная токоведущая жила, выполненная из меди.

Системы энергоснабжения должны обладать высокой надёжностью и очень стабильным постоянным напряжением. На передающих станциях должны присутствовать системы локализации ошибок и неисправностей. Также системы энергоснабжения нуждаются в специальных системах контроля тока и напряжения (не хуже  $\pm 0,5\%$ ) для предотвращения скачков, которые могут вывести из строя подводный усилитель и, соответственно, всю линию. Кроме этого необходимо предусмотреть резервирование системы.

Оборудование терминальной береговой станции должно размещаться в отапливаемых помещениях и быть независимым от метеоусловий.

### **1.3.5 Особенности конструкции подводных оптических усилителей**

Подводные оптические усилители предназначены для усиления оптических сигналов, распространяющихся в подводном оптоволоконном кабеле.

Подводный оптический усилитель предназначен для работы на

глубине моря до 8000 метров [31], он имеет встроенные средства контроля и управления, и источник вторичного электропитания.

В подавляющем большинстве случаев в качестве усилителей используются EDFA- усилители оптических сигналов, диоды накачки которых могут работать как на длине волны 980 нм, так и/или на длине волны 1480 нм в зависимости от конструкции. Усилитель должен иметь низкий шум-фактор, чтобы минимально исказить усиливаемый сигнал. Расстояние между усилителями оптических сигналов составляет порядка 30-100 км (например, для транстихоокеанской линии связи потребовалось около 200 усилителей [31]).

Электропитание усилителя, как правило, осуществляется постоянным током от берегового устройства дистанционного питания с использованием токоведущей жилы подводного кабеля. Сила тока может варьироваться от 100 мА до 1 А [31].

Так как рабочая глубина установки усилителя может достигать 8000 метров, то его корпус (контейнер, в котором размещен усилитель) должен быть герметичным и обладать высоким сопротивлением к коррозии при большом внешнем гидростатическом давлении. Срок службы усилителя составляет, как правило, 25 лет [31]. В случае поломки усилителя следует проводить его подъём с глубины и заменять на новый. Испорченный усилитель подлежит исследованию на берегу на предмет выявления поломки с целью последующего исключения подобных неисправностей при дальнейшей эксплуатации. На рисунках 13 и 14 представлен внешний вид оптического усилителя.

Размеры оптических усилителей сильно варьируются. Например, для транстихоокеанской линии связи длина усилителя составляла 6 метров. Обычно длина оптического усилителя составляет порядка 3 метров, чтобы разместить на борту корабля-кабелеукладчика максимальное число усилителей.

К конструкции усилителя предъявляются следующие основные

требования [31]:

- Анतिकоррозийная стойкость;
- Стойкость к внешнему гидростатическому давлению;
- Герметичность узлов ввода оптоволокна;
- Высокие электроизолирующие характеристики;
- Защита от перепадов напряжения и тока;
- Устойчивость к вибрационному и ударному воздействию;
- Высокую надёжность компонентов, входящих в конструкцию усилителя;
- Уверенную эксплуатацию в диапазоне рабочих температур.



Рисунок 13 – Общий вид подводного оптического усилителя (производство Tyco Telecommunications) [30]



Рисунок 14 – Общий вид подводного оптического усилителя [31]

Корпус усилителя выполняется из медно-бериллиевого сплава, обладающего высокими антикоррозийными и механическими свойствами в морской воде [31, 32]. Особенно жёсткие требования предъявляются к герметизации корпуса усилителя, который подвергается внешнему гидростатическому давлению до 80 МПа.

Узлы гермоввода, герметизации и заделки оптоволокна должны также выдерживать высокое давление (до 80 МПа), а также предотвращать повышение влажности внутри корпуса свыше 20% (для этого должна использоваться специальная система контроля) [31, 32].

Отсек, в котором располагается электронное оборудование усилителя, изолирован от внешнего металлического корпуса посредством специальной высоковольтной изоляции (например, полиэтиленовой), которая должна обеспечивать защиту от пробоя напряжением вплоть до  $\pm 15$ кВ [31, 32].

Для защиты подводного усилителя от внезапных перепадов высокого напряжения в цепи питания применяется специальная предохранительная цепь, состоящая из газонаполненного предохранителя, катушки, резисторов и зенеровских диодов. Расчёты показывают, что такая система обеспечивает защиту от перепадов напряжения и тока в пределах  $\pm 15$ кВ и  $\pm 200$ А [31, 32].

Устойчивость к вибрационным и ударным воздействиям обеспечивается с целью сохранения работоспособности системы при вибрационных и ударных воздействиях, возникающих при транспортировке и установке системы.

Конструкция подводного оптического усилителя должна сохранять работоспособность во всём диапазоне рабочих температур, которые могут изменяться от 0 до  $+35^{\circ}\text{C}$  (это температурный режим усилителя, уже уложенного на морское дно).

Установка подводного усилителя производится со стандартной линейной кабелеукладочной машины с корабля кабелеукладчика.

При производстве подводного усилителя для повышения его надёжности производится многократное тестирование составляющих компонентов. Проводится мониторинг того, как они могут противостоять излучению, высыханию, магнитным воздействиям, воздействию барометрического давления и водорода, растяжению волокна, а также

внутренним коррозионным газам [31, 32].



Рисунок 15 – Установка подводного оптического усилителя в открытом море [31]

Для блока питания усилителя, помимо защиты от пробоя и перепадов напряжения, необходимо обеспечить резервирование, гальваническую развязку входа и выхода, низкий уровень шума, защиту от перегрева, перегрузки, короткого замыкания. Также необходимо обеспечить высоковольтную изоляцию входных цепей для защиты от пробоя высоким напряжением между токопроводящей жилой и корпусом.

#### **1.4. Мировой опыт строительства ПВОЛС**

Предшественниками подводных оптоволоконных линий были подводные коаксиальные линии. Первый подводный оптоволоконный кабель связи был проложен еще в 1985 г. на Канарских островах. А первый подводный кабель, соединяющий Европу и Американский континент, был проложен в 1988 г. Это был первый трансатлантический телефонный оптический кабель (ТАТ-8). С тех пор общая протяженность таких волоконно-оптических линий связи в мире составляет более 1 млн км. В XX веке кабели прокладывались по морскому и океанскому дну, сегодня же их закапывают под поверхность, чтобы избежать повреждений от кораблей (в основном, от якорей) и подводных лодок, а также продлить

срок эксплуатации. Вот почему на мелководье кабель закапывается как можно глубже. Траншеи для кабелей копаются при помощи мощной струи воды, редко (только на мелководье) – экскаваторами.

Больше всего подводных линий связи - это трансатлантические магистрали, соединяющие Северную Америку и Европу.

В частности, недавний глобальный проект, реализованный в 2011 г., позволил успешно передавать данные на скорости 100 Гбит/с на расстояние более 5 тыс. км. Данная трансатлантическая ВОЛС соединила Канаду и Британию. Протяженность подводных линий связи составила 5570 км. Это самая емкостная магистраль в Атлантике. Обеспечить такую высокую пропускную способность позволили современные технологии, используемые в оптоволоконных соединениях. Так, была использована технология когерентного приема.

Еще одна крупнейшая в мире подводная ВОЛС – транстихоокеанская оптоволоконная сеть PC-1. Это самая протяженная магистральная сеть, длина которой составляет 20890 км. Пропускная способность сети на начальном этапе была равна 180 Гбит/с, а позже, после модернизации 2006 г., увеличена до 640 Гбит/с. Данная ВОЛС имеет 4 опорные точки – 2 в США (Харбор Поинт и Грувер Бич) и 2 в Японии (Шима и Ажигатура). Таким образом две оптоволоконные линии соединяют континенты. Пропускная способность между точками присоединения по суше достигает 1.98 Тбит/с.

На рисунке 16 показаны ПВОЛС по состоянию на 2012 г.

В 2012 г. был реализован еще один проект по соединению США и Японии подводной магистралью. Финансировала строительство сети, получившей название Unity cable, компания Google. Кабели имеют протяженность почти 10 тыс. км. Их прокладывание началось еще в 2008 г. Пропускная способность сети составляет 4,8 Тб/с. Данная Подводная ВОЛС соединила город и порт Лос-Анджелес (США) с полуостровом Босо в префектуре Чiba (Япония).

Еще одна подводная телекоммуникационная система соединяет США и Китай, а также Южную Корею. Это магистраль Trans-Pacific Express. Общая протяженность оптоволоконных линий равна 18 тыс. км, а пропускная способность – порядка 4,8 Тб/с.

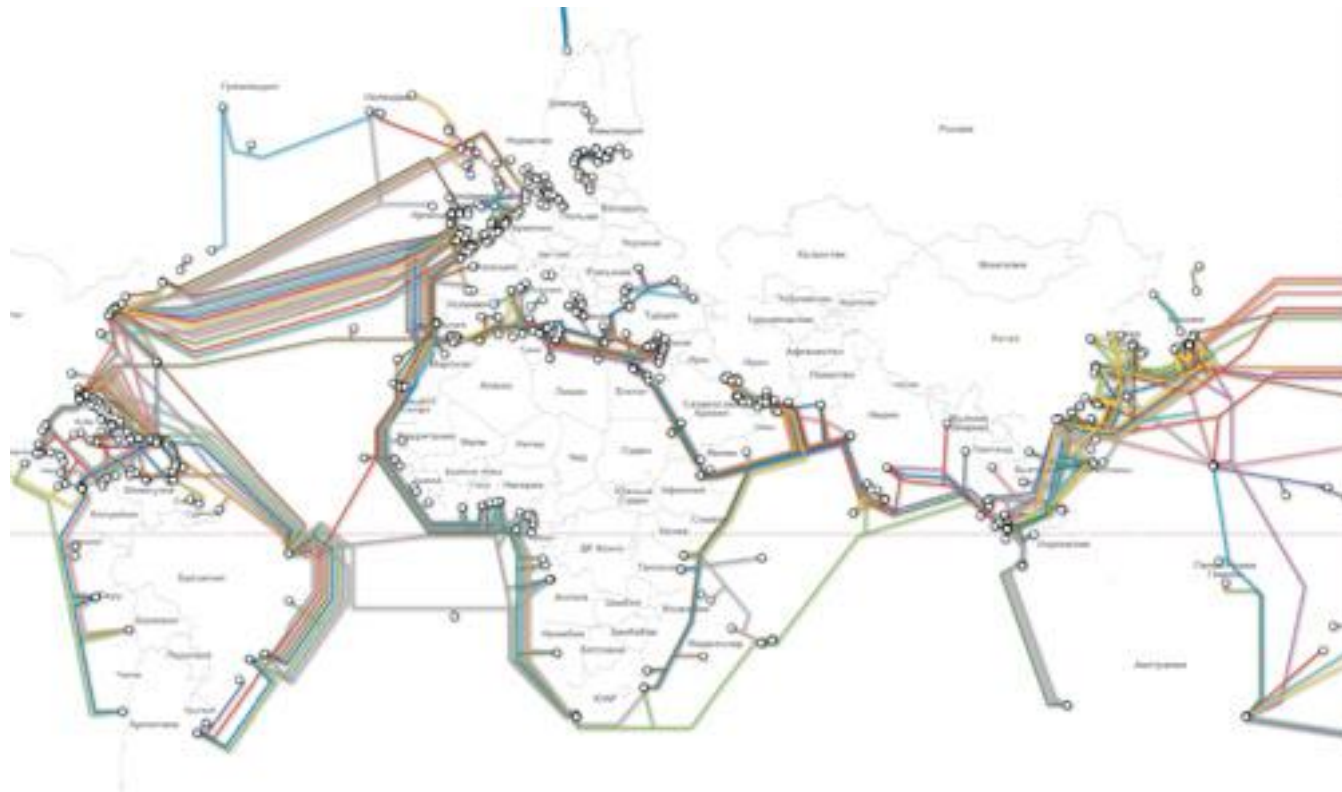


Рисунок 16 – Подводные ВОЛС

Стоит также упомянуть о магистрали Asia-America Gateway, соединяющей США и Азию через Гонконг и Гавайи.

Как видно из рисунка 16, все материки нашей планеты охвачены глобальной подводной волоконно-оптической сетью. Однако развитие ПВОЛС в северных регионах нашей страны полностью отсутствует. Важность ПВОЛС для развития России сложно переоценить. Поэтому необходимо разработать оборудование и технологии, которые позволят обеспечить связью арктический регион нашего государства.

#### **1.4.1 Трансатлантическая магистраль Cable & Wireless и Alcatel**

Операторская компания Cable & Wireless и производитель телекоммуникационного оборудования, компонентов и кабелей связи Alcatel проложили самую мощную в мире трансатлантическую Интернет-магистраль Apollo протяженностью 13 тыс. км, предназначенную для передачи данных по IP-протоколу. Необходимость создания новой магистрали объясняется постоянным ростом потребностей в каналах передачи данных.

В таблице 2 представлено сравнение трансатлантических кабельных систем.

Таблица 2 – Сравнительные характеристики новейших трансатлантических кабельных систем

Наименование системы	Владелец	Конечные пункты (страны)	Число длин волн х скорость передачи в линиях, Гбит/с	Число пар на каждое направление	Число трансатлантических направлений	Пропускная способность на каждое направление, Тбит/с
Apollo	Cable & Wireless	Великобритания-США, Франция-США, Великобритания-Франция	80x10	4	2	3,2
Flag Atlantic-1	Flag Telecom	Великобритания/Франция-США (единая точка входа в США)	40x10	6	2	2,4
360 Atlantic	360 Networks (Worldwide Fibre)	Великобритания-Канада (канал в США)	48x10	4	2	1,92
Yellow	Level 3; Viatel; Global Grosing	Великобритания-США	47x10	4	1	1,88

Новая кабельная система, запуск которой произошел в 2002 г., позволила значительно увеличить емкость межконтинентальных линий, снизить стоимость как самих каналов, так и сопутствующих высокотехнологичных систем передачи. Капиталовложения компании Cable & Wireless в трансатлантическую магистраль составили 300 млн. фунтов стерлингов, а дополнительные проекты финансировала компания Alcatel.

Вследствие стремительного развития Интернета средний рост



потребности в пропускной способности каналов составляет приблизительно 100% в год, и уже сейчас все ресурсы линии задействованы операторами связи.

Полоса пропускания системы Apollo рассчитана на огромный рост Интернет-трафика, что позволяет удовлетворить потребности Интернет-клиентов по всему миру.

Проект Apollo предусматривал прокладку под водой двух изолированных кабельных линий, каждая из которых состоит из четырех волоконно-оптических пар и обладает пропускной способностью не менее 3,2 Тбит/с. Суммарная пропускная способность данной системы на одну треть больше любой действующей в то время трансатлантической магистрали (таблица 2). Новая магистраль протянулась по дну Атлантического океана, соединив Лонг-Айленд и Нью-Джерси в США с Корнуэллом в Великобритании и полуостровом Бретань во Франции. Она напрямую связала высокочастотные интегрированные инфраструктуры в США и Европе, и клиенты имеют сверхскоростное соединение с территориями, расположенными на другом материке.

Apollo обладает огромной пропускной способностью и является первой 80-волновой трансатлантической системой, действующей на основе технологии DWDM, что позволило компании Cable & Wireless предлагать свой сервис по более низким расценкам. Система обладает значительной надежностью благодаря использованию усиленно защищенной конструкции кабеля, разработанной компанией Alcatel, что существенно снижает вероятность выхода магистрали из строя в результате агрессивных внешних воздействий, например повреждений от судовых тралов. Для обеспечения дополнительной надежности в системе применяется резервирование кабельных секций Gemini (двухкабельная структура).

Apollo имеет большую гибкость, которая позволила конфигурировать систему или как кольцевую структуру, или как полностью ячеистую

архитектуру в зависимости от требований клиентов к передаче голоса, данных или Интернет-трафика. Это обеспечивает пользователям возможность самостоятельно определять уровень необходимой защиты, вплоть до применения оборудования оптической коммутации.

#### **1.4.2 Подводная ВОЛС США-Китай**

Компания Verizon Business (США) и консорциум, включающий компании China Telecom и China Netcom, а также China Unicom, Korea Telecom и Chunghwa Telecom (Тайвань), построили и эксплуатируют подводную ВОЛС, связывающую американский материк и Китай.

Новая ВОЛС, получившая название Trans-Pacific Express, использует новейшие оптические технологии для существенного увеличения скоростей передачи данных (более чем в 60 раз) по сравнению с действующими линиями.

Первоначально обеспечена пропускная способность линии 1,28 Тбит/с, но в целом новая система передачи имеет возможность передачи до 5,12 Тбит/с для поддержки современных приложений, таких как Интернет, видео и электронная коммерция.

Строительство ВОЛС, которая связывает оптические сети общей длиной более 18 000 километров, началось в 2007 году, а завершились работы в 2008 году. Общая стоимость проекта составила более 500 миллионов долларов США.

Подводный оптический кабель проложен между пунктами Nedonna Beach на Западном Побережье США и Qingdao, Chongming на материковой части Китая, а также имеются ответвления в пункты Tanshui (Тайвань) и Кеоје (Южная Корея).

Компания Verizon Business уже имеет в эксплуатации одну из самых больших в мире глобальных IP-сетей, которая охватывает 150 стран на

шести континентах, имеет общую длину более 800 000 километров, включая более 60 подводных ВОЛС.

### **1.4.3 Межконтинентальные подводные кабельные линии связи в интересах НАТО**

На побережьях материков и островах Мирового океана насчитывается более 250 военно-морских баз и пунктов базирования ВМС капиталистических государств. Для обеспечения их повседневной деятельности в мирное время и боевых действий ВМС на океанских (морских) театрах военных действий в случае войны США и их союзники по блокам к настоящему времени создали разветвленную систему связи, способную, по мнению западных военных специалистов, решать поставленные перед ней задачи. [6]

ВМС, а также взаимодействующие части и подразделения других видов вооруженных сил соединены между собой многочисленными радио- и радиорелейными, тропосферными, кабельными и другими линиями связи. В районах расположения крупных штабов и пунктов управления ВМС, вблизи главных военно-морских баз и авиабаз ВМС обычно оборудуются береговые узлы коротковолновой связи, являющиеся одним из важных компонентов средств управления группировками ВМС и отдельными кораблями. Однако системам радиосвязи присущи определенные недостатки, важнейшие из которых - большая уязвимость антенных полей, сильная подверженность естественным ионосферным возмущениям и искусственным помехам. В этой связи, судя по сообщениям зарубежной прессы, все большее значение приобретают спутниковые и подводные кабельные системы связи. Следует отметить, что среди последних наряду со специальными военными все шире распространяются и гражданские системы.

Подводные кабельные линии связи обеспечивают связь только между

несколькими пунктами, тогда как спутниковая система - одновременно между многими. Однако срок службы спутника связи значительно меньше, чем ПКЛС. Для спутников системы связи «Интелсат» гарантированный срок службы составляет от трех до пяти лет, а для ПКЛС не менее 20. Хотя капитальные вложения в создание ПКЛС в несколько раз больше, чем спутниковой системы, годовые эксплуатационные расходы значительно меньше. Учет общих затрат на содержание и эксплуатацию показывает, что в ближайшие годы на трансокеанских трассах кабельные линии будут пока широко применяться как более экономичные.

При организации связи через спутники приходится считаться с необходимостью специальной защиты от взаимных помех между спутниковыми и наземными микроволновыми системами связи, использующими практически одни и те же диапазоны частот. Спутниковым системам присуще также значительное время распространения сигнала и, как следствие этого, - эхо. Качество связи по кабельным линиям выше. Вместе с тем следует принимать во внимание и такие моменты, как сложность и длительность работ по ремонту и восстановлению поврежденных подводных кабелей и усилителей, требующих привлечения специальных судов, средств обеспечения и высококвалифицированного личного состава, а также необходимость принятия организационных и технических мер для предупреждения возможных повреждений кабеля в местах активного судоходства и лова рыбы.

Учитывая все эти факторы, западные военные специалисты полагают, что не следует говорить о безраздельном доминировании одного вида связи и отмирании другого. Оба они будут развиваться и взаимно дополнять друг друга.

Подводные кабельные линии связи за рубежом применяются для обеспечения управления ВМС в качестве комплексных систем связи наряду с другими средствами. На конечных участках трасс подводные

кабели сопрягаются, как правило, с радиорелейными, подземными, спутниковыми и другими линиями связи. Самостоятельно ПКЛС используются, например, для обеспечения функционирования сетей стационарных гидроакустических станций. Так, на Атлантическом и Тихом океанах США создали систему постоянного наблюдения за подводной обстановкой СОСУС (Sound Surveillance Underwater System), а в проливах Ла-Манш и Гибралтар, вдоль побережий Великобритании, Италии и некоторых других стран НАТО установлены береговые гидроакустические посты обнаружения подводных лодок, оборудованные ПКЛС.

Военные и гражданские подводные кабельные системы связи (часть каналов гражданских систем могут арендовать вооруженные силы) и подводные кабели создаются преимущественно в США, Великобритании, Франции и в Японии. Первые трансконтинентальные ПКЛС, проложенные в конце 50-х годов, были двухкабельными (рассчитаны на 36 каналов), затем в США были разработаны однокабельные системы с жесткими ламповыми подводными усилителями (ПУ) на 128 каналов, а в начале 70-х - с ПУ на транзисторах на 720 каналов. В Великобритании была сконструирована и в 1961 году проложена ПКЛС КАНТАТ-1 (80 каналов), а впоследствии - КАНТАТ-2 (1840).

В настоящее время Западную Европу и Северную Америку соединяют около североатлантические подводные линии (рис. 17). Своеобразным узлом восточноатлантических подводных кабелей служит Пиренейский п-ов. Линия САТ-1 связывает Лиссабон и Кейптаун, делясь на участки (Канарские о-ва - о-ва Зеленого Мыса - о. Вознесения). Две линии соединяют Великобританию с Португалией и Испанией, а три - Испанию с Канарскими о-вами.

В Тихом океане основными межконтинентальными ПКЛС являются ТРАСПАК и КОМПАК, связывающие США с азиатскими странами и Австралией, а крупные узлы подводных линий сооружены на о-вах Оаху и

Гуам. В 1976 году проложена подводная кабельная магистраль Япония - США на 2700 каналов.

Развитие океанских подводных кабельных линий в основном идет по таким направлениям, как увеличение их протяженности и расширение диапазона передаваемых частот. Только за последние годы проложено более 100 ПКЛС общей протяженностью около 500 тыс. км. Проектная ширина перекрываемого ПКЛС водного пространства увеличилась от нескольких сот до 7500 км, а глубина прокладки ПУ - от нескольких сот до 7500 м. К концу 80-х годов удалось значительно увеличить число телефонных каналов кабелей.

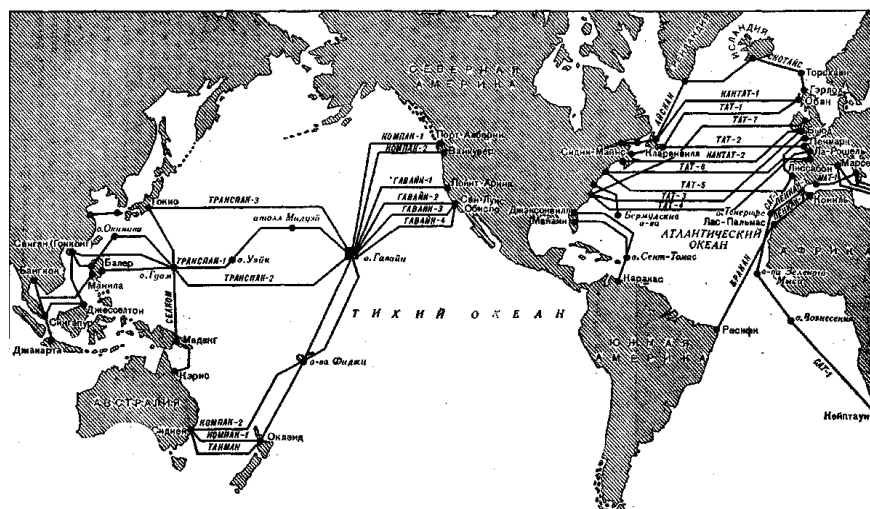


Рисунок 17 – Схема наиболее важных подводных кабельных линий СВЯЗИ

Подводные кабели являются перспективной областью применения волоконной оптики. Как сообщается в иностранной печати, в настоящее время за рубежом активно ведутся работы по внедрению подводных, волоконно-оптических кабелей (ВОК). Специалисты считают, что при прокладке 100-км участков ВОК между островами подводные усилители и, следовательно, внутренние электропроводящие элементы в кабеле не нужны. В этом заключается их большое преимущество перед проводными, так как решается главная задача - обеспечение скрытности работы ПКЛС

(обычно их местоположение определяется по присутствию слабого электромагнитного поля вокруг кабельной линии или по большой массе ПУ, лежащего на морском дне). Ведутся работы по созданию ВОК большой протяженности без металлических элементов, а для питания подводного усилителя предполагается использовать радиоизотопный термоэлектрический генератор, который обеспечивает непрерывную работу аппаратуры в течение 15-20 лет, а также снижает вероятность обнаружения волоконно-оптических линий связи.

Впервые действующие магистрали с ВОК и подводными ретрансляторами относительно небольшой протяженности были проложены в Великобритании в 1984 году, а во Франции - в 1986-м (Марсель - о. Корсика, 400 км, скорость передачи 280 Мбит/с). В 1987 году было объявлено о введении в эксплуатацию магистрали протяженностью 100 км со скоростью передачи 140 Мбит/с, соединяющую Великобританию с о. Мэн. Разработанная американской компанией «Белл» подводная кабельная система связи стала восьмой трансатлантической линией ТАТ-8 и первой в мире трансокеанской системой с использованием ВОК. Ее емкость до 12 тыс. двусторонних телефонных каналов. В перспективе емкость может быть доведена до 46 тыс. каналов.

Подводный ВОК имеет до 12 оптических волокон. В системе ТАТ-8 в настоящее время используются только четыре. Проложены еще несколько трансатлантических магистралей связи с применением ВОК: ТАТ-9 (в 1991 году) и РТАТ-2 (в 1992-м). Скорость передачи на данных магистралях, за исключением ТАТ-9, составляет до 280 Мбит/с. Магистрали рассчитаны на 25 лет службы с надежностью, характеризуемой тремя отказами за весь период эксплуатации. В системе ТАТ-9 планируется достичь скорости передачи 560 Мбит/с (соединены США, Канада, страны Карибского моря, Великобритания, Франция, Италия).

На Тихоокеанской магистрали ТРС-3/НАВ-4 предусмотрены два

ответвления. Одно идет в район Гавайских о-вов, а другое - на Японию и о. Гуам. По мнению зарубежных специалистов, применение оптических волокон с затуханием 0,13 дБ/км позволит увеличить дальность передачи до 2240 км. Это означает, что можно будет создать подводную сеть связи, охватывающую огромные пространства, например всю Западную Европу, без использования ретрансляторов (скорость передачи несколько гигабит в секунду). Подобные системы разработаны в начале 2000-х годов.

Для прокладки новых и обеспечения действующих систем связи, а также для оборудования океанских и морских побережий в странах - членах НАТО и некоторых других капиталистических государствах имеются специальные суда (рис. 18). При благоприятных условиях такое судно может прокладывать кабель со скоростью до 15 км/ч, то есть для строительства трансокеанской магистрали длиной 3000- 4000 км потребуется всего 10-15 сут.



Рисунок 18 – Французское судно «Вернор» для прокладки ПКЛС

Трансатлантические ПКЛС предназначены для гражданских пользователей, но фактически уже сейчас большая часть каналов используется в интересах вооруженных сил, а в чрезвычайных обстоятельствах все линии будут обеспечивать деятельность войск и флотов.

#### **1.4.4 Трансокеанический подводный кабель связи Google**



Компания Google проложила собственный оптоволоконный кабель связи по дну Тихого океана, который связывает дата-центры компании в штате Орегон, США, с Японией. Это огромный проект стоимостью \$ 300 млн. и длиной в 10 000 км. Однако данный проект является выдающимся только потому, что его сделал один медийный гигант для личного использования. Вся планета уже плотно опутана кабелями связи и под водой их намного больше, чем кажется на первый взгляд (рис. 19).

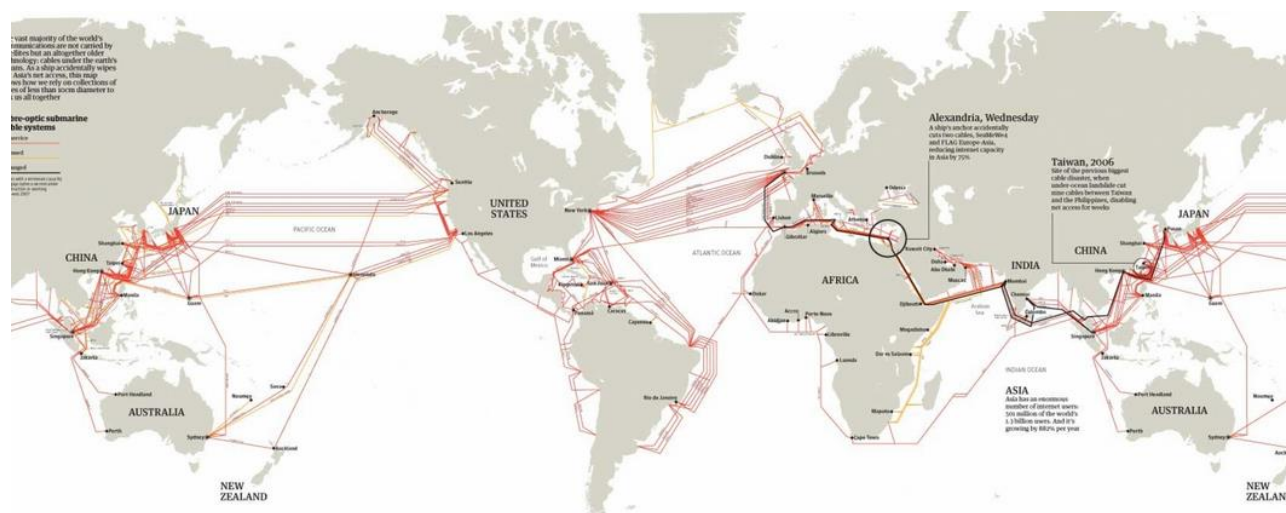


Рисунок 19 – Подводные ВОЛС в мировом масштабе

## 1.5. РОССИЙСКИЕ ПОДВОДНЫЕ ВОЛС

Россия осуществила уже целый ряд проектов по подведению подводных волоконно-оптических линий. Так, в 90-х гг. XX в. были проведены линии «Дания-Россия №1», «Россия-Япония-Корея», «Италия-Турция-Украина-Россия». Правда, эти линии связи на данный момент уже достаточно изношены, да и скорость передачи данных у них сравнительно низкая – 560 Мбит/с.

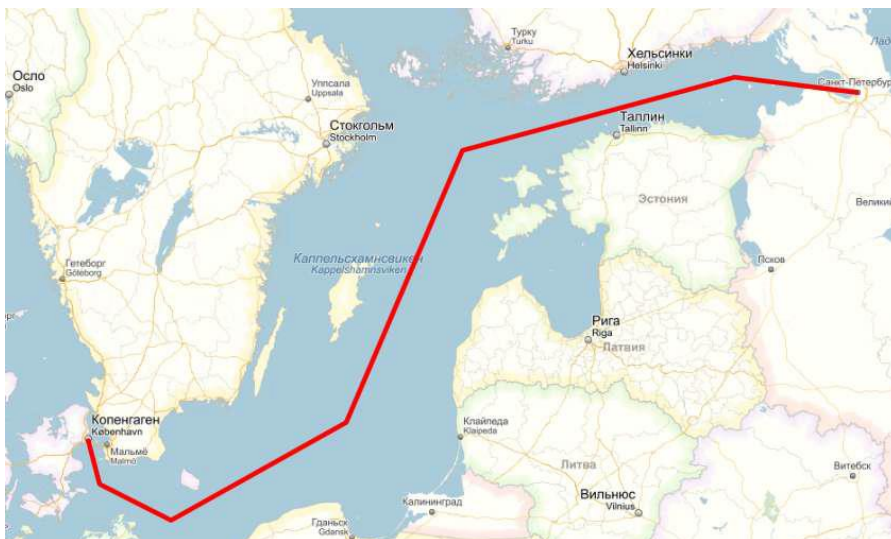


Рисунок 20 – ПВОЛС «Дания-Россия №1»



Рисунок 21 – ПВОЛС «Россия-Япония-Корея»

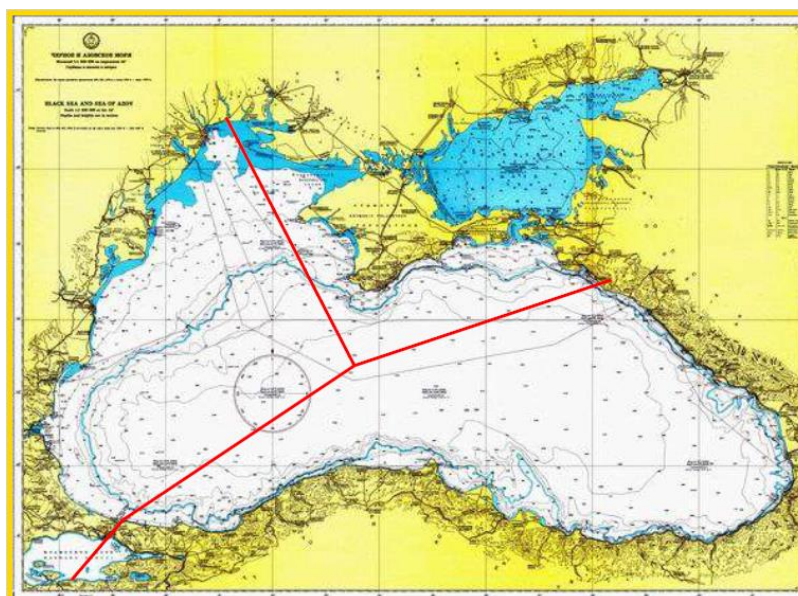


Рисунок 22 – ПВОЛС «Италия-Турция-Украина-Россия»

В 1998 – 2000 гг. был реализован проект подводной волоконно-оптической линии связи «Россия – Грузия» протяженностью более 400 км.



Рисунок 23 – ПВОЛС «Россия – Грузия»

#### ПВОЛС *BSFOCS*

В 2001 году была запущена в эксплуатацию подводная кабельная линия связи «Болгария – Украина – Россия», протяженность российского сегмента более 560 км.

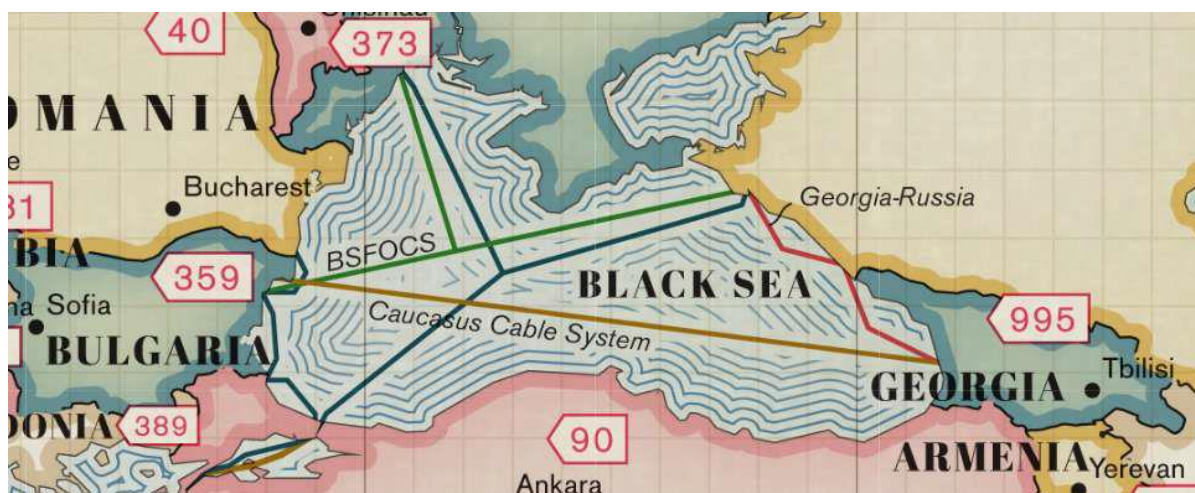


Рисунок 24 – ПВОЛС «Болгария – Украина – Россия»

1 сентября 2001 года была введена в эксплуатацию подводная волоконно-оптическая линия связи, связавшая три страны: Россию, Украину и Болгарию. Проект строительства этой линии, получившей международное название *BSFOCS* (*Black Sea Fiber Optic Cable System*), был задуман еще в

1993 году, однако привлечь достаточный объем инвестиций его участники смогли лишь шесть лет спустя.

20 января 1999 года были подписаны контракт на строительство линии и соглашение между участниками проекта. В состав консорциума вошли национальные операторы связи Греции, Кипра, Болгарии, Украины, Армении и других стран. С российской стороны участие в проекте приняла компания ВЕСТЕЛКОМ, построившая к тому времени две подводные линии в Черном море: ПВОЛС Новороссийск - Сочи и Грузия - Россия.

Генподрядчиками по строительству стали американская фирма *TSSL*, поставившая оконечное оборудование линии, и французская компания *Alcatel Submarine Networks*, изготовившая и проложившая морской и наземный волоконно-оптический кабель, а также поставившая оборудование мультиплексирования.

Общая протяженность 4-х волоконного подводного кабеля составила более 1200 км. В центре западной части Черного моря на глубине около 1400 м была установлена разветвительная муфта, с помощью которой реализована конфигурация в виде "звезды", соединяющей береговые станции в пунктах Джубга (Россия), Каролина - Бугаз (Украина) и Св. Константин (Болгария).

Схема организации связи в системе реализована в виде плоского замкнутого кольца. Сигналы с каждой береговой станции одновременно подаются по кольцу по и против часовой стрелки. В принимающем пункте сигналы сравниваются и выбирается сигнал с более высоким качеством. Данная схема, обеспечивая резервирование с самовосстановлением, в то же время уменьшает эффективную пропускную способность системы.

Для увеличения пропускной способности линии впервые в России была использована оконечная аппаратура спектрального уплотнения с разделением длин волн (*WDM*). Аппаратура спектрального уплотнения позволяет расширить пропускную способность системы с начальной 2,5 Гбит/с до 20 Гбит/с путем передачи по одному волокну до восьми сигналов STM-16 с различной длиной волны.

Помимо новых технологий уплотнения сигнала в проекте *BSFOCS* впервые в российской практике были использованы и другие инженерные решения, в частности, метод заглубления кабеля в прибрежной зоне бухты Джубга.

Ранее в эту бухту уже были заведены два подводных волоконно-оптических кабеля: международной линии ИТУР и национальной линии Джубга - Сочи. Их наличие в стесненной акватории бухты в значительной степени осложнило прокладку нового кабеля, поскольку ни изыскатели, ни строители не имели права отдавать якоря в охранной зоне существующих кабелей.

Поэтому в процессе изысканий в акватории бухты в марте 2000 г. первым делом были четко определены фактические трассы прохождения существующих кабелей и западная граница их охранной зоны.

Необходимо отметить, что работы проводились в сложных погодных условиях - простои из-за штормовой погоды составили около 70% рабочего времени.

На основании изысканий специалистами ОАО "Гипросвязь" был выполнен рабочий проект на прокладку и заглубление подводного кабеля на Российском сегменте "*BSFOCS*". 20 мая 2000 года были начаты подводно-технические работы в бухте Джубга.

Работы по прокладке и заглублению подводного кабеля в прибрежной зоне от берегового колодца до линии 13-метровой изобаты на участке протяженностью 1174 метра выполнялись специалистами ООО "Подводбурстрой", навигационно-гидрографическое обеспечение осуществлялось специалистами- гидрографами ООО "Севзапгидропроект" из Санкт-Петербурга.

Прокладка и заглубление однобронного подводного волоконно-оптического кабеля типа "*SAL*", вес которого в воздухе 2,0 т/км, в воде 1,4 т/км, разрывное усилие 280 кN, диаметр 30 мм и минимальный диаметр изгиба 3,0 м, осуществлялось в два технологических этапа:

Первый этап - бурение скважины, в которую должны были быть затянуты две полиэтиленовые трубы диаметром 63 мм. Впервые в российской практике был использован метод горизонтально-направленного управляемого бурения с берега в море.

Точка забуривания скважины была намечена вблизи существующего железобетонного берегового колодца на пляже, в который ранее были заведены два существующих подводных кабеля. Ожидаемая точка выхода скважины в море была закоординирована и обозначена бум.

Контроль и корректировка планового положения трассы проводились по промерному тросу, закрепленному на урезе воды и на большом гидрографическом катере, обеспечивающем кабелепрокладочные работы.

Бурение проводилось с помощью управляемой бурильной системы Грундоджет-15 D. Пилотная головка буровой установки вышла из грунта точно там, где было определено. Фактическое отклонение точки выхода головки от заданной не превысило 1 м.

После пилотного бурения скважина расширялась до диаметра 180 мм, затем в неё затягивались две трубы диаметром 63 мм с барабанов, установленных на палубе. В процессе протаскивания труб за расширителем одна из труб была оборвана вблизи берегового колодца, поэтому по требованию проектировщиков было выполнено дополнительное бурение еще одной скважины и в нее затянута такая же труба. Длина скважин составила 338 м и 327 м соответственно для основного и резервного кабелей.

Свободный конец резервной трубы в море был поднят выше горизонта воды на палубе судна-базы и состыкован герметичной муфтой с такой же полиэтиленовой трубой длиной 445 м, намотанной на барабан, которая затем была проложена в одной траншее с основным кабелем системы "BSFOCS" при помощи "подводного танка".

Измерения показали, что первая скважина прошла на 7,9 м ниже уреза воды, вторая - на 7,5 м ниже уреза воды. Это, безусловно, гарантирует надежную защиту кабеля от механических повреждений в любых условиях

эксплуатации.

Второй этап - протаскивание в одну из полиэтиленовых труб подводного кабеля типа SAL со стороны моря в берег, прокладка кабеля на акватории бухты по буйам точек поворота на трассе и последующее заглобление кабеля в грунты морского дна с помощью самоходного подводного кабелеукладчика - "подводного танка", оснащенного буровой установкой.

Самоходный подводный кабелеукладчик создан на базе серийного гусеничного транспортного тягача; движение его под водой осуществляется от гидродвигателей, привод главных фрикционов и редуктора рабочего органа - буровой установки также производится от гидродвигателей, работающих от гидравлических наносных станций.

"Подводный танк" может работать на глубинах моря до 50 метров, он разрабатывает в несвязных и плотных грунтах, включая скальные, траншею-прорезь шириной до 25 см и глубиной до 2,2 - 2,5 метров.

Он может прокладывает кабели и полиэтиленовые трубы как с барабана, устанавливаемого непосредственно на шасси, так и предварительно проложенные по дну акватории со слабиной. В этом случае кабель или труба поднимаются со дна специальными роликами-подборщиками.

Технология прокладки и заглобления кабелей с помощью "подводного танка" экологически благоприятна, поскольку практически не наносит ущерба окружающей водной среде за счет резкого (до 30-50 раз) сокращения объемов разрабатываемого подводного грунта.

"Подводный танк" работал с обслуживающим его самоходным судном - кабелепрокладочной базой "Акватик-6" и рейдовым водолазным ботом, с которого под воду ходили водолазы.

На борту судна-базы установлена дизель-электростанция мощностью 200 квт, гидравлическая насосная станция, контейнер управления, высоконапорные насосы и подъемный кран грузоподъемностью 12 т, поднимающий "подводный танк" из грузового трюма и опускающий его на

дно.

После затягивания основного кабеля в трубу оставшийся на барабане кабель был уложен на дно по трассе со слабиной порядка 10 %. К концу этого кабеля были прикреплены растительными тросами два якоря во избежание вытаскивания слабины кабеля в море кабельным судном, которое должно было принимать кабель на борт.

7 июня 2000 года датское кабельное судно "Мэрск Файтер" подошло к приемному красно-белому бую, на который был заведен мягкий трос длиной 200 м. За этот трос прибрежный кабель был выбран на борт судна для измерений и монтажа муфты. После подъема кабеля на борт датского кабельщика он был разделан, измерен, проведен через приемный блок кабельного плуга и подготовлен для монтажа муфты. Монтаж муфты и измерения заняли около суток.

После измерений всего смонтированного блока "Мэрск Файтер" на глубине моря 14 м опустил за борт кабельный плуг с пропущенным через его нож кабелем и начал движение в сторону разветвителя в Западной части Черного моря. На глубине 16 м нож кабельного плуга медленно заглубился в морское дно на 0,8 м и, буксируемый кабельным судном, начал движение по морскому дну.

Скорость движения кабельного судна с плугом составила около 1 км/час, тяговые усилия для буксировки плуга в зависимости от плотности грунтов достигали 20-27 тонн. По мере прохождения судна по трассе величина заглубления кабеля в морское дно достигла 1,1-1,2 м, поскольку грунты были менее плотными. В течение первых суток хода судна с плугом было проложено и заглублено 13,653 км кабеля.

На глубине моря 169 метров вблизи бровки подводного каньона, где придонный слой воды Черного моря насыщен сероводородом, плуг был поднят со дна моря на палубу кабельного судна. С этой точки заглубление кабеля с целью его защиты от механических повреждений проектом не предусматривалось, поскольку ни рыбной ловли, ни постановки судов на



якорь в этой зоне не производится. До разветвительной муфты, которая была опущена на глубину 1395 метров, было проложено еще около 550 км кабеля.

14 июня 2000 года работы по прокладке в море Российского сегмента Черноморской Международной подводной волоконно-оптической линии связи BSFOCS были закончены.

### ПВОЛС «Балтийская кабельная система»

В 1999 году началась реализация проекта «Балтийские кабельные системы» (БКС). Линия связи предназначена для организации цифровой связи между Россией, Финляндией, Швецией, Эстонией, Латвией, Литвой, Польшей.

В 2001 году в эксплуатацию запущен первый пусковой комплекс кабельной линии «Балтийские кабельные системы», соединив г. Санкт-Петербург (Россия) и г. Котка (Финляндия).

В 2007 г. на Сахалине была проложена подводная ВОЛС между материковой частью РФ и о. Сахалин. Общая протяженность линии составляет 214 км. Пропускная способность сети равна 2,5 Гбит/с, а максимальная емкость кабельной системы – 40 каналов по 10G. Данная ВОЛС является частью проекта Хоккайдо-Сахалин – подводной волоконно-оптической линии между Японией и Россией. Этот проект играет большую роль не только для нашей страны, но и для всего мира, ведь данная магистраль позволила обмен трафиком между Европой и Азией, который ранее был возможен только через магистрали на дне Индийского океана. ВОЛС Хоккайдо-Сахалин имеет протяженность в 570 км и пропускную способность в 640 Гбит/с.

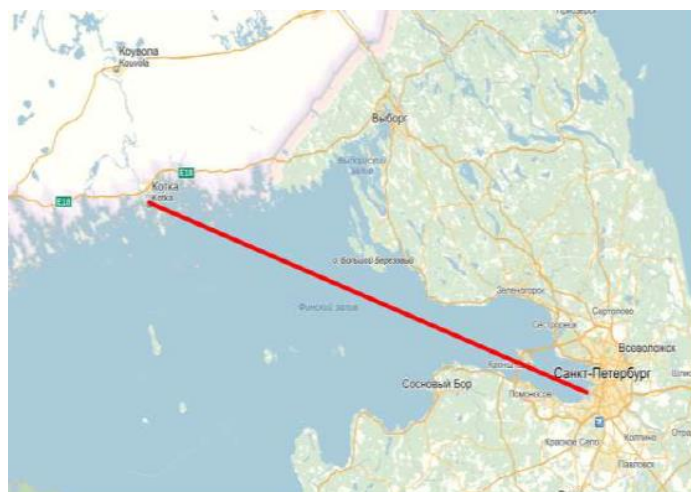


Рисунок 25 – ПВОЛС «Балтийская кабельная система»

Подводная волоконно-оптическая линия связи «Советская Гавань–Ильинский», соединившая между собой материк и о.Сахалин. Длина морского сегмента кабельной линии составляет 210 км.

«Россия – Япония» (Сегмент S-1 и Сегмент S-2). Длины каждого из сегментов превышают 850 км, а суммарная протяженность трассы более 1700 км.

«Россия (Невельск) – Япония (Исикари). Длина подводной кабельной линии составляет 570 км.

В 2012 г. была введена в эксплуатацию подводная волоконно-оптическая линия связи на участке поселок городского типа Тымовское – поселок городского типа Лазарев, составной частью которой является морской участок между мысом Погиби и мысом Лазарева. Длина морского сегмента кабельной линии составляет 10 км.

В 2008 г., по заказу ЗАО «Компания ТрансТелеКом», была разработана предпроектная документация (Камеральный проект) по объекту «ПВОЛС Находка- Сахалин-Ниигата». Общая протяженность трассы более 875 км.

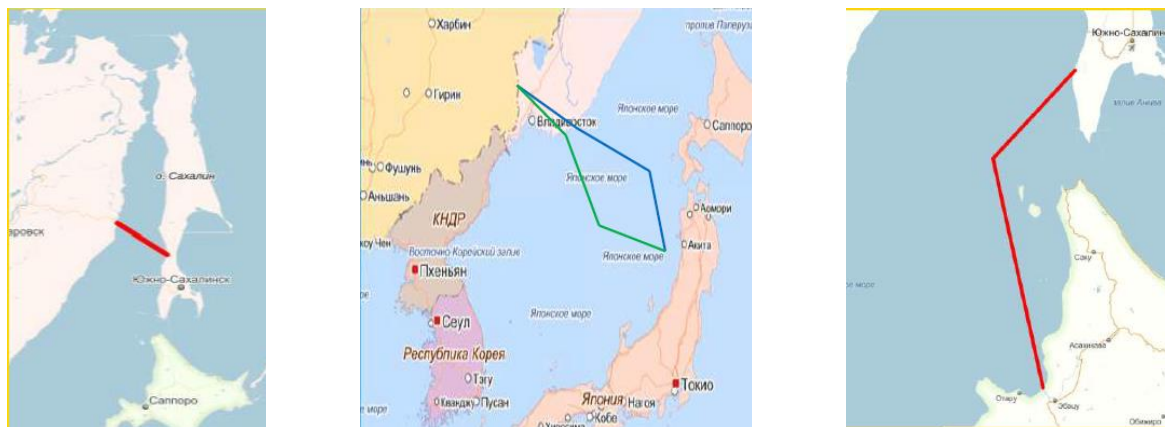


Рисунок 26 – ПВОЛС на востоке России

В 2010 г. по заказу Макрорегионального филиала «Юг» ОАО «Ростелеком» разрабатывался проект «Строительство подводной ВОЛС «Черноморье». Общая протяженность трассы более 470 км., от порта Кавказ до поселка Веселое.

В 2012 г. четверка крупнейших операторов РФ опубликовала глобальные планы по развитию отечественных подводных ВОЛС. В мае 2012 года операторы «Ростелеком», «ВымпелКом» (бренд «Билайн»), «МегаФон» и «Мобильные ТелеСистемы» подписали соглашение о совместном строительстве подводной волоконно-оптической линии «Сахалин-Магадан-Камчатка». 9-го июня началось исследование морского дна для прокладки кабелей. В сентябре 2012 г. исследовательские работы были закончены. Однако тендер по выбору оборудования и собственно прокладка кабелей были отложены до 2014-2016 г.г.

Таким образом, российские операторы и правительство решают проблему с широкополосным Интернетом в таких отдаленных регионах РФ, как Камчатка и Магаданский край. Жители Дальнего Востока уже сейчас получают не только высокоскоростной дешевый Интернет, но также и дешевые цифровое телевидение и телефонию. Пропускная способность сети составляет 8 Тбит/с, а общая протяженность кабелей – порядка 2 тыс. км.



Рисунок 27 – Морской участок между мысом Погиби и мысом Лазарева



Рисунок 28 – ПВОЛС Находка- Сахалин-Ниигата

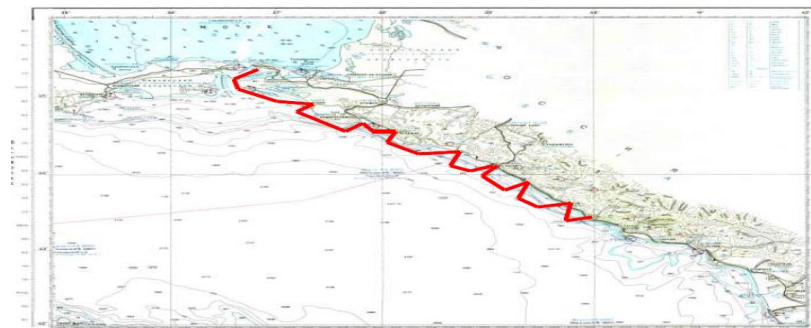


Рисунок 29 – ПВОЛС «Черноморье»

### ПВОЛС Сахалин-Магадан-Камчатка

Китайская компания Huawei получила право на заключение договора с Ростелекомом на строительство подводной волоконно-оптической линии связи Сахалин-Магадан-Камчатка. Планируется, что ПВОЛС будет технически готова уже в следующем году, а в 2016 году ее введут в эксплуатацию, сообщает ИА SakhalinMedia со ссылкой на пресс-службу Ростелекома.

Победителем открытого тендера в рамках проекта строительства ПВОЛС Сахалин-Магадан-Камчатка по полноте соответствия технических предложений требованиям Ростелекома признана фирма ООО «Техкомпания Хуавэй», которая получает право заключения договора на поставку оборудования, вспомогательного оборудования и материалов, а также выполнения работ и оказания услуг.

По проекту предстоит строительство ПВОЛС общей протяженностью около 1855 км и емкостью кабельной системы четыре оптических волокна, а также выполнение всего необходимого перечня работ по подводной и наземной части. Максимальная пропускная способность ПВОЛС составит 8 Тбит/с.

Реализация проекта позволит создать высоконадежную линию связи для сейсмоопасного региона со сложными климатическими условиями, которая позволит предоставлять современные качественные телекоммуникационные услуги жителям Камчатской, Магаданской и Сахалинской областей, которые невозможно обеспечить с помощью спутниковой связи.

Строительство новой подводной линии связи позволит решить вопросы цифрового неравенства в Дальневосточном регионе и даст дополнительный импульс к социально-экономическому развитию всего ДФО.

Волоконно-оптический кабель будет проложен по дну Охотского моря, что позволит в четыре раза сократить путь до Петропавловска-Камчатского по сравнению с наземным маршрутом, который проходит по безлюдным землям в зоне вечной мерзлоты и сложнейших климатических условий. Все это сделает возможным в кратчайшие сроки начать предоставление услуг связи и значительно увеличить количество жителей Дальнего Востока России, которые смогут ими воспользоваться.

ПВОЛС до полуострова Крым

«Ростелеком» построил и сдал в эксплуатацию подводную ВОЛС, связавшую материковую Россию с Крымом. Вновь построенная линия проходит по дну Керченского пролива.

ВОЛС построена оператором «Ростелеком» по поручению Минкомсвязи России. Согласно сообщению ведомства, линия обеспечит услугами связи все население Крымского федерального округа.

Нынешняя пропускная способность ВОЛС составляет 110 Гбит/с, что намного меньше, чем текущие потребности жителей полуострова.

Общая протяженность ВОЛС составляет порядка 46 км. Министерство сообщает, что линия состоит из участка от узла филиала «Юг» «Ростелекома» до Керченского пролива, подводную часть линии, и участок до города Керчь.

Прокладка ВОЛС - один из шагов по дальнейшей интеграции полуострова в государственную, экономическую и правовую системы России. Волоконно-оптическая линия связи через Керченский пролив позволяет покрыть текущие потребности в услугах связи более 2,3 млн человек, проживающих в Крыму, а также обеспечить безопасность передачи государственной информации.

## **1.6. Подводные оптические кабели связи**

Подводные волоконно-оптические кабели предназначены для передачи оптических сигналов на значительные расстояния и осуществления связи через протяжённые водные преграды (моря — океаны). Они должны обладать высокой механической прочностью на разрыв и иметь надежные влагостойкие покрытия. Для подводной связи также важно, чтобы оптическое волокно обладало малым затуханием и дисперсией, большой информационно-пропускной способностью.

Кабельная подводная связь реализована таким образом, что из одной

точки земной поверхности в другую ведет кабель, проложенный по морскому дну.

В 20-м веке кабели для подводной связи обычно прокладывали по поверхности морского дна, а теперь чаще закапывают под его поверхность (для этого мощной струей воды выкапывается траншея, куда опускают кабель). Кабель под воду укладывается со специальных кораблей - кабелеукладчиков.

В настоящее время в Атлантике работает судно Atlantic Guardian (рис.39), которое осуществляет прокладку трансатлантического кабеля и ремонт кабелей, если они повреждаются.



Рисунок 30 – Atlantic Guardian - судно для укладки и ремонта подводных кабелей

Несомненный интерес представляет непосредственное устройство кабеля, который будет работать на глубине в 5-8 километров.

Стоит понимать, что глубоководный кабель должен иметь следующий ряд базовых характеристик:

- Долговечность;

- Водонепроницаемость;
- Способность выдерживать огромное давление водных масс над собой;
- Достаточная прочность для укладки и эксплуатации;
- Материалы кабеля должны быть подобраны так, чтобы при механических изменениях (растяжении кабеля в ходе эксплуатации/укладки) не изменялись его рабочие характеристики.

Рабочая часть подводного кабеля, по крупному, ни чем не отличается от обычного оптического кабеля. Вся суть глубоководных кабелей заключена в защите этой самой рабочей части и максимального увеличения срока его эксплуатации, что видно из рисунка 40.

1. Полиэтилен — внешний традиционный изоляционный слой кабеля. Данный материал является отличным выбором для прямого контакта с водой, так как обладает следующими свойствами:

- Устойчив к действию воды;
- Не реагирует со щелочами, растворами нейтральных, кислых и основных солей, органическими и неорганическими кислотами, и с концентрированной серной кислотой.

Мировой океан содержит в себе практически все элементы таблицы Менделеева, а вода является универсальным растворителем. Использование такого распространенного в химической промышленности материала как полиэтилен является логичным и оправданным, так как, в первую очередь, необходимо исключить реакцию кабеля и воды, тем самым избежать его разрушения под воздействием окружающей среды. Полиэтилен использовался в качестве изолирующего материала в ходе прокладки первых межконтинентальных линий телефонной связи в середине XX века.



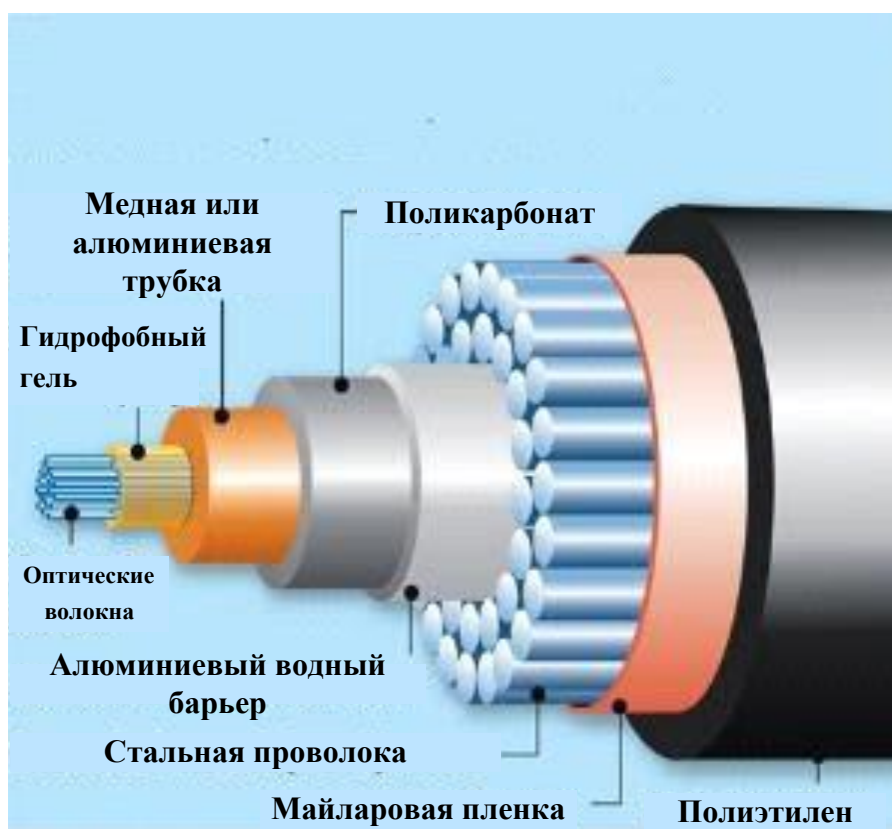


Рисунок 31 – Общий состав подводного ОК

Однако в силу своей пористой структуры полиэтилен не может обеспечить полной гидроизоляции кабеля, поэтому сегодня в подводных кабелях используется следующий слой.

2. Майларовая пленка — синтетический материал на основе полиэтилентерефталата.

Данный слой имеет следующие свойства:

- Не имеет запаха и вкуса;
- Прозрачный;
- Химически неактивный;
- С высокими барьерными свойствами (в том числе и ко многим агрессивным средам);
- Устойчивый к разрыву (в 10 раз прочнее полиэтилена), износу, удару.

Майлар (или Лавсан) широко используется в промышленности, упаковке, текстиле, космической промышленности. Из него шьют палатки. Однако использование данного материала ограничено многослойными

пленками из-за усадки при термосваривании.

3. После слоя майларовой пленки можно встретить армирование кабеля различной мощности, в зависимости от заявленных характеристик изделия и его целевого назначения.

В основном используется мощная стальная оплетка для придания кабелю достаточной жесткости и прочности, а так же для противодействия агрессивным механическим воздействиям извне. По некоторым данным, ЭМИ, исходящее от кабелей может приманивать акул, которые их перегрызают. Так же на больших глубинах кабель просто укладывается на дно, без заглубления и его могут зацепить рыболовецкие суда своими снастями. Для защиты от подобных воздействий кабель армируется стальной оплеткой. Используемая в армировании стальная проволока предварительно оцинковывается. Усиление кабеля может происходить в несколько слоев. Основной задачей производителя в ходе этой операции является равномерность усилия в ходе намотки стальной проволоки. При двойном армировании намотка происходит в разных направлениях. При не соблюдении баланса в ходе данной операции кабель может самопроизвольно скручиваться в спираль, образуя петли.

В результате этих мероприятий масса погонного километра может достигать нескольких тонн. Использование стали, а не алюминия обусловлено тем, что на воздухе алюминий имеет стойкую пленку окисла, но при соприкосновении с морской водой данный металл может вступать в интенсивную химическую реакцию с вытеснением ионов водорода, которые оказывают губительное влияние на оптоволокно. Поэтому используют сталь.

4. Алюминиевый водный барьер, или слой алюмополиэтилена используется как очередной слой гидроизоляции и экранирования кабеля.

Алюмополиэтилен представляет собой комбинацию из алюминиевой фольги и полиэтиленовой пленки, соединенных между собой клеевым слоем. Проклейка может быть как односторонней, так и двухсторонней. В

масштабах всей конструкции алюмополиэтилен выглядит почти незаметным. Толщина пленки может варьироваться от производителя к производителю, но обычно составляет 0.15-0.2 мм при односторонней проклейке.

5. Слой поликарбоната используется для усиления конструкции.

Легкий, прочный и стойкий к давлению и ударам, материал широко используется в повседневных изделиях, например, в велосипедных и мотоциклетных шлемах, также применяется в качестве материала при изготовлении линз, компакт-дисков и светотехнических изделий, листовой вариант используется в строительстве как светопропускающий материал. Обладает высоким коэффициентом теплового расширения. Поэтому он используется в производстве кабелей.

6. Медная, или алюминиевая трубка входит в состав сердечника кабеля и служит для его экранирования.

Непосредственно в эту конструкцию укладываются другие медные трубки с оптоволоконном внутри. В зависимости от конструкции кабеля, трубок может быть несколько, и они могут быть переплетены между собой различным образом. Ниже представлены примеры организации сердечника кабеля (рис.41).

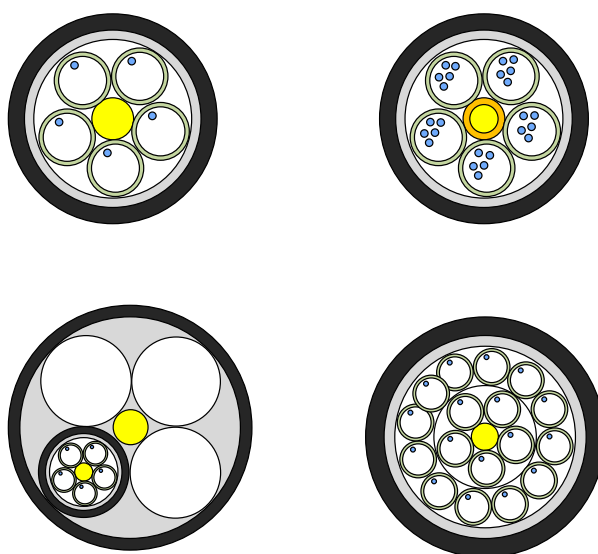


Рисунок 32 – Примеры организации сердечника кабеля

Оптоволокно укладывается в медные трубки которые заполнены гидрофобным тиксотропным гелем, а металлические элементы конструкции используются для организации дистанционного электропитания промежуточных регенераторов — устройств, осуществляющих восстановление формы оптического импульса, который, распространяясь по волокну, претерпевает искажения.

В результате в разрезе получается что-то похожее на рисунке 42 и 43.

Особенностью производства оптических глубоководных кабелей является то, что чаще всего оно располагается вблизи портов, как можно ближе к берегу моря. Одной из основных причин подобного размещения является то, что погонный километр кабеля может достигать массы в несколько тонн, а для сокращения необходимого кол-ва сращиваний в процессе укладки производитель стремиться сделать кабель как можно более длинным. Обычной длиной для такого кабеля считается 4 км, что может составлять, примерно, 15 тонн массы. Как можно понять из вышеуказанного, транспортировка такой бухты глубоководного ОК не самая простая логистическая задача для сухопутного транспорта. Обычные для намотки кабелей деревянные барабаны не выдерживают описанной ранее массы и для транспортировки ОК на суше, к примеру, приходится выкладывать всю строительную длину «восьмеркой» на спаренных железнодорожных платформах, чтобы не повредить оптоволокно внутри конструкции.

Казалось бы, имея такой мощный с виду продукт можно грузить его на корабли и сбрасывать в морскую пучину. Реальность же немного иная. Прокладка маршрута кабеля — это длительный и трудоемкий процесс. Маршрут должен быть экономически выгодным и безопасным, так как использование различных способов защиты кабеля приводит к увеличению стоимости проекта и увеличивает срок его окупаемости. В случае прокладки кабеля между разными странами, необходимо получить

разрешение на использование прибрежных вод той или иной страны, необходимо получить все необходимые разрешения и лицензии на проведение кабелеукладочных работ.

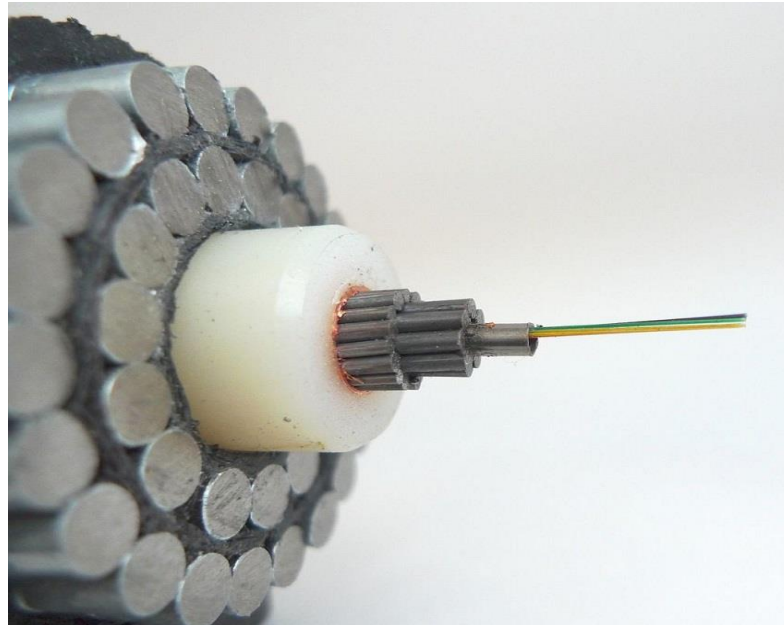


Рисунок 33 – Разрез подводного ОК



Рисунок 34 – Разрез подводного ОК

После этого проводится геологическая разведка, оценка сейсмической активности, вулканизма, вероятность подводных оползней и других природных катаклизмов в регионе, где будут проводиться работы и, в последующем, лежать кабель. Так же важную роль играют прогнозы метеорологов, дабы сроки работ не были сорваны. Во время геологической разведки маршрута учитывается широкий спектр параметров: глубина, топология дна, плотность грунта, наличие посторонних объектов, типа валунов, или затонувших кораблей. Так же оценивается возможное отклонение от первоначального маршрута, т.е. возможное удлинение кабеля и увеличение стоимости и продолжительности работ. Только после проведения всех необходимых подготовительных работ кабель можно загружать на корабли и начинать укладку.

Прокладка оптоволоконного кабеля по морскому/океаническому дну проходит непрерывно из точки А в точку Б. Кабель укладывается в бухты на корабли и транспортируется к месту спуска на дно. Выглядят эти бухты, как показано на рисунках 44 и 45.

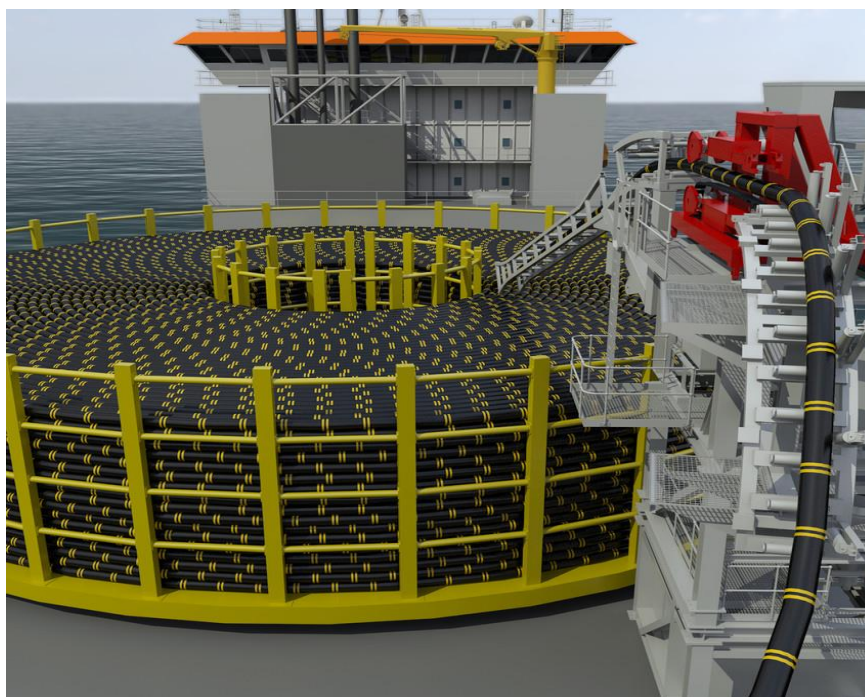


Рисунок 35 – Подводный кабель в бухтах



Рисунок 36 – Подводный кабель в бухтах

После выхода корабля в море остается техническая сторона процесса. Команда укладчиков при помощи специальных машин разматывает кабель с определенной скоростью и, сохраняя необходимое натяжение кабеля за счет движения корабля, продвигается по заранее проложенному маршруту. Выглядит со стороны это как на рисунке 46.

При каких-либо проблемах, обрывах, или повреждениях на кабеле предусмотрены специальные якоря, которые позволяют поднять его к поверхности и отремонтировать проблемный участок линии. [2]

Существует несколько видов конструктивной защиты подводного кабеля от внешних воздействий, в соответствии с этим промышленностью предлагаются кабели различных типов [26, 29].

Основные типы подводных оптических кабелей связи представлены в Таблице 3.

Также существуют кабели для специальных приложений (SPA, Special Application), предназначенные для укладки на глубинах до 6,500 метров в областях с частично скальным дном и высокой вероятностью повреждения

кабеля представителями морской фауны.



Рисунок 37 – Прокладка кабеля с корабля

### 1.6.1 Российские подводные кабели

Подводные протяжённые волоконно-оптические линии связи в России связаны, прежде всего, с международными линиями, построенными ОАО "Ростелеком" совместно с иностранными партнёрами: ВОЛС "Дания-Россия №1", ВОЛС "Италия-Турция-Украина-Россия - ИТУР", ВОЛС "Россия-Япония-Корея", ВОЛС "Новороссийск-Сочи". Эти системы базируются на подводных кабелях зарубежного производства. [1]



Таблица 3 – Основные типы подводных оптических кабелей связи

Тип кабеля	Характеристики	Глубина укладки, м
Лёгкий кабель (Light weight) LW	Глубоководный кабель для областей, где отсутствует риск значительных повреждений	< 8000
Защищённый лёгкий кабель (Light weight protected) LWP	Лёгкий кабель с защитой от механических повреждений. Подходит для областей с пересечённой местностью.	< 3500
Бронированный лёгкий кабель (Single armour light) SLA	Относительно лёгкий кабель для областей, где возможно зарывание кабеля в траншею и риск внешних повреждений минимален.	< 1500
Бронированный кабель Single armour (SA)	Для областей, где возможно ограниченное зарывание кабеля.	< 1500
Дважды бронированный кабель Double armour (DA)	Сильно защищённый кабель для применения в прибрежных областях и местах, где зарывание кабеля невозможно и большой риск повреждения кабеля тралами и сетями рыболовных судов.	< 500
Кабель для прокладки в скалах Rock armour (RA)	По свойствам схож с дважды бронированным кабелем, но с повышенным сопротивлением и более гибкий, предназначен для укладки на волнистом каменном дне и в областях с высокой рыболовной активностью.	< 200

В России на сегодняшний день в промышленных объемах не производятся подводные оптические кабели. Единственным кабельным предприятием, которое ранее производило подводные кабели с медными жилами для нужд Министерства обороны и ВМФ СССР, является завод "Севкабель". Однако этот завод не стал организовывать производство подводных волоконно-оптических кабелей из-за отсутствия заказов на них и финансирования разработок.

Оптические кабели для подводных протяжённых систем конструктивно сложны и трудоёмки в изготовлении. Эти кабели должны содержать элементы, защищающие оптические волокна от влаги и атомарного водорода. Кабели должны выпускаться большими строительными длинами, причём, на строительной длине кабеля все

оптические волокна не должны иметь сварок.

В рабочем диапазоне длин волн волокна должны обладать низкими значениями коэффициента затухания, хроматической и поляризационно-модовой дисперсии. Поэтому в современных условиях в качестве оптических волокон подводных кабелей выбирают волокна с ненулевой смещённой дисперсией по рекомендации МСЭ-Т G.655.

Подводные оптические кабели отличаются высокими значениями механических параметров растяжения и раздавливания. Обычно градация этих кабелей по механическим параметрам предполагает изготовление кабелей прибрежной прокладки (с наибольшими значениями механических параметров), кабелей для зоны морского рыболовства (чаще всего эти кабели заглубляются в донный грунт) и кабелей для глубоководной зоны. В Чёрном море подводные кабели дополнительно должны быть устойчивы к воздействию сероводорода.

Современный этап развития волоконно-оптических сетей связи в России характеризуется резким замедлением темпов строительства протяжённых линий связи, поэтому потребность в кабелях такого типа значительно уменьшилась. В условиях недостаточно развитых сетей связи и недостаточно устойчивой экономики это может привести к отставанию в области новых разработок и повышения качества оптических кабелей для протяжённых линий связи.

#### 1.5.2 Прокладка морских оптических линий связи при помощи подводной лодки

Традиционный и единственный в настоящее время способ прокладки и ремонта подводной ВОЛС при помощи надводного кабельного судна имеет два существенных недостатка. Во-первых, работы не могут проводиться при волнении моря более 3-4 баллов. Во-вторых, надводные кабельные суда не могут использоваться в условиях паковых льдов,

которыми, в частности, покрыта большая часть Северного Ледовитого океана.

Существует отечественный проект прокладки трансконтинентальной ВОЛС при помощи подводного кабельного судна. Функциональные возможности подводной лодки позволяют производить прокладку и ремонт кабельных линий в любую погоду, в том числе и во время частых штормов в зоне прохождения океанских линий.

Доминанта между Европой и Америкой, например от бухты Териберка (недалеко от Мурманска) до залива Барроу (Канада) проходит через Северный полюс и на несколько тысяч километров короче других маршрутов. Осуществить прокладку кабеля по этой трассе способно только подводное кабельное судно.

Мировой опыт эксплуатации подводных кабельных линий позволяет поднимать кабель или усилитель (регенератор) в среднем 3 раза за 25 лет службы. Это соответствует коэффициенту готовности 0,99 при среднем времени восстановления 1 месяц. Заметим, что время восстановления складывается из времени подхода, времени ожидания погоды и собственно времени ремонта.

Ремонт кабеля и прокладка его надводными судами осуществляются при волнении моря не более 3-4 баллов. Поэтому две трети времени восстановления, примерно 20 суток, составляет время ожидания. Остальные факторы оцениваются следующими значениями: время подхода 3-5 дней и ремонт – 5-7 дней. Для ПКС время ожидания благоприятной погоды равно 0 и, следовательно, время восстановления равно 10 суток, что при 3-х авариях за 25 лет дает коэффициент готовности 0,9967. Таким образом, время простоя каналов за весь срок службы уменьшится на 60 суток.

На основании этих данных экономическая эффективность ПКС для одной линии в год равна 42 млн. USD. Общая годовая эффективность одного ПКС (при обслуживании 3-х кабельных линий) составляет 126 млн.

USD. Расчетное значение экономической эффективности этой технологии при сооружении кабельной линии в Северном Ледовитом океане составляет около 102 млн. USD. В обычных условиях экономическая эффективность ПКС обуславливается меньшим сроком прокладки. При замене надводного кабельного судна на подводное среднее время фрахта сокращается на 10 суток и составляет 25-35 суток. При стоимости фрахта 20 000 USD в сутки экономия составляет 200 000 USD. Кроме этого экономический эффект достигается за счет ускорения ввода линии. Доход от эксплуатации типизированной подводной кабельной линии в течение 10 суток составит не менее 178 млн. USD.

## **Выводы по 1 главе**

1. Использование подводных ВОЛС позволяет обеспечить передачу больших объемов информации на любые расстояния (в пределах Земли), с высоким качеством и минимальными задержками.

2. Создание подводной ВОЛС - сложный и трудоемкий процесс, требующий привлечения большого числа специалистов из самых разных отраслей, включая: специалистов по телекоммуникациям; специалистов по морским инженерным изысканиям; специалистов по водолажным работам; специалистов по электропитанию и т.д.

3. Значительная стоимость ПВОЛС, которая определяется: стоимостью оконечного оборудования; стоимостью подводных устройств; стоимостью подводного кабеля и других типов кабелей; стоимостью работ; стоимостью фрахта кораблей и т.д., достаточно быстро окупается за счет сдачи в аренду пропускной способности созданной системы.

4. Мировая практика создания ПВОЛС большой протяженности гораздо больше по сравнению с российскими проектами, тем не менее, для развития телекоммуникаций в России очень важно развивать данную

отрасль. Особенно важно освоение арктической зоны, что является необходимым в рамках современной геополитической обстановки в мире.

5. Для качественного развития российских ПВОЛС необходимо строительство собственных кабельных судов (в т.ч. ледового класса) и строительство завода по производству подводного ОК на берегу моря.

6. В России существуют собственные наработки по технологиям прокладки подводных ВОЛС, особенно в прибрежной зоне.

7. Для обеспечения информационной безопасности государства необходимо осуществлять создание ПВОЛС с максимальным использованием отечественных разработок, отечественного оборудования и отечественных компаний по проектированию и прокладке ВОЛС.

8. Для организации полного цикла по созданию российских ПВОЛС необходимо разработать отечественные образцы: подводного оптического кабеля; оконечной и промежуточной каналобразующей аппаратуры со спектральным разделением каналов и скоростью передачи 100 Гбит/с в каждом канале; подводных и береговых линейных усилителей и регенераторов; оборудования дистанционного электропитания подводных линейных устройств; различных типов муфт и средств контроля и управления оборудованием ПВОЛС.

