

Раздел РПД 1. Рассматриваются задачи технической эксплуатации ВОЛС при различных технологиях строительства, приводится их сравнительная характеристика по различным критериям оценки.

Эксплуатация волоконно-оптических сетей доступа.

Вопросы эксплуатации любых волоконно-оптических линий связи, как на магистральных сетях, так и на внутризонах, сельских (местных), широкополосного доступа регламентируются общими нормативными документами, перечень которых приведен ниже. В каждом конкретном случае целесообразно изучить соответствующий документ, а не пользоваться свободным и простым изложением последних, что обеспечит работу ваших сетей на должном уровне и с требуемым качеством.

Далее приводится небольшой анализ, основанный на этих материалах, что позволяет определить основные моменты процесса эксплуатации, необходимые для поддержания сети в должном состоянии.

Основные нормативно-правовые документы по ВОЛС.

РД 45.047-99. Линии передачи волоконно-оптические на магистральной и внутризонах первичных сетях ВСС России. Техническая эксплуатация. Оборудование кабельное оконечное. Общие технические требования.

РД 45.120-2000. Нормы технологического проектирования. Городские и сельские телефонные сети. Сети и службы передачи данных.

РД 45.156-2000. Состав исполнительной документации на законченные строительством линейные сооружения магистральных и внутризонах ВОЛС.

РД 45.180-2001. Руководство по проведению планово-профилактических и аварийно-восстановительных работ на линейно-кабельных сооружениях связи волоконно-оптической линии передачи.

Руководящий технический материал по технической эксплуатации волоконно-оптических систем передачи на внутризонах и магистральных первичных сетях ВСС России. – М.: ЦНИИС – 2001

СО 153-34.48.519-2002. Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 0,4-35 кВ. Утверждены Минсвязи России 24.04.2003.

Руководство по эксплуатации линейно-кабельных сооружений местных сетей связи (утв. Госкомсвязи РФ 05.06.1998). По состоянию на ноябрь 2007 года.

Общие положения.

Эксплуатационно-техническое обслуживание линейных сооружений ВОЛС должно обеспечивать их бесперебойную и качественную работу. В системе связи линии являются наиболее ответственным звеном, определяющим надежность всей системы в целом. Общее руководство эксплуатационно-техническим обслуживанием линейных сооружений электросвязи в странах СНГ осуществляют министерства или государственные комитеты связи.

Эксплуатационно-техническое обслуживание ВОЛС организуется по территориально-производственному принципу.

Техническая эксплуатация магистральных ВОЛС в России осуществляется ОАО «Ростелеком».

Техническая эксплуатация внутризоновых ВОЛС координируется акционерным обществом «Россвязьинформ» через эксплуатационно-технические узлы связи (ЭТУС) и районные узлы электросвязи (РУЭС).

На крупных ГТС эксплуатацией межстанционных ВОЛС занимаются специальные участки (бригады), а на ГТС с небольшим числом межстанционных ВОЛС — персонал линейно-кабельных цехов (ЛКЦ), который обслуживает и электрические кабельные линии связи.

Структура, функциональные обязанности и взаимоотношения эксплуатационных предприятий (организаций) определяются типовыми положениями, правилами и инструкциями. Каждое структурное подразделение, осуществляющее техническую эксплуатацию ВОЛС, должно иметь типовое положение, а технический персонал — должностные инструкции, в которых определяются подчиненность, обязанности, ответственность и взаимоотношения с другими подразделениями или работниками.

Для контроля за работой первичной сети и обеспечения бесперебойного действия связи по трактам и каналам создана система оперативного управления. Подразделение оперативного управления осуществляет сбор и анализ информации о состоянии линий связи, планирует профилактические измерения и дает разрешение на ремонт кабеля с выключением линейного тракта.

Все магистральные и внутриобластные (внутризоновые) кабельные линии, а так же магистральные соединительные линии ГТС имеют определенную нумерацию. Нумерация присвоена также промежуточным и оконечным станциям.

На магистральных и зонавых сетях основным производственным подразделением является кабельный участок (КУ). В большинстве случаев кабельный участок в административном отношении объединяется с обслуживаемым регенерационным пунктом и называется ЛТЦ. Штат кабельного участка возглавляет техник, который является организатором, а в ряде случаев и исполнителем необходимых работ. В технических узлах магистральных связей в основном распространен централизованный метод обслуживания линий, в меньшей степени — децентрализованный (участковый).

На городской телефонной сети техническую эксплуатацию осуществляют линейные цехи, комплектуемые из бригад кабельщиков-спайщиков и электромонтеров канализационных сооружений. Кроме того, имеются группы электроизмерителей и учета. Бригады кабельщиков-спайщиков проводят ремонт кабельных сооружений и устраняют кабельные повреждения. За каждой бригадой кабельщиков-спайщиков закрепляется отдельный участок кабельной сети, за которую бригада несет полную

ответственность. Контроль за работой кабельщиков-спайщиков осуществляют электромеханики.

На ВОЛС производится как текущий, так и капитальный ремонт. Текущий ремонт включает сравнительно небольшие работы по предохранению сооружений от преждевременного износа и возникновения повреждений. Например, на ГТС, как правило, периодичность проведения осмотра и текущего ремонта для кабелей — 1 раз в год, для кабельных вводов в здание — 1 раз в 3 года. При капитальном ремонте сменяются изношенные части и конструкции сооружений или заменяются более прочными и экономичными, улучшающими эксплуатационные возможности объекта. Кабельные сооружения капитально ремонтируются согласно установленной периодичности.

Основной задачей технической эксплуатации ВОЛС является обеспечение их качественной и бесперебойной работы. Бесперебойная работа ВОЛС достигается постоянным техническим надзором за их состоянием, систематическим выполнением профилактических мероприятий по предупреждению повреждений и аварий, своевременным устранением возникающих неисправностей и проведением необходимых дополнительных работ.

Для повышения эффективности технической эксплуатации ВОЛС проводится систематический анализ состояния действующих оптических линейных трактов, своевременно выявляются причины и характер станционных и линейных повреждений, учитывается длительность перерывов связи, накапливаются статистические данные о работе ВОЛС. С этой целью эксплуатационные предприятия ведут производственную документацию: техническую и оперативно-техническую.

Техническая документация на ВОЛС состоит из электрических паспортов, рабочей и монтажной документации, паспортов телефонной канализации, трассы, оборудования, приборов и механизмов, а также других нормативных документов.

В состав оперативно-технической документации входят протоколы измерений и контроля параметров передачи ВОК (затухание, дисперсия, распределение неоднородностей ОВ по длине) и линейных регенераторов (коэффициент ошибок, мощность излучения и др.) по отдельным регенерационным участкам; данные о повреждениях и авариях и их устранении; документация об охранной работе на ВОЛС и др.

Контроль за техническим состоянием оптического линейного тракта ВОСП осуществляется автоматизированным способом (система телеобслуживания), что позволяет прогнозировать и предотвращать аварийные ситуации на ВОЛС, сокращать затраты на профилактические работы. В современных ВОСП системы телеобслуживания разработаны на базе микропроцессорной техники и микро ЭВМ.

Эксплуатационно-технические требования к ВОЛС.

Техническое состояние и эксплуатационное обслуживание кабельных линий должно обеспечить бесперебойное высококачественное действие

сооружений связи, их максимальную долговечность. Кабели, кабельная арматура, оборудование, устройства защиты и другие сооружения по своим механическим и электрическим характеристикам должны соответствовать действующим государственным стандартам ГОСТ, а при их отсутствии — ведомственным ОСТ или техническим условиям. Все сооружения и устройства должны удовлетворять требованиям охраны труда, техники безопасности и промсанитарии.

На склонах оврагов и берегов рек во избежание размывов и оползней грунт по трассе должен быть закреплен (дерном, замощением и т.п.). Трасса кабеля должна проходить на безопасном расстоянии от обрывистых склонов оврагов и берегов рек; в необходимых случаях следует принять меры, исключающие возможность оползней и обвалов. На всем протяжении трассы поддерживается нормальная глубина залегания кабеля.

При расширении дорог и устройстве усовершенствованных дорожных покрытий (асфальт, бетон) кабель прокладывают в телефонной канализации или перекладывают в другое место. На пересечениях трасс существующих кабелей с шоссевыми дорогами, съездами с них, трамвайными путями и т.п. кабели прокладывают в трубах, причем для резерва прокладывают дополнительную трубу. На пересечениях судоходных и сплавных рек, а также несудоходных и несплавных рек глубиной до 6 м кабели должны быть заглублены в дно. Глубина залегания определяется проектом. На водохранилищах и озерах за пределами судового хода, а так же на несудоходных и не сплавных реках глубиной более 6 м кабели могут быть проложены без заглубления. Место перехода должно быть выбрано на прямолинейном участке реки. При пересечении трассой кабеля мелиоративных каналов кабели заглубляют в дно канала или защищают бетонными плитами.

Переходы магистральных линий через судоходные и сплавные реки должны выполнять в соответствии с рекомендациями.

При сближениях и пересечениях с другими подземными и надземными сооружениями расстояние от последних до кабеля должно соответствовать установленным нормам.

Замерные столбики устанавливают на таком расстоянии друг от друга, чтобы в зоне прямой видимости было не менее двух столбиков, а проведенная между ними визирная линия проходила параллельно трассе кабеля. На прямых участках трассы столбики устанавливаются через 250-300 м. Для фиксации трассы ВОЛС кроме замерных столбиков могут использоваться и другие маркирующие приспособления и устройства.

Кроме замерных и указательных столбиков в наиболее уязвимых местах трассы устанавливаются предупредительные знаки. Знаки устанавливаются на пересечениях с другими подземными сооружениями (водопровод, канализация, кабели, газопровод), вблизи карьеров, на пересечении каналов, в местах, где намечается проведение строительных работ и т.п. Кроме того, предупредительные знаки устанавливаются на загородных участках трассы на определенном расстоянии друг от друга в пределах прямой видимости.

Земляную насыпь (обваловку) наземных частей подземных НУП или НРП обкладывают дерном или засевают травой. Вокруг НУП или НРП делают отмостки, а у входа в их наземную часть — бетонную или гравийную дорожку.

Организация технического обслуживания ВОЛС

Основой технической эксплуатации является техническое обслуживание. Эксплуатационно-техническое обслуживание ВОЛС предусматривает выполнение эксплуатационным персоналом следующих основных функций:

- охранная работа;
- техническое обслуживание и профилактика;
- контроль за техническим состоянием;
- ремонт;
- аварийно-восстановительные работы;
- реконструкция;
- измерение параметров;
- защита ОК с металлическими покровами от внешних влияний;
- контроль герметичности ОК.

Техническое обслуживание ВОЛС обеспечивает:

- бесперебойное действие всех обслуживаемых сооружений, а также подготовку их к работе в особо сложных условиях;
- содержание всех сооружений в пределах действующих норм и технических условий, а также всемерное улучшение их технического состояния;
- четкое выполнение действующих правил, руководств и инструкций по вопросам технической эксплуатации;
- повышение рентабельности предприятий, систематическое снижение трудовых и материальных затрат на содержание обслуживаемых сооружений;
- внедрение новой техники, передовых методов и научной организации труда;
- ведение эксплуатационно-технического учета;
- проведение разъяснительной работы по обеспечению сохранности линейных сооружений.

В зависимости от характеристики трассы кабельной линии, наличия и состояния дорог в разное время года, технической оснащенности участка и т. п. применяются следующие методы организации обслуживания линейных сооружений ВОЛС: централизованный, децентрализованный (участковый) и комбинированный.

Централизованный метод предполагает сосредоточение всего персонала кабельщиков-спайщиков в месте дислокации КУ, моторизованный осмотр трассы, ремонт и профилактику специализированными бригадами, использование радиостанций для связи бригад с КУ.

Децентрализованный метод применяется в случае, когда невозможно организовать моторизованный осмотр трассы. При этом подлежащая обслуживанию трасса разбивается на участки, на каждом из которых, т.е. в непосредственной близости, дислоцируется персонал.

Комбинированный метод предполагает организацию обслуживания одной части трассы централизованно, а другой — участковыми монтерами.

Содержание кабельных линий связи включает в себя техническое обслуживание и ремонт.

Техническое обслуживание подразделяется на текущее (повседневное и периодическое) и планово-предупредительное.

При текущем и планово-предупредительном обслуживании осуществляется:

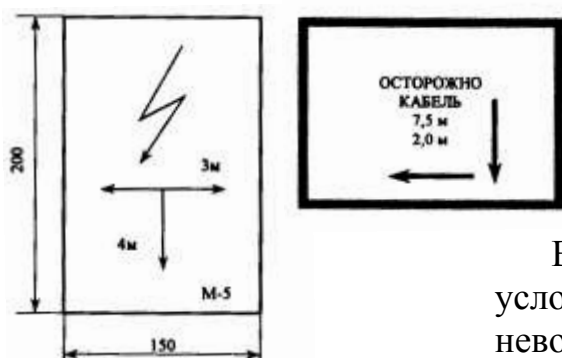
- технический надзор за состоянием трассы и выполнение правил охраны средств связи;
- технический надзор за всеми сооружениями и действием устройств автоматики, сигнализации и телемеханики;
- проведение профилактических работ;
- контроль за электрическими и оптическими характеристиками кабеля;
- устранение выявленных неисправностей;
- обеспечение аварийного запаса кабеля, арматуры и материалов (в том числе кабеля облегченной конструкции) для быстрого устранения повреждений на линии;
- содержание в исправном и работоспособном состоянии механизмов, транспорта, приборов, приспособлений, инструментов и спецодежды, необходимых для проведения планово-профилактических и аварийно-восстановительных работ;
- устранение аварий и повреждений;
- проведение охранно-разъяснительных работ;
- установка предупредительных знаков;
- подготовка линейных сооружений к работе в зимних условиях и в период паводков;
- ведение технического учета и паспортизации;
- предотвращение повреждений, связанных с выполнением работ по подрыву льда, раскопке грунта, очистке дна водоемов, строительству сооружений в зоне кабельной линии.

При осуществлении технического надзора в процессе эксплуатации необходимо:

- оповещать местные органы власти, организации, предприятия и стройки, на территории или вблизи которых проходит трасса, о месте прокладки кабеля и о необходимости выполнения ими правил сохранности средств связи;
- проводить разъяснительную работу среди населения, работников строительных и других организаций и предприятий, расположенных по трассе кабельной линии, о соблюдении мер предосторожности при работах в охранной зоне кабеля;

- вручать уведомления этим организациям и частным лицам о прохождении подземных кабелей с предупреждением об ответственности за сохранность кабеля при выполнении работ;
- устанавливать предупредительные знаки в местах сближения кабеля с другими наземными и подземными сооружениями и в зонах ожидаемых строительных работ;
- осуществлять непрерывный надзор в местах производства земляных и других работ в охранной зоне кабеля и принимать меры его защиты от повреждений;
- предотвращать размывы и обвалы грунта по трассе кабеля;
- следить за состоянием замерных столбиков, сигнальных и предупредительных знаков, КИП и других устройств и устранять замеченные недостатки.

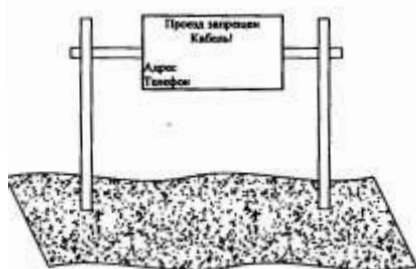
Для обозначения на местности кабельной трассы и муфт, а также запрещения в охранной зоне ОК несогласованных с эксплуатационными организациями раскопок и других работ на трассе устанавливаются железобетонные замерные столбики, предупредительные указательные знаки, плакаты и шлагбаумы. Замерные столбики размещаются на междугородных линиях на расстоянии 0,1 м от кабеля с полевой стороны в местах монтажа муфт, на поворотах трассы, на прямолинейных участках трассы на расстоянии один от другого не более 250—300 м, на переходах через водные преграды вблизи выхода кабеля из воды, а также на пересечениях с автомобильными и железными дорогами, подземными коммуникациями разного назначения, с воздушными и кабельными линиями. Установка замерных столбиков на пахотной земле недопустима. В таких случаях они выносятся в направлении дороги пахотной или окультуренной земли и устанавливаются в местах, где обеспечивается их целостность. Расстояние от замерного столбика к муфте обозначается на лицевой стороне столбика и регистрируется в паспорте трассы кабельной магистрали.



В населенных пунктах, где по местным условиям установка замерных столбиков невозможна, для обозначения мест расположения муфт на стенах домов, оград или других постоянных сооружений крепятся указательные знаки с обозначением номера муфты и расстояния к ней.

Для обозначения пересечений и сближении трассы ВОЛС с воздушными ЛЭП, связи и проводного вещания, расположенных от кабеля на расстоянии меньше половины высоты опоры, на опорах устанавливают плакат с обозначением расстояния к кабелю. Плакат прикрепляется к опоре со стороны проложенного кабеля.

В местах проведения земляных работ, а также в других опасных местах устанавливаются типовые предупредительные знаки.



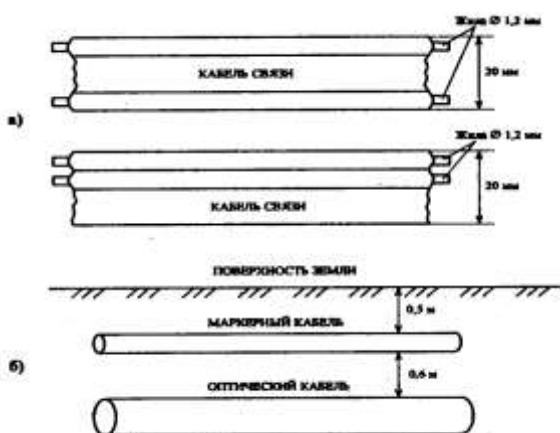
Для запрещения постоянных и временных несогласованных проездов и пересечений трасс ВОЛС транспортными средствами устанавливаются шлагбаумы.

Для предупреждения судоводителей о пересечении судового хода подводным кабелем (в этом месте запрещается пользоваться якорями, лотами, цепями-волокушами, проводить землечерпальные работы без согласования с эксплуатационными предприятиями связи) на берегах устанавливаются запрещающие информационные знаки: «Якорь не бросать!». Запрещающий знак состоит из сигнального щита и



опоры для его крепления.

Сигнальный щит изготовлен в форме диска диаметром 150, 200 или 300 см. Диск имеет белый цвет и красную окантовку, символ якоря черного цвета перечеркнут диагональю красного цвета. Ночью или при плохой видимости этот знак освещается часто мигающим желтым сигнальным светом.



Как отмечалось выше, для обозначения на местности трассы ВОЛС с кабелем без металлических элементов используются кроме указательных маркерных знаков также мерные ленты или кабель, пассивные маркеры и др.

Планирование, контроль и обеспечение работ по технической эксплуатации ВОЛС.

Работы по текущему и капитальному ремонту ВОЛС выполняются согласно годовому производственному плану, утвержденному техническим директором предприятия связи. При составлении этого плана учитываются: техническое

состояние линейных сооружений и аппаратуры ВОЛС по данным их осмотров, плановых и контрольных измерений электрических и оптических характеристик, а также записей в журналах технического обслуживания, периодичность текущего ремонта по отдельным видам сооружений и аппаратуры, сезонность и очередность работ. На основании этого плана составляются квартальные и месячные планы. В них указываются: наименования и сроки выполнения работ; бригады, которые будут выполнять работы, даты выполнения работ. В квартальном плане капитального ремонта, кроме того, указывается сметная и фактическая стоимость работ. Сооружения и аппаратура, подлежащие капитальному ремонту в данном году, не включаются в план текущего ремонта этого года. Годовой производственный план предусматривает материально-техническое обеспечение всех подлежащих выполнению работ.

До начала работ квартальные планы обсуждаются на производственных совещаниях работников линейных и аппаратных подразделений и доводятся до каждого исполнителя.

Контроль работ, например, на ГТС контроль за работой бригад кабельщиков-спайщиков и монтеров по эксплуатации кабельной канализации, осуществляется электромехаником или другим лицом, определенным инструкциями и положениями предприятия связи. При устранении повреждения бригадир кабельщиков-спайщиков по прибытии на каждый новый участок работы сообщает по телефону в бюро ремонта о своем местонахождении и выполняемой работе. Не реже одного раза в день электромеханик посещает места работ подчиненных ему бригад, проверяет организацию и ход работ и, в случае необходимости, оказывает им помощь. Он должен присутствовать на месте работ при выполнении кабельными и канализационными бригадами особо опасных работ, аварийных или сложных работ. Кроме того, он выборочно контролирует качество выполнения работ, проверяет правильность заполнения рапортов и, в случае необходимости, производит контрольный обмер. Контроль за работой электромехаников осуществляет старший электромеханик. Электромеханик в рабочее время регулярно сообщает по телефону в кабельно-канализационный участок или в бюро ремонта о своем местонахождении.

Учет работы кабельщиков-спайщиков ведется следующим образом. После устранения повреждения бригадир кабельщиков-спайщиков указывает объем работ в наряде на исправление кабеля и сдает наряд электромеханику. Бригады монтеров (кабельщиков-спайщиков), работающие по текущему ремонту кабельно-канализационных сооружений, ежедневно заполняют рапорты, в которых отчитываются о проделанной работе. Электромеханики ежедневно записывают в тетрадь, где работают подчиненные им бригады и какую работу они выполняют.

Расход материалов для выполнения работ приводится в справочной документации, разрабатываемой соответствующими предприятиями связи и утвержденной вышестоящей организацией. Годовая заявка на материалы и оборудование для кабельно-канализационного участка составляется

руководителем участка в соответствии с планом работ. Ответственными за хранение инструментов и материалов, за расходование их в соответствии с установленными нормами и сроками службы являются бригадиры. Правильность списания материалов проверяется электромеханиками по рапортам. Аварийный запас материалов и инструментов, оборудования и приспособлений должен храниться в специальном помещении кабельно-канализационного участка.

Аварийный запас материалов и оборудования должен соответствовать нормам, приведенным в нормативной документации.

Кабельно-канализационный участок должен обеспечиваться: оборудованными монтерской и кабельной мастерскими, сушилками спецодежды, шкафчиками для хранения инструментов, чистой и рабочей одеждой, местом для приема пищи, душевыми кабинами, транспортом для перевозок к месту работы и обратно, оборудованными на линии опорными пунктами с возможностью хранения материалов, инструмента и лестниц.

Руководство кабельно-канализационного участка должно обеспечить выполнение правил техники безопасности. Инженерно-технические работники ежегодно в первом квартале должны проверять знания работников участка правил ТБ при работе на кабельных линиях передачи, оформлять результаты этих проверок с выдачей соответствующих удостоверений. Один раз в квартал должна производиться проверка инструментов, сварочных аппаратов ОВ, приставных лестниц и всего инвентаря, находящегося у работников КУ. Во время кабельных работ руководитель работ обязан наблюдать за точным выполнением правил ТБ подчиненными ему кабельщиками-спайщиками (монтерами) и принимать меры к ограждению их и самого себя от несчастных случаев.

Технический учет и паспортизация ВОЛС.

Основной задачей технического учета на ВОЛС является обеспечение полного соответствия действующих сооружений технической документации и паспортизации. Работы по техническому учету и паспортизации линейных сооружений выполняет группа (отдел) технического учета, которая подчиняется непосредственно главному инженеру (техническому директору) соответствующего предприятия связи. В составе группы (отдела) технического учета, как правило, организуются две подгруппы: учета загрузки линейных сооружений и фиксации линейных сооружений. Например, на ГТС первая подгруппа производит: учет загрузки ОК; подготовку данных для включения новой аппаратуры МСП и перестановок; выдачу справок о возможности включения и перестановок ВОСП на оптических кабелях; предоставление свободных исправных ОВ для замены поврежденных и организации обходных связей; составление списков (ведомостей) переключений кабельных сооружений на новые линейные сооружения; плановые сверки соответствия заведенной документации с натурой и обновление износившейся технической документации.

Вторая группа осуществляет: ведение технической документации по учету и паспортизации линейных сооружений ВОСП; внесение изменений в

формы документации, происшедших в процессе эксплуатации; плановую (профилактическую) сверку имеющейся на ГТС технической документации и паспортизации с фактическим положением (натурой) на линейных сооружениях; участие в приемке новых линейных сооружений ВОЛС и фиксацию их в соответствующих формах паспортизации и технической документации; подготовку и выдачу данных для проектирования, а также согласование проектов на выполнение работ по расширению линейных сооружений ВОСП, подготовку и выдачу условий проведения земляных работ посторонними организациями в охранных зонах, где имеются линейные сооружения ГТС, выдачу линейному персоналу необходимых сведений о линейных сооружениях; обновление износившейся технической документации и форм паспортизации.

Работники группы (отдела) техучета несут ответственность за качество заполнения форм технического учета и паспортизации, их полное соответствие натуре, а также правильность проводимых согласований. Группа техучета обеспечивается специальными шкафами для хранения технической документации, необходимым количеством форм технической документации и паспортизации, чертежными приспособлениями и рулетками.

Выдача чертежей и другой документации производится только с разрешения технического директора сети (узла).

При сдаче в эксплуатацию вновь построенных линейных сооружений ГТС строительная организация передает телефонной сети исполнительную документацию, технический проект и рабочие чертежи на строительство с внесенными в них в период строительства изменениями и дополнениями, которые были ранее согласованы с ГТС. Соответствие выполненных работ представленным чертежам заверяется подписью ответственных лиц и штампом строительной организации. Работники группы техучета сверяют полученную исполнительную документацию с натурой и ставят печать о соответствии чертежей построенным сооружениям.

На основании сверенной с натурой документации работники группы технического учета заводят техническую документацию и паспорта. Техническая документация и паспорт на линии заводятся в течение одного месяца, а на канализационные сооружения — в течение двух месяцев.

При сдаче в эксплуатацию результатов работ по устройству или переустройству линейных сооружений, проведению ремонтных работ, вызвавших изменение состава сооружений, составляется инвентарная справка. На ее основании группа техучета вносит коррекцию в техническую документацию.

Литература.

1. Никитин Борис Константинович. Современные технологии и организация строительства ВОЛС: учебное пособие / В.С. Иванов, Б.К. Никитин, Р.Я. Пирмагомедов; рец.: Т. И. Васильева, Б. Г. Осипов; Федеральное агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального

образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2015. - 126 с. – (100 экз.).

2. Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации направляющих систем электросвязи. Учебное пособие для вузов. Б.К.Никитин, Л.Н. Кочановский, СПб ГУТ, 2011 г.
3. Передаточные характеристики оптических волокон. Учебное пособие для вузов. С.Ф. Глаголев, В.С. Иванов, Л.Н. Кочановский СПб ГУТ, 2005 г.
4. Оптимизация линий связи первичных сетей. Учебное пособие для вузов. С.Ф.Глаголев, Б.К.Никитин СПб ГУТ, 2005 г.
5. Конструкция, прокладка, соединение и защита оптических кабелей связи //Рекомендации МСЭ-Т, Женева, 1994 г.
6. Основы проектирования сооружений связи. А.И. Овсянников, В.А. Колесников, М.К. Цибулин. М. Радио и связь, 1991 г.
7. Гауэр Д. Оптические системы передачи. - М.: Радио и связь, 1989. – с.505.
8. Б.Д. Носков. Строительство волоконно-оптических линий с прокладкой кабелей в пластмассовых трубопроводах. Автоматика, телемеханика и связь, 1997.

Раздел РПД 2. Рассматриваются методики определения требуемых эксплуатационных параметров ВОК при различных вариантах строительства - подземные способы, подводные, воздушные.

Методы измерений и приборы, используемые в процессе строительства и эксплуатации.

Измерения параметров ВОСП в проходящем излучении

Классификация измерений

В процессе строительства и эксплуатации ВОЛС проводятся следующие виды измерений:

Измерения в процессе строительства

- ◆ входной контроль;
- ◆ оценка качества строительных работ с целью доведения параметров до установленных нормативов;
- ◆ приемно-сдаточные испытания.

Измерения в процессе эксплуатации

- ◆ профилактические измерения;
- ◆ аварийные измерения;
- ◆ входной контроль;
- ◆ контрольные измерения после аварийно-восстановительных работ

Входной контроль производится перед проведением строительных и ремонтных работ, связанных с заменой кабеля и прочих компонентов ВОЛС. В ходе этих измерений контролируется качество строительных длин кабеля и других компонентов. При входном контроле с помощью оптического тестера (мультиметра) измеряют вносимое затухание всех ОВ и по известной строительной длине рассчитывают коэффициенты затухания, измеряют с помощью рефлектометра потери в контрольных сварках ОВ между собой. Для паспортизации строительной длины используют результаты измерений вносимого затухания и регистрируют рефлектограммы всех ОВ строительной длины с двух сторон.

Оценка качества строительных работ и контрольные измерения после аварийно-восстановительных работ включают измерения с помощью оптического тестера (мультиметра) вносимого затухания всех ОВ на смонтированных или отремонтированных участках, двухсторонние измерения с помощью оптического рефлектометра потерь в смонтированных соединениях ОВ и ремонтных кабельных вставках. Для паспортизации построенного или отремонтированного кабельного участка используют результаты измерений вносимого затухания и регистрируют рефлектограммы всех ОВ кабельного участка с двух сторон.

Приемно-сдаточные испытания и профилактические измерения включают те же измерения и предполагают паспортизацию построенного кабельного участка или внесение в существующий паспорт результатов профилактических измерений.

Аварийные измерения проводятся для определения характера повреждения и расстояния до него. Для аварийных измерений обычно используется оптический рефлектометр, которым проводят двухсторонние измерения. Иногда могут использоваться другие методы, например, использующие мостовые или трассо-поисковые приборы для определения расстояния до обрыва или понижения сопротивления изоляции в проводниках дистанционного питания, металлических влагозащитных оболочках, бронепокровах и т.п.

Для определения параметров ВОСП проводят различные измерения в проходящем и рассеянном свете. В проходящем свете проводятся измерения следующих величин:

- мощности и спектрального состава оптического излучения источников;
- параметров фотоприемных устройств;
- энергетического запаса на регенерационном участке;
- вносимого затухания на кабельном участке;
- среднего коэффициента затухания;
- коэффициента ошибок;
- параметров формы оптических импульсов.

Для измерения параметров компонентов ВОЛС и параметров ВОЛС в целом нужны следующие оптические средства измерения:

- Измерители оптической мощности,
- Измерительные источники излучения,
- Анализаторы оптического спектра,
- Оптические аттенюаторы,
- и электрические приборы:
- широкополосный осциллограф,
- измеритель коэффициента ошибок или сетевой анализатор трафика.

Измерители мощности оптического излучения.

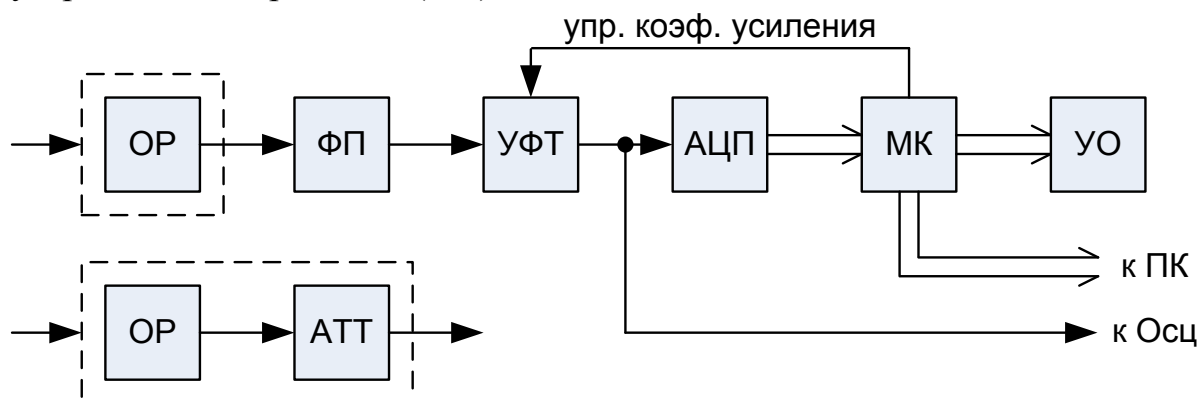
Мощность оптического излучения P может измеряться в единицах мощности (Вт) или в логарифмических единицах p (дБм) по отношению к мощности 1 мВт. Для измерения мощности излучения используют специальные приборы - измерители оптической мощности или оптические ваттметры, которые могут использоваться отдельно или входить в состав комплектов оптического тестера или в состав мультиметров.

Измерители оптической мощности используются для определения мгновенных, средних и максимальных значений мощности на выходах излучателя или в различных точках волоконно-оптического линейного тракта (ВОЛТ).

Измеритель оптической мощности состоит из следующих функциональных узлов:

- входного оптического разъема (ОР) или ОР с аттенюатором (АТТ);
- фотоприемника (ФП), который преобразует мощность оптического излучения в электрический сигнал (обычно фототок);

- усилителя фототока (УФТ), на выходе которого с помощью осциллографа можно наблюдать сигнал, пропорциональный мгновенному значению мощности;
- аналого-цифрового преобразователя (АЦП);
- микроконтроллера (МК);
- устройства отображения (УО).



Структурная схема измерителя оптической мощности

Программное обеспечение МК позволяет проводить обработку цифрового сигнала с выхода АЦП, выполняя следующие функции:

- автоматическое управление коэффициентом усиления УФТ,
- вычисление среднего значения сигнала,
- определение максимального и минимального значений,
- логарифмирование,
- вывод информации на УО и персональный компьютер (ПК).

Существует большое разнообразие фотоприемников, например фотоэлементы, фотоумножители (квантовые приемники с внешним фотоэффектом), фотодиоды, фототриоды, фототиристоры (квантовые приемники с внутренним фотоэффектом), термоэлектрические, болометрические (тепловые приемники). В качестве ФП чаще всего применяют *p-i-n* фотодиоды (ФД). К ФД для измерителей оптической мощности предъявляется ряд требований.

ФД должен иметь минимальную фоточувствительную площадку, но достаточную для регистрации всего потока излучения, выходящего из источника излучения или ОВ.

Чувствительность ФД должна быть однородна по площади, а характеристика преобразования - линейной во всем диапазоне измеряемых мощностей. Чувствительность должна мало зависеть от температуры.

ФД должен обладать малым уровнем шума, низким порогом реагирования. Для этого он должен иметь малый уровень темнового тока, который возрастает с увеличением площади фоточувствительной площадки.

Наилучшими параметрами для измерителей мощности обладают ФД *p-i-n* структуры. Для длин волн до $\lambda = 1$ мкм обычно используют кремниевые ФД, для длин волн от 1 мкм до 1.65 мкм используют ФД на основе германия или на основе арсенида галлия, легированного индием.

Наилучшими параметрами: высокой линейностью, температурной стабильностью, широким динамическим диапазоном по линейности и по шумам (малый темновой ток) - обладают кремниевые *p-i-n* фотодиоды.

Измерители оптической мощности в ВОСП работают в широком динамическом диапазоне уровней от -85 дБм до 20 дБм. Их разрешающая способность обычно составляет 0.1 или 0.01 дБ, а погрешность измерения от 0.1 до 0.5 дБ. На нижнем пределе измерения погрешность измерения определяется шумами ФД и УФТ, а на верхнем пределе приходится бороться с перегрузкой ФД и УФТ. Эти требования не всегда удается сочетать в одном приборе. Поэтому существует широкая номенклатура измерителей мощности, ориентированных на измерения в определенном диапазоне мощностей. При уровнях входных мощностей более 3-10 дБм перед входом ФП устанавливают АТТ.

Чувствительность ФД обычно возрастает с увеличением длины волны. Измерение мощности излучения с заданной погрешностью возможно только на определенных длинах волн калибровки. Длину волны надо знать или уметь определять до измерения мощности. Обычно измерители оптической мощности имеют переключаемый вручную набор длин волн, на которых они откалиброваны.

В качестве примера приведем параметры измерителя мощности серии Топаз 3200. Изготовитель НПК «СвязьСервис» СПб. Длины волн калибровки 850, 1310, 1490, 1550 и 1625 нм, разрешающая способность 0.1 дБ, погрешность 0.4 дБ, диапазон измеряемых уровней оптической мощности -60 - +6 дБм (для модели 3210) и -40 - +20 дБм (для модели 3220).

Более совершенным изделием того же производителя является измеритель мощности серии Топаз-7200-А. Помимо указанных длин волн калибровки для серии Топаз 3200 он позволяет устанавливать любые длины волн калибровки в диапазонах 800-900 и 1210-1650 нм с шагом 5 нм. Разрешающая способность 0.01 дБ, погрешность 0.3 дБ, диапазон измеряемых уровней оптической мощности -85 - +6 дБм (для модели 7210-А) и -60 - +20 дБм (для модели 7220-А). При использовании специального источника оптического излучения может измерять затухание одновременно на 3-х длинах волн в реальном масштабе времени.



Внешний вид измерителей мощности Топаз 3200

Существуют также измерители - анализаторы оптической мощности с набором оптических фильтров, которые позволяют определять мощности в некотором спектральном диапазоне, используемом для систем связи CWDM(рис.12.3а) или DWDM (рис.12.3б).



Измерители – анализаторы оптической мощности для длин волн систем CWDM и DWDM.

Измерители оптической мощности в сочетании с другими приборами могут использоваться для определения параметров ФПУ ВОСП:

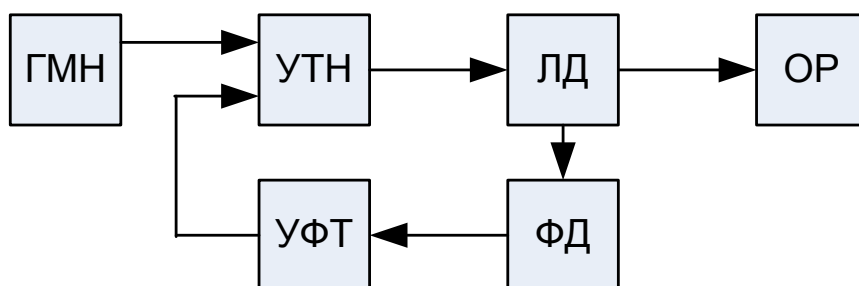
- чувствительности ФПУ $p_{\text{фмин}}$,
 - уровня перегрузки ФПУ $p_{\text{фмакс}}$,
 - динамического диапазона ФПУ $D_{\text{ф}}$
- и параметров регенерационного участка ВОСП:
- вносимого затухания $a_{\text{вн}}$,
 - энергетического запаса $\mathcal{E}_{\text{зап}}$.

Методы измерения вносимого затухания будут изложены ниже.

Измерительные источники излучения

Измерительные источники излучения предназначены для генерации высокостабильного излучения с известным спектром и стабильной мощностью. Совместно с измерителями мощности они используются для измерения затухания в отдельных оптических компонентах (разъемах, аттенуаторах, разветвителях и других), а также затухания на отдельных участках ВОЛТ.

Структурная схема стабилизированного по средней мощности одноканального лазерного источника включает генератор модулирующего напряжения (ГМН), усилитель тока накачки (УТН), ЛД, встроенный ФД, УФТ и выходной оптический разъем (ОР). ГМН обычно формирует прямоугольное напряжение со скважностью 2. Выбором частоты можно кодировать значение длины волны ЛД, для того чтобы измеритель мощности того же производителя автоматически выбрал длину волны калибровки. Обычно в источнике предусматривается также и режим стабилизации немодулированного излучения.



Структурная схема стабилизированного измерительного источника излучения

Измерительный источник излучения серии Топаз 3100 на две длины волны 1310 и 1550 нм, которые подаются на выход поочередно, источники не модулированы, выходной уровень не менее -4 дБм, ширина спектра 5 нм, нестабильность за 8 часов не более 0.25 дБ.

Измерительный источник излучения серии Топаз 3100 на три длины волны из перечня 850, 1300, 1310, 1490, 1550, 1625 и 1650 нм, которые подаются на выход поочередно. Источники могут быть идентифицированы измерителем мощности серии Топаз 7200, т.к излучение одного источника не модулировано, двух других модулировано частотами 270 и 2000 Гц. Выходной уровень излучения не менее -4 дБм, ширина спектра 5 нм, нестабильность за 8 часов не более 0.25 дБ.

Оптические тестеры.

Функции измерителя мощности и измерительного источника излучения объединяют в одном корпусе, практически без увеличения габаритов и массы. В качестве примера можно привести тестер серии Топаз-7300-А, который полностью заменяет измерительный источник серии Топаз-7100-А и измеритель мощности серии Топаз-7200-А.

Дальнейшее расширение функций оптического тестера реализовано в серии Топаз-7300-AL. Помимо всех функций, которые имеет Топаз-7300-A, он позволяет определять длину линии или расстояние до ее обрыва в диапазоне от 2-х м до 32 км, а также величину возвратных потерь в диапазоне от 10 до 50 дБ.

В автоматическом режиме Топаз-7300-AL при подключении к ВОЛТ с двух концов позволяет провести двухсторонние измерения на 3-х длинах волн вносимого затухания, возвратных потерь и длины линии за 20 с и сохранить их в памяти тестера.



Внешний вид измерительных источников излучения



Внешний вид оптических тестеров с расширенными возможностями

Анализаторы оптического спектра.

Для измерений спектров излучения источников применяют оптические анализаторы спектра. В сочетании источниками излучения они также могут использоваться для измерения спектральных характеристик оптических фильтров, мультиплексоров WDM и других оптических компонентов.

Выпускается значительное количество анализаторов спектра, как в виде отдельных приборов, так и в составе универсальных измерительных платформ.

К основным параметрам анализатора спектра относятся:

- диапазон анализируемых длин волн,
- разрешающая способность по длине волны,
- погрешность измерения длины волны,
- диапазон уровней измеряемой оптической мощности,
- погрешность измерения уровня мощности излучения.
- сервисные возможности по обработке спектрограмм в анализаторе и компьютере.

Внешний вид одного из лучших анализаторов спектра, разработанного и изготовленного компанией YokogawaAQ 6370. Его основные технические параметры приведены в таблице.



Внешний вид оптического анализатора спектра YokogawaAQ 6370

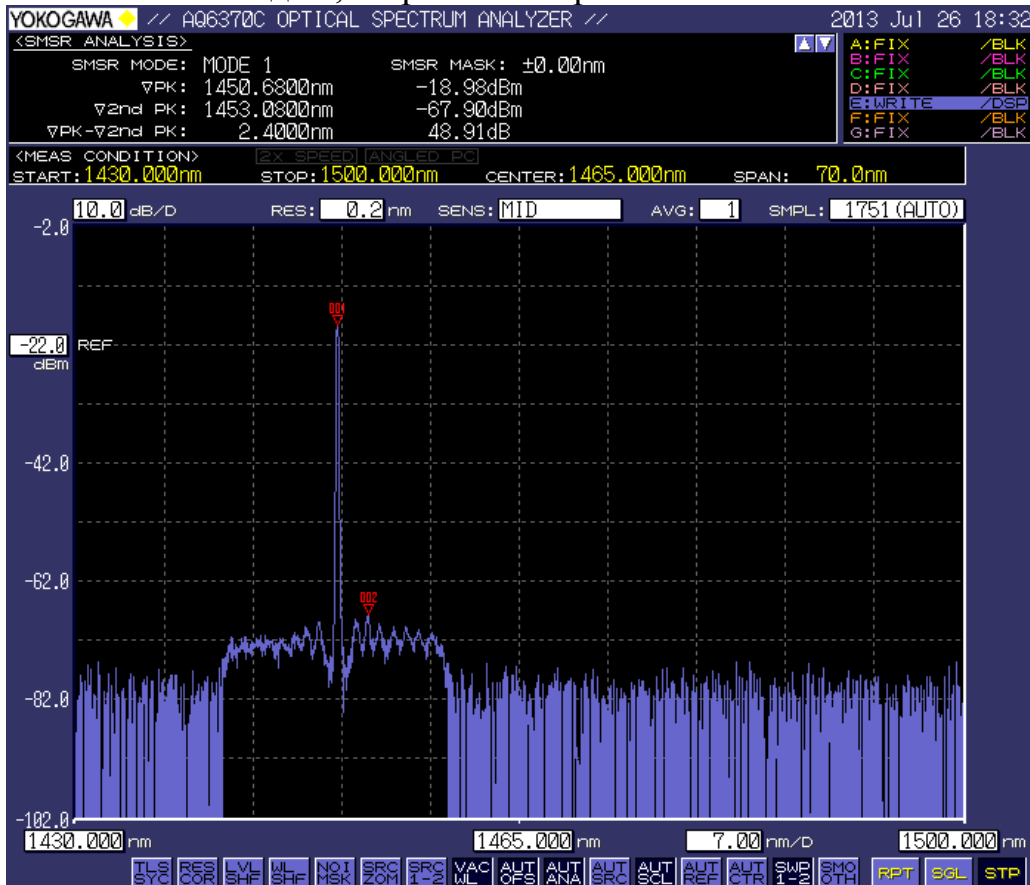
Основные технические параметры оптического анализатора спектра AQ6370.

Параметры анализатора спектра	Значение параметра
Диапазон анализируемых длин волн, нм	600 - 1700
Погрешность измерения длины волны, нм в диапазоне длин волн	
1520-1580 нм	±0.01
1580-1620 нм	±0.02
1450-1520 нм	±0.04
Другие волны	±0.1
Разрешающая способность по длине волны, нм	0.02
Диапазон измеряемой мощности, дБм в диапазоне длин волн 600-1700 нм	-90 - +20
Габариты, мм	426x221x459
Масса, кг	27

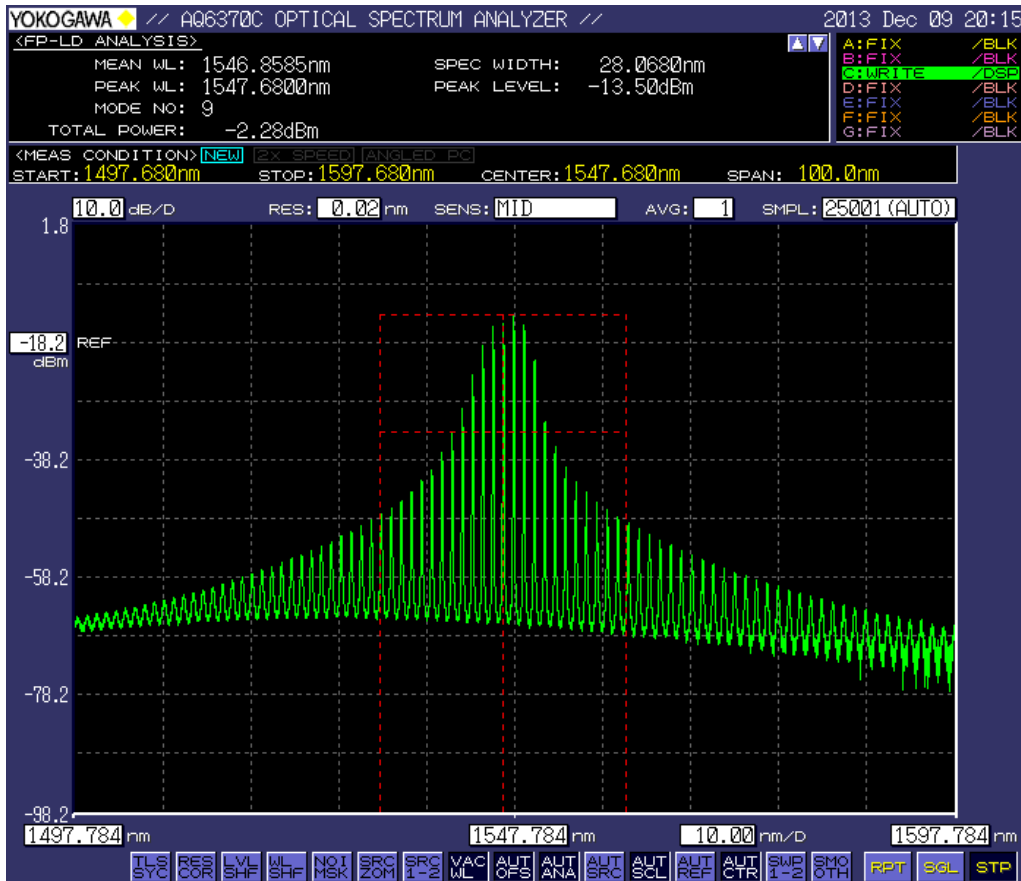
Приведем в качестве примеры результаты измерения с помощью анализатора спектра AQ 6370. Спектр излучения одномодового источника излучения с длиной волны 1450 нм, который прошел через мультиплексор OADM (ввода вывода). Хорошо видно, что канальный фильтр имеет полосу пропускания 20 нм. По спектрограмме и по результатам ее анализа, приведенным на экране анализатора можно получить исчерпывающую

информацию о нем. Средняя длина волны 1450.68 нм, ширина спектра излучения 2.4 нм.

Спектр излучения многомодового ЛД с резонатором Фабри-Перо. Видно, что на уровне -20 дБ ЛД генерирует 9 мод. Средняя мощность составляет -2.28 дБм, ширина спектра 28.7 нм.



Спектр излучения одномодового источника 1450 нм после прохождения мультиплексор OADM (ввода вывода)



Спектр излучения многомодового ЛД Фабри-Перо 1550 нм

Оптические аттенюаторы

Для проведения многих видов измерений и испытаний необходимы устройства для ослабления оптического сигнала, т.е. введения дополнительных потерь в линию. Для этого используются аттенюаторы с постоянным и регулируемым затуханием. На рынке представлены фиксированные оптические аттенюаторы разных типов: розетка-розетка FF - типа, розетка-коннектор FM - типа, шнуры, оконцованные коннекторами. Находят применение аттенюаторы с разъемами типов FC, SC, ST, LC с UPC и APC полировкой. Фиксированное вносимое затухание аттенюаторов обычно составляет 5, 10, 15, 20 дБ. Для создания затухания в аттенюаторах FF типа используют воздушный зазор, в FM – типа используют отрезок специального волокна.

В простейших регулируемых аттенюаторах затухание можно изменять с помощью изменения воздушного зазора в пределах 0-25 дБ с точностью 0.5 дБ. Недостатком всех аттенюаторов с воздушным зазором является низкий уровень возвратных потерь 14 дБ. Иногда это не допустимо.

В таблице приведены параметры фиксированных аттенюаторов FM типа, у которых возвратные потери составляют более 35 дБ.

Характеристики FM-аттенюатора SC/SM/APC (1~20dB).

Уровень вносимых затуханий, дБ	1/2/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14/15/16/18/20
Рабочая длина волны, нм	1250 -1650
Вносимый вибрационный и температурный дрейф, дБ	

в диапазоне изменения затухания		
1-10 дБ	±0.5	дБ
11-20 дБ	±1.5	дБ
Свыше 20 дБ	±2.0 дБ	
Обратные потери	АРС>55 дБ	
Максимальная мощность сигнала на выходе	250 мВт	
Типичные вносимые потери	<0.2 дБ	
Рабочая температура, °С	-25 ~+75	
Температура хранения, °С	-40 ~+85	

Для плавной регулировки вносимого в линию затухания можно использовать аттенюатор оптический измерительный, например, АОИ-3 с вносимым затуханием от 3 до 60 дБ, с дискретностью установки затухания 0.1 дБ и возвратными потерями не менее 35 дБ.



Внешний вид регулируемого аттенюатора АОИ -3.

Измерение параметров ФПУ

Для определения чувствительности ФПУ кроме измерителя оптической мощности используют оптический аттенюатор (АТТ) с регулируемым затуханием и измеритель коэффициента ошибок (ИКО-1) первого рода. ИКО-1 обнаруживает ошибки при поэлементном сравнении переданного и принятого сигналов. Схема измерения чувствительности ФПУ.



Схема измерения параметров ФПУ.

Предполагается, что штатное исследуемое ФПУ работает в комплекте со штатным передающим устройством ВОСП. На передающее устройство подается псевдослучайный сигнал от передатчика ИКО-1. С помощью оптического аттенюатора уменьшается уровень сигнала на входе ФПУ. При этом приемником ИКО-1 контролируется коэффициент ошибок $k_{\text{ош}}$, а измерителем оптической мощности определяется уровень средней мощности на входе ФПУ $p_{\text{ф}}$. За величину чувствительности ФПУ принимают уровень

сигнала $p_{\text{фмин}}$ на входе ФПУ, при котором $k_{\text{ош}}$ соответствует заданному уровню, например 10^{-9} .

Такая же процедура может использоваться для определения уровня перегрузки ФПУ $p_{\text{фмакс}}$. Однако при этом мы ищем не минимальный, а максимальный уровень входного сигнала, при котором коэффициент ошибок соответствует заданному уровню.

Динамический диапазон ФПУ определяется разностью полученных значений

$$D_{\text{ф}} = p_{\text{фмакс}} - p_{\text{фмин}}$$

Измерение энергетического запаса ВОЛТ

Под энергетическим запасом регенерационного участка ВОЛТ понимают величину возможного увеличения затухания участка, при котором коэффициент ошибок не превосходит допустимого значения.

Этот параметр может быть рассчитан по результатам измерений вносимого затухания $a_{\text{вн}}$ на регенерационном участке ВОЛТ, уровня выходной мощности излучателя $p_{\text{из}}$ и чувствительности ФПУ $p_{\text{фмин}}$:

$$\mathcal{E}_{\text{зап}} = p_{\text{из}} - a_{\text{вн}} - p_{\text{фмин}}$$

Можно также, зная результаты измерений уровня выходной мощности излучателя $p_{\text{из}}$ и результаты измерения параметров ФПУ, рассчитать максимально и минимально допустимые вносимые затухания на регенерационном участке ВОЛТ

$$a_{\text{внмакс}} = p_{\text{из}} - p_{\text{фмин}} \quad a_{\text{внмин}} = p_{\text{из}} - p_{\text{фмакс}}$$

При экспериментальном измерении энергетического запаса можно отказаться от использования измерителя оптической мощности, если использовать измерительный АТТ, включенный в ВОЛТ перед ФПУ или на выходе оптического передающего устройства. При измерении энергетического запаса величина затухания АТТ плавно увеличивается и при этом измеряется коэффициент ошибок. Величина энергетического запаса определяется затуханием аттенюатора, при котором значение коэффициента ошибок равно допустимой величине.

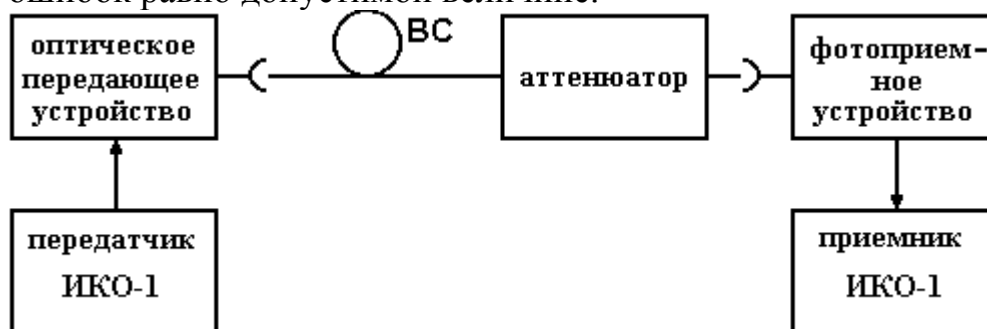


Схема измерения энергетического запаса.

Измерение затухания ВОЛТ и коэффициента затухания

Затухание a характеризует ослабление сигнала и измеряется обычно в логарифмических единицах: децибелах или неперах. При оптических измерениях затухание измеряют в соответствии со следующими выражениями:

$$a(\text{дБ}) = 10 \cdot \lg \frac{P_0}{P_l} \qquad a(\text{Hn}) = \ln \frac{P_0}{P_l}$$

где P_0, P_l - мощности сигнала на входе и выходе ОВ, ВОЛТ или любого компонента ВОЛТ. Отметим, что соотношение между децибелами и неперами при оптических измерениях отличается от принятых в электрических измерениях: $a(\text{дБ}) = 4.34 a(\text{Hn})$.

Для измерения затухания вносимого ВОЛТ или другими компонентами ВОЛС используют оптические тестеры, в виде комплектов, содержащих отдельный измерительный источник излучения с одной или несколькими длинами волн и измеритель мощности откалиброванный на длинах волн источника. В качестве примера можно привести ранее описанные источники излучения Топаз-3100 или Топаз-7100-А и измерители мощности Топаз-3200 или Топаз-7200-А.

Измерения вносимого затухания могут проводиться на следующих объектах:

1. катушки с ОВ,
2. компоненты ВОСП (оптические разъемы, патч-корды, аттенюаторы, разветвители и другие),
3. ОВ в строительных длинах ОК,
4. кабельные участки проложенных ВОЛС,
5. между розетками кроссов, патч-панелей локальных сетей.

В первых трех случаях источник и приемник излучения, а также вход и выход измеряемого объекта находятся в одном месте. Это упрощает процедуру измерения.

Метод измерения затухания ВОЛТ основан на последовательном измерении уровня мощности оптического излучения на выходе измерительного источника излучения (результат калибровки измерения p_0) и на выходе объекта измерения (результат измерения p_l) и расчете по выражению

$$a = p_0 - p_l.$$

Если длина линии L известна, то можно рассчитать средний коэффициент затухания

$\alpha = a/L$. Надо отметить, что источники излучения обладают временной нестабильностью, которая в первую очередь проявляется в изменениях уровня излучаемой мощности. Для уже рассмотренных излучателей нестабильность составляет 0.07 дБ за 15 мин и 0.25 дБ за 4 часа. Ясно, что если интервал между калибровкой и измерением минимален, то погрешность будет меньше. Для первых трех объектов полное время измерения можно уменьшить до единиц мин. Тогда погрешность за счет нестабильности можно уменьшить до одной-двух сотых дБ.

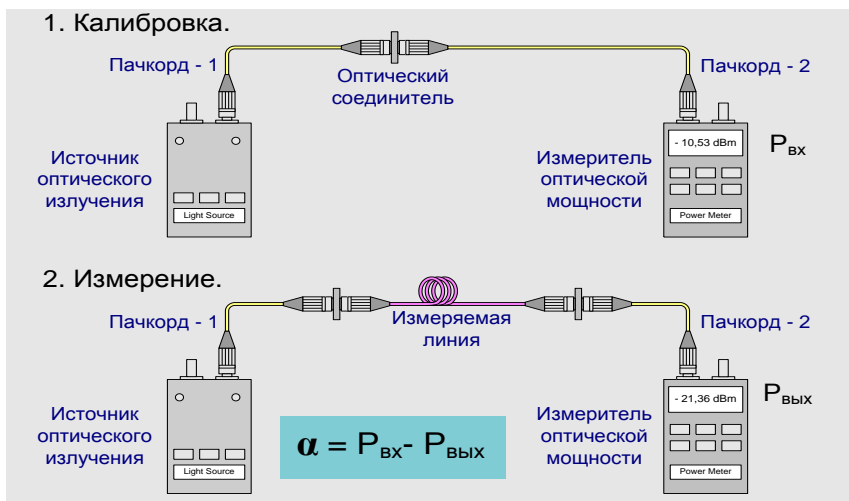


Схема измерения затухания вносимого ВОЛТ

Для четвертого и пятого объектов время между измерениями с помощью одного источника и приемника может быть большим: до десятков мин или даже нескольких часов. Самый большой интервал между калибровкой и измерением (несколько часов) возможен при измерениях на регенерационном участке магистральной сети, который может иметь протяженность 100 – 200 км.

Указанную погрешность от временной нестабильности источника можно значительно уменьшить, если использовать два комплекта оптического тестера или, что еще лучше, использовать два тестера, совмещающих функции излучения и измерения мощности. Можно использовать 2 тестера, например, ранее описанные оптические тестеры Топаз-7300-А или Топаз-7300-АL. В этих тестерах предусмотрена функция автоматической калибровки и измерения вносимого затухания в двух волокнах одновременно на 3-х длинах волн, отображения результатов на экране дисплея и передачи данных в компьютер. Время необходимое на это измерение не превышает 10 с. Использование таких тестеров повышает производительность измерений, уменьшает погрешность измерения, обусловленную временной нестабильностью источников излучения.



Внешний вид оптического телефона Топаз-2000

Проведение измерений на протяженной линии, как правило, осуществляют два человека. Для координации их действий используют устройства служебной связи (оптический телефон) по двум или по одному ОВ, которые своим динамическим диапазоном перекрывают всю длину участка регенерации на одномодовом ОВ.

Оптический телефон Топаз-2000 представляет собой цифровую систему передачи звукового сигнала по одному одномодовому ОВ на расстояние до 200 км при максимальном затухании 55 дБ. Для дуплексной связи используется одна длина волны (1310 или 1550 нм).

Некоторые оптические тестеры помимо измерения вносимого затухания могут выполнять также функцию оптического телефона.

Измерение коэффициента ошибок в ВОСП

Одним из наиболее важных интегральных параметров ВОСП является коэффициент ошибок, который служит экспериментальной оценкой вероятности ошибки в линейном тракте ВОСП.

Основными причинами ошибок являются флуктуационные шумы ФПУ и его перегрузка входным оптическим сигналом. Шумы ФПУ, которые определяются его схемой, типом ФП и скоростью передачи данных в ВОСП, приводят к уменьшению отношения сигнала к шуму на выходе ФПУ и определяют максимально допустимое затухание в линейном тракте при данной мощности излучателя. Перегрузка ФПУ приводит к возникновению межсимвольных искажений и увеличению вероятности ошибки. Межсимвольные искажения определяют минимально допустимое затухание в линейном тракте при данной мощности излучателя.

Вероятность ошибок при равновероятной передаче «единиц» и «нулей» можно представить в виде

$$P_{ош} = 0.5 \cdot [P(0/1) + P(1/0)],$$

где $P(0/1)$ - вероятность приема «0» при передаче «1» (вероятность пропуска «единицы»); $P(1/0)$ - вероятность приема «1» при передаче «0» (вероятность приема ложной «единицы»).

Коэффициент ошибок определяется отношением числа ошибочных символов m , зафиксированных за интервал времени измерения, к общему числу принятых символов n :

$$k_{ош} = \frac{m}{n}. \quad \text{В соответствии с международным стандартом на}$$

цифровые телефонные каналы связи в линии (Рекомендация *ITU-TG821*) протяженностью 2500 км допускается не более двух ошибок при передаче 10^7 бит информации. Это означает, что для каждых 10 км линии связи средняя вероятность ошибки должна поддерживаться на уровне $0.8 \cdot 10^{-9}$. В современных цифровых ВОСП максимальный коэффициент ошибок выбирается в пределах $10^{-9} \div 10^{-12}$.

Измерение коэффициента ошибок или контроль за его значениями необходимо при измерении параметров ФПУ и энергетического запаса

регенерационного участка ВОЛС. Ранее рассмотрены методы измерения этих параметров, предусматривающие определение коэффициента ошибок в линейном тракте.

Измерение коэффициента ошибок в цифровых ВОСП осуществляется двумя методами:

- побитным сравнением единичных элементов принятого цифрового сигнала с единичными элементами посланного измерительного цифрового сигнала от генератора псевдослучайной последовательности (ПСП);
- выявлением нарушений алгоритма формирования кода в принятом цифровом сигнале.

Приборы, в которых ошибки обнаруживаются при поэлементном сравнении переданного и принятого сигналов (первый метод), являются измерителями коэффициента ошибок первого типа ИКО-1. Измерение коэффициента ошибки методом посимвольного сравнения с помощью ИКО-1 предполагает обязательный перерыв связи и проводится в процессе пуско-наладочных, ремонтных и регламентных работ.

Приборы, в которых ошибки выявляются при обнаружении нарушений алгоритма кода в принятом сигнале (второй метод), являются измерителями коэффициента ошибок второго типа ИКО-2, входят в состав штатной аппаратуры ЦСП и позволяют проводить измерения коэффициента ошибок без прерывания связи. Принцип работы такого прибора (ИКО-2) основан на определении числа импульсов, нарушающих структуру линейного кода. Число нарушений, подсчитанное относительно общего числа импульсов, прошедших линейный тракт, определяет коэффициент ошибки.

Время, необходимое для измерения малых значений коэффициентов ошибок $k_{ош}$ может оказаться значительным. Требуемое время измерения $k_{ош}$ определенной величины с помощью ИКО-1 при побитным сравнением элементов переданного и принятого сигналов с заданной доверительной вероятностью p_d и относительной погрешностью измерений δ определяется выражением:

$$T_{изм} = \frac{k_d^2}{\delta^2 \cdot C \cdot k_{ош}}$$

где C - скорость передачи информации, бит/с; а значения k_d в зависимости от p_d приведены ниже в таблице.

Данные для расчета времени измерения

p_d	0,8	0,9	0,95
k_d	1,282	1,643	1,960

Измерения с помощью ИКО-1 проводятся двумя способами: «по шлейфу» и «по направлению». При измерениях «по шлейфу» генератор испытательного сигнала и управляемый им анализатор кодовой последовательности находятся на одном конце тракта, а «шлейф» создается либо в регенераторе, либо соединением соответствующих волокон. В случае измерения «по направлению» генератор испытательного сигнала и

анализатор находятся на различных концах тракта, при этом в анализаторе вырабатывается сигнал, аналогичный испытательному сигналу генератора и синхронный с входным сигналом.

Измерение параметров формы оптических импульсов

Параметры формы оптических импульсов на выходе излучателя в точке S и на входе ФПУ в точке R обычно измеряют с помощью глаз-диаграммы. Для контроля за формой импульса используют шаблоны, которые совмещают с глаз-диаграммой. Импульсы от тактового генератора (ТГ) с тактовой частотой ВОСП поступают на генератор псевдослучайной последовательности (ГПСП), управляющий источником излучения (ИИ). Оптические импульсы с помощью ФПУ преобразуются в напряжение, поступающее на вход Y широкополосного осциллографа (ОСЦ). На вход C синхронизации ОСЦ поступают импульсы от ТГ. Длительность развертки обычно выбирается равной двум периодам ТГ. При этом на экране одновременно можно наблюдать все возможные формы импульсов. Их количество определяется числом элементов в одном периоде ПСП, который выбирается в соответствии с используемой в ВОСП системой кодирования (и должен превышать наибольшее число подряд идущих единиц и нулей).

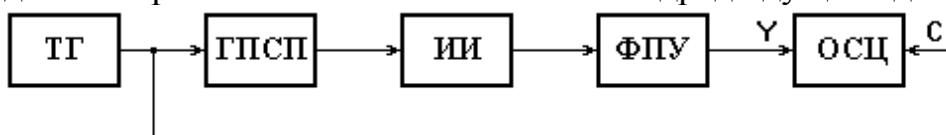
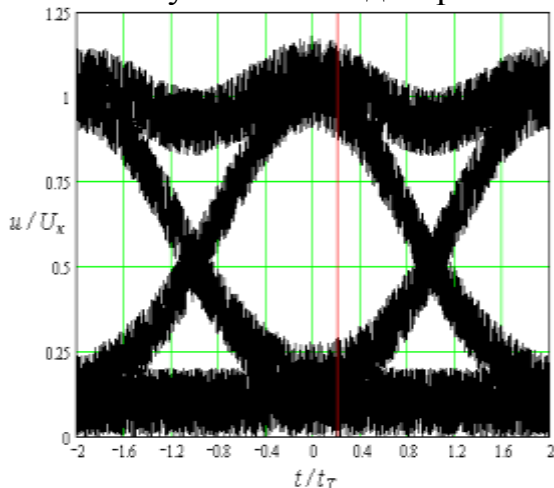


Схема получения глаз-диаграммы



Примерный вид глаз-диаграммы на экране широкополосного осциллографа.

Анализ глаз-диаграммы позволяет определять значительное количество параметров формы импульсов:

для излучателя в точке S :

- длительность и форму импульса,
- длительности переднего и заднего фронтов,
- относительную ширину глаз диаграммы,
- коэффициент гашения.

для приемника в точке R :

- длительность и форму импульса,

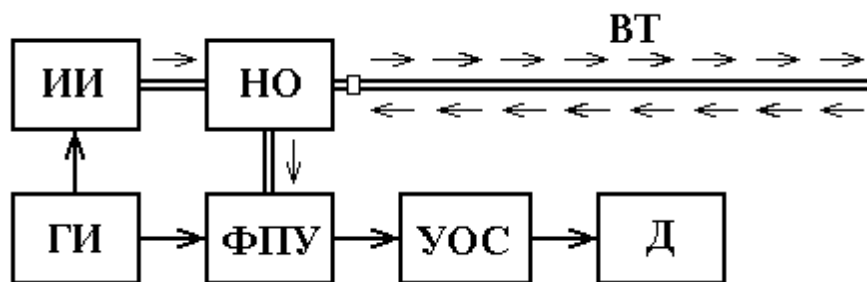
- длительности переднего и заднего фронтов,
- относительную ширину глаз диаграммы.

Сопоставление результатов измерения по глаз-диаграмме в точках S и R позволяет оценить дисперсионные искажения в линейном тракте (уширение импульса).

Измерения рассеянного в линейном тракте излучения.

Основы оптической рефлектометрии.

Наиболее универсальным и информативным методом измерений параметров ОВ, ОК и ВОЛТ является метод обратного рассеяния (МОР). Приборы, основанные на МОР, называются оптическими рефлектометрами (ОР). Впервые идею использования обратного рэлеевского рассеяния в кварцевых ОВ при их зондировании короткими оптическими импульсами для исследования ОВ предложили американские ученые Барноски и Персоник. Для импульсных ОР в зарубежной литературе принята аббревиатура *OTDR* (*OpticalTimeDomainReflectometer* - оптический рефлектометр во временной области).



Упрощенная структурная схема оптического рефлектометра ИИ - источник излучения; НО - направленный ответвитель; ВОЛТ - исследуемый волоконный тракт; ГИ - генератор импульсов; ФПУ - фотоприемное устройство; УОС - устройство обработки сигнала; Д - дисплей

Короткий оптический импульс мощного лазера через одно плечо направленного ответвителя (НО) поступает в исследуемое ОВ. Обратное на вход ОР приходят оптические импульсы, отраженные от локальных неоднородностей исследуемого ОВ. Их называют френелевскими отражениями. Через НО они поступают на вход ФПУ. В НО происходят потери при вводе излучения от ИИ в ВОЛТ и при выводе излучения из ВОЛТ на ФПУ. Коэффициент оптических потерь $K_{оп}$ обычно меньше 0.25. Если в ОВ вводится мощность P_0 , коэффициент отражения от неоднородности равен R , то мощность отраженного импульса P_r приходящего на вход ОР с учетом коэффициента затухания ОВ α и расстояния до неоднородности l составляет

$$P_r = P_0 R K_{оп} 10^{-\frac{\alpha l}{5}}.$$

Причем длительность отраженных импульсов без учета дисперсии будет равна длительности зондирующего импульса t_u . Временной интервал t между зондирующим и отраженным импульсами определяется

эквивалентным показателем преломления n_1 сердцевины ОВ и расстоянием l до неоднородности

$$t = \frac{2 \cdot l \cdot n_1}{c}.$$

Проходящий по ОВ зондирующий импульс рассеивается в любом сечении ОВ, а рассеянное излучение распространяется равномерно во все стороны. Это рассеяние называют рэлеевским и его невозможно устранить технологическими приемами при изготовлении ОВ. Это рассеяние является линейным, и доля рассеянного излучения (коэффициент рассеяния α_s) не зависит от мощности зондирующего импульса при обычно используемых мощностях излучения. Проходящий по ОВ оптический импульс длительностью $t_{\text{и}}$ одновременно вызывает рассеяние с участка ОВ протяженностью

$$\Delta l = \frac{c \cdot t_{\text{и}}}{2n_1},$$

где c - скорость света в вакууме.

Часть рассеянного излучения возвращается обратно ко входу ОР. Она определяется фактором обратного рассеяния G , который зависит от апертурных свойств ОВ. Например, для многомодовых ОВ (МОВ) и одномодовых ОВ (ООВ) со ступенчатым профилем показателя преломления фактор обратного рассеяния составляет

$$\text{МОВ: } G = \frac{NA^2}{4n_1^2}; \quad \text{ООВ: } G = \frac{3}{2} \left(\frac{\lambda}{2\pi} \right)^2 \frac{1}{n_1 w^2}$$

(12.13)

Для мощности излучения, рассеянного с участка Δl , расположенного на расстоянии l от ОР, и пришедшего ко входу ОР можно записать

$$P_s = P_0 K_{\text{р}} \cdot \alpha_s G \Delta l \cdot 10^{-\frac{\alpha \cdot l}{5}}.$$

Совокупность рассеянного и отраженного излучения из исследуемого ВОЛТ, приходящего на вход ОР, называют сигналом обратного рассеяния (СОР). СОР через второе плечо НО поступает на высокочувствительное фотоприемное устройство (ФПУ). После усиления в ФПУ, выделения СОР из шумов ФПУ и логарифмирования в устройстве обработки сигнала (УОС) преобразованный СОР как функция времени задержки (или расстояния) отображается в графической форме в виде рефлектограммы на экране дисплея.

Принимая некоторое значение оптической мощности $P_{\text{н}}$ за уровень 0 дБ, запишем выражения для уровней обратно рассеянного Y_s и отраженного Y_r сигналов в зависимости от расстояния l и временного интервала t между зондирующим сигналом и СОР

$$Y_s = 5 \lg \frac{P_0}{P_n} + 5 \lg K_{on} + 5 \lg (\alpha_s G \Delta l) - \alpha l = 5 \lg \frac{P_0}{P_n} + 5 \lg K_{on} +$$

$$+ 5 \lg \frac{\alpha_s G \cdot ct_u}{2n_1} + 5 \lg \frac{t_u}{t_{u0}} - \alpha \frac{ct}{n_1};$$

$$Y_r = 5 \lg \frac{P_0}{P_n} + 5 \lg R - \alpha l = 5 \lg \frac{P_0}{P_n} + 5 \lg R - \alpha \frac{ct}{n_1}, \quad \text{где } t_{u0} -$$

длительность зондирующего импульса, при которой нормируется относительный уровень СОР в ближней зоне ВОЛТ

$$Y_{s0} = 5 \lg \frac{\alpha_s G \cdot ct_{u0}}{2n_1}.$$

Из выражения следует, что СОР

возрастает с увеличением мощности P_0 и длительности t_u зондирующего импульса, т.е. с увеличением его энергии. Кроме того, СОР возрастает с уменьшением оптических потерь

$$a_{on} = -5 \cdot \lg K_{on}$$

В таблице приведены типичные значения относительного уровня СОР в ближней зоне ВОЛТ при длительности зондирующего импульса $t_{u0} = 1$ нс.

Относительный уровень СОР в ближней зоне ВОЛТ

Тип ОВ	Длина волны, мкм	Y_{s0} , дБ
МОВ	0.85	-35
	1.3	-37.5
ООВ	1.31	-39.5
	1.55	-40.5

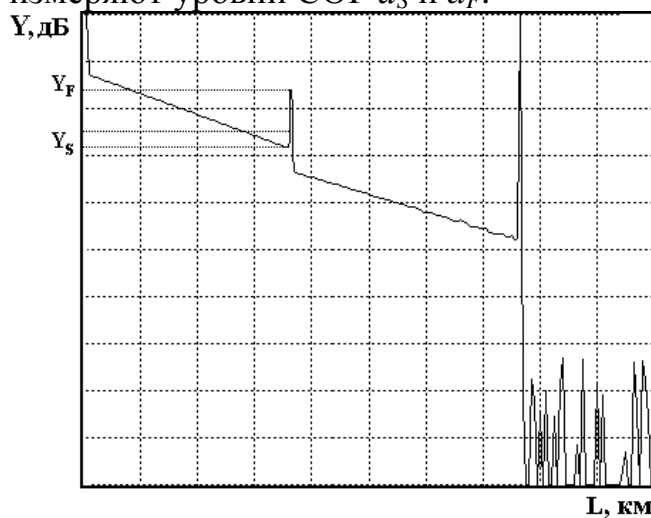
Типичная рефлектограмма СОР для ВОЛТ приведена на рис. 12.10. На ней можно выделить однородные участки 2 ВОЛТ (без неоднородностей) с постоянным коэффициентом затухания α , на которых СОР после логарифмирования выглядит, как прямая линия, наклон которой определяет коэффициент затухания. Наряду с линейным изменением уровня СОР на рефлектограмме имеются особенности, обусловленные различными неоднородностями. Начальный выброс сигнала 1 вызван френелевским отражением от входного торца исследуемого ОВ. Как правило, он вводит ФПУ в насыщение, а время выхода из него определяет важный параметр ОР - мертвую зону, т.е. расстояние Δl_m , на котором невозможно обнаружить неоднородности и измерить коэффициент затухания. Выброс сигнала с перепадом затухания 4 возникает при наличии в тракте разъемного соединителя, а также при наличии в волокне маленьких включений инородных примесей или пузырьков воздуха. Такие отражения характеризуются возвратными потерями, которые могут быть рассчитаны по выражению:

$$a_{en} = -10 \cdot \lg R, \quad \text{где } R - \text{коэффициент отражения.}$$

Измерение возвратных потерь

В разъемных соединениях, а также на локальных дефектах, на конце ОВ и в некачественных неразъемных соединениях возникают френелевские отражения. Отраженные от стыков оптические импульсы могут оказывать отрицательное воздействие на источники излучения ВОСП, особенно одномодовые. Поэтому допустимый уровень этих отражений, так называемые возвратные потери, нормируется и должен обязательно измеряться в одномодовых ВОЛТ.

Для определения возвратных потерь с помощью ОР необходимо получить рефлектограмму, на которой виден выброс сигнала, обусловленный френелевским отражением в разъемном соединении. Этот выброс не должен вызывать перегрузку фотоприемного устройства. По рефлектограмме измеряют уровни СОР a_S и a_F .



Методика измерения возвратных потерь

Для расчета возвратных потерь по рефлектограмме используют выражение:

$$a_{en} = -2 \cdot Y_{s0} - 10 \cdot \lg \frac{t_u}{t_{u0}} - 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{Y_F - Y_S}{5}} - 1 \right),$$

где Y_{s0} - относительный уровень СОР при длительности зондирующего импульса t_{u0} ; t_u - длительность зондирующего импульса, при которой была зарегистрирована рефлектограмма.

Для $t_{u0}=1$ нс типичные значения затухания обратного рассеяния Y_{s0} для стандартных ОВ приведены в табл. 12.5. Более точные значения для ОВ конкретного производителя должны определяться экспериментально.

Параметры современных ОР

В настоящее время существует большой выбор ОР. Все современные ОР имеют устройства для накопления СОР от отдельных точек ВОЛТ и логарифмирования СОР, оперативное запоминающее устройство для хранения результатов измерения СОР в каждой точке. В состав ОР входит графический дисплей, позволяющий по зарегистрированной рефлектограмме с помощью одного или нескольких курсоров и встроенных функций определять различные параметры ВОЛТ. Все современные ОР имеют

возможность обмениваться данными с компьютером через стандартный интерфейс.

Наиболее важными параметрами ОР являются динамический диапазон, время измерения, пространственное разрешение и ширина мертвой зоны.

Динамический диапазон

Динамический диапазон определяет максимальное затухание ВОЛТ, при котором отношение СОР к шуму ≥ 1 . Строго говоря, динамический диапазон не является параметром ОР. Он зависит от типа исследуемого ОВ и используемой длины волны. Динамический диапазон возрастает с увеличением мощности и длительности зондирующего сигнала, увеличения числа накоплений и времени измерения, а также с уменьшением уровня шума ФПУ. Обычно приводимый в рекламных проспектах динамический диапазон ОР соответствует максимальной мощности и длительности зондирующего импульса, максимальному числу накоплений и времени измерения. Динамический диапазон можно определить для конкретной рефлектограммы, как разность между максимальным СОР в ближней зоне и уровнем шума за пределами ВОЛТ.

Уровень шума (порог реагирования) определяется параметрами ФПУ и может быть выражен в единицах оптической мощности P_{nop} или в логарифмических единицах Y_{nop} по отношению к некоторой мощности P_n , принятой за 0 дБ

$$Y_{nop} = 5 \lg (P_{nop}/P_n).$$

Порог реагирования ФПУ зависит от типа фотоприемника, коэффициента шума предварительного усилителя и от полосы пропускания ΔF усилителя ФПУ. Пороговая мощность может быть выражена через спектральную плотность шума $S_{ш}$, приведенную ко входу ФПУ

$$P_{nop} = S_{ш}\Delta F$$

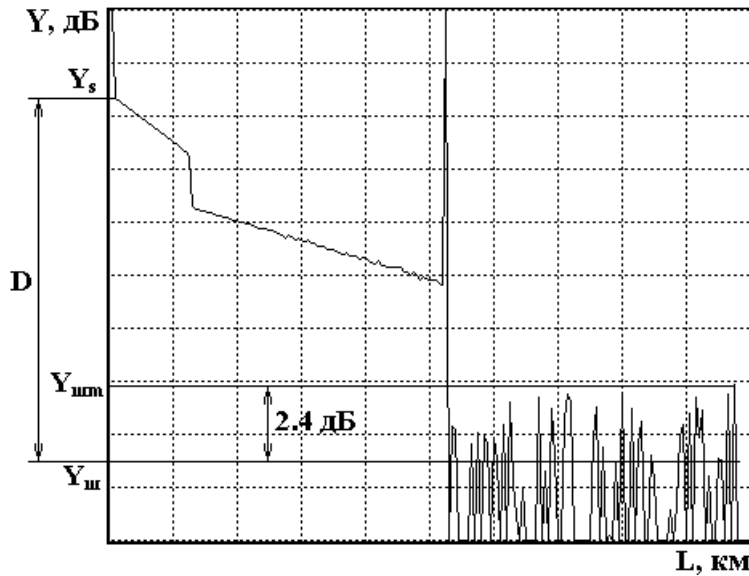
Полоса пропускания ΔF ФПУ выбирается исходя из допустимых искажений отраженных от неоднородностей ВОЛТ оптических импульсов на выходе ФПУ. Причем, между длительностью импульса t_u и требуемой полосой пропускания ΔF существует обратно пропорциональная зависимость. Полагая, что известен порог реагирования P_{nop0} ФПУ для длительности импульса, при которой нормируется относительный уровень СОР в ближней зоне ВОЛТ, т. е. при $t_u=1$ нс, можно записать порог реагирования ФПУ для любой длительности импульса

$$P_{nop} = P_{nop0} (t_u/1)^{0.5}$$

Для увеличения отношения сигнала к шуму, а следовательно, и для увеличения динамического диапазона используют накопление СОР на выходе ФПУ. Накопление или усреднение сигнала в каждой точке рефлектограммы эквивалентно многократным измерениям с последующим расчетом среднего значения. Отношение сигнала к шуму возрастает при этом в корень из N раз, где N – число накоплений (измерений) в одной точке.

С учетом сказанного, для порога реагирования в логарифмических единицах можно записать

$$Y_{nop} = 5 \lg (P_{nop} / P_n) + 2.5 \lg (t_{u0} / t_u) - 2.5 \lg (N).$$



Экспериментальное определение динамического диапазона

Динамический диапазон может быть определен экспериментально по зарегистрированной рефлектограмме, как показано на рис.12.16. Определить по рефлектограмме максимальный уровень обратного рассеяния Y_{sm} достаточно просто. Сложнее определить уровень, соответствующий среднеквадратическому уровню шума Y_u (шум ведь процесс случайный). В то же время максимальный уровень шума Y_{im} за пределами ВОЛТ определить достаточно легко.

Для оценки динамического диапазона можно использовать следующий подход.

Полагаем, что максимальный уровень шума P_{um} в линейном масштабе примерно в 3 раза превышает среднеквадратическое значение уровня шума P_u . Тогда после логарифмирования среднеквадратический уровень шума Y_u будет меньше максимального на 2.4 дБ.

Время измерения

Регистрация рефлектограмм происходит не в реальном масштабе времени, так как для выделения сигнала из шума необходимо накопление СОР. Время измерения зависит от числа накоплений N и периода следования зондирующих импульсов T_0 . Последняя величина зависит от максимальной длины ВОЛТ L_m , которая, как и N , устанавливается тем или иным способом оператором. Время измерения можно определить по выражению

$$T_u = NT_0 = NL_m n_1 / c.$$

Отметим, что время измерения по этому выражению будет определяться при параллельном накоплении СОР во всех точках рефлектограммы (параллельное накопление). Это наиболее эффективное (быстрое) накопление. Однако оно требует использование быстросействующей, а, следовательно, и неэкономичной элементной базы для накопителя. Это затрудняет использование параллельного накопления

для малогабаритных полевых рефлектометров. Рефлектометры предыдущих поколений использовали последовательное накопление, когда за один период зондирования измеряется СОР только в одной точке рефлектограммы. В этом случае время измерения возрастает в M раз, где M – число точек на рефлектограмме. Для уменьшения времени измерения число точек необходимо уменьшать. С другой стороны, число точек должно быть достаточным для обнаружения отражающих неоднородностей. Разумное число точек составляет

$$M = 2L_m / \Delta L = 2T_0 / t_u.$$

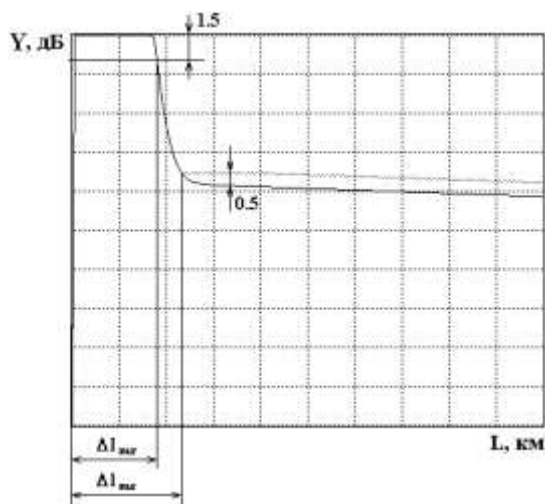
Применяются не только параллельное и последовательное накопления, но и параллельно-последовательное. Время измерения при этом имеет промежуточное значение между двумя крайними случаями.

Пространственное разрешение

Пространственное разрешение определяется минимальным расстоянием между двумя локальными неоднородностями, которые можно видеть на рефлектограмме отдельно. Пространственное разрешение в первую очередь зависит от длительности зондирующего импульса.

Недостаточная полоса пропускания ФПУ приводит к искажению (уширению) отраженных от неоднородностей импульсов и, следовательно, к ухудшению пространственного разрешения. Значительная дисперсия может также ухудшать пространственное разрешение. Кроме того, пространственное разрешение ухудшается, если две неоднородности сильно отличаются по коэффициенту отражения. Тогда неоднородность с большим коэффициентом отражения маскирует неоднородность с малым коэффициентом отражения. Пространственное разрешение ухудшается также при насыщении ФПУ отраженными от неоднородностей сигналами. Для улучшения пространственного разрешения в ближней зоне ВОЛТ необходимо уменьшать длительность зондирующего импульса, не допускать насыщения ФПУ, уменьшая мощность зондирующего импульса или коэффициент передачи ФПУ.

Мертвая зона.



Мертвая зона возникает на рефлектограмме на участке, следующем за крупной отражающей неоднородностью, которая вводит ФПУ в насыщение. Обычно самое большое отражение, которое насыщает ФПУ, возникает от входного торца ВОЛТ. Отраженный импульс сильно расширяется и, пока ФПУ не выйдет из насыщения, другие неоднородности нельзя обнаружить. Ширина этого импульса $\Delta l_{мз}$ определяет ширину мертвой зоны ОР. Различают мертвую зону по обратному

рассеянию ΔI_{ms} и по отражению ΔI_{mr} ,

Мертвая зона по отражению определяется расстоянием между началом отраженного импульса и точкой с уровнем -1.5 дБ по отношению к насыщению.

Мертвая зона по рассеянию определяется расстоянием между началом отраженного импульса и точкой с уровнем, который отличается от уровня сигнала обратного рассеяния на ± 0.5 дБ.

Для уменьшения мертвой зоны в ближней зоне ВОЛТ в выходной разъем ОР вводят иммерсионную жидкость, уменьшают длительность и мощность зондирующего импульса, включают между ОР и исследуемым ВОЛТ дополнительную бухту ОВ.

Оптимальный выбор параметров ОР

Одной из основных целей рефлектометрических измерений является измерение коэффициентов затухания на различных участках ВОЛТ (на различных строительных длинах) и вносимых и возвратных потерь в разъёмных и неразъёмных соединениях. При этом очень важно иметь малую погрешность определения относительных уровней СОР на больших расстояниях от ОР. Это требует большого динамического диапазона, для увеличения которого необходимо увеличивать длительность зондирующего импульса, что приводит к ухудшению пространственного разрешения.

Другой основной целью рефлектометрических измерений является измерение расстояний до различных неоднородностей, в качестве которых можно рассматривать конец ВОЛТ, обрыв, разъёмные и неразъёмные соединения, локальные дефекты. Для увеличения точности этих измерений необходимо уменьшать длительность зондирующего импульса.

Повышению точности измерений и успешному достижению обеих целей способствует увеличение числа накоплений и времени измерения.

Выбор длительности зондирующего импульса должен производиться с учетом конкретной измерительной задачи. Для получения более полной информации о ВОЛТ желательно регистрировать рефлектограммы с двух сторон ВОЛТ и при разных длительностях зондирующего импульса. Время измерения и число накоплений желательно увеличивать для уменьшения погрешности измерений.

Параметры некоторых современных ОР

В качестве примера приведем параметры оптического рефлектометра компании YokogawaAQ7275, который имеет малые габариты, экономичен, передает данные в компьютер, по отдельному заказу может комплектоваться встроенным дефектоскопом для визуального контроля целостности ОВ, встроенной катушкой с ОВ, термопринтером. Его основные параметры приведены в таблице.



Основные параметры рефлектометра AQ7275 модель 735038

Параметры рефлектометра	Значение параметра
Разрешение выборки, см	5, 10, 20, 100, 200
Максимальное число точек рефлектограммы	50000
Групповой показатель преломления	1.3 – 1.8 с шагом 0.00001
Масштаб вертикальной оси, дБ/дел	0.2, 0.5, 1, 2, 5, 7
Минимальное разрешение, дБ	0.001
Длины волн, нм	1310, 1550, 1625 ±25
Длительность импульса, нс	3, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 20000
Диапазон измерения расстояния, км	0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 400
Динамический диапазон, дБ на длинах волн 1310, 1550, 1625 нм	40 / 38 / 36
Мертвая зона по событию, м При длительности импульса 10 нс	0,8
Мертвая зона по затуханию, м на длинах волн 1310, 1550, 1625 нм при длительности импульса 3 нс	7/ 8/ 12
Автономная работа от встроенного источника питания, час	6
Габариты, см	287x197x685
Масса, кг	2.8

Однако представленный ОР, хотя и обладает достаточно хорошими параметрами, весьма дорог. В качестве другого примера приведем ОР, специально предназначенный для измерений в сетях доступа, включая пассивные оптические сети (PON). Это отечественный малогабаритный ОР Топаз-7000-AR, который совмещает в одном приборе функции оптического рефлектометра и оптического тестера. В этих режимах он работает на 3-х длинах волн, которые можно выбрать при заказе прибора. В режиме оптического тестера прибор совместим с приборами серий ТОПАЗ-7100-А/7200-А/7300-А/7300-АL. Может управляться от компьютера, имеет энергонезависимую память на 450 рефлектограмм. Время непрерывной

работы от аккумуляторной батареи не менее 20 часов. Его основные параметры приведены в таблице.



Внешний вид оптического рефлектометра Топаз-7000-AR

Основные параметры рефлектометра Топаз-7000-AR

Параметр	Значение
Функция «Оптический рефлектометр»	
Динамический диапазон, дБ	> 20
Мертвая зона по событию, м	< 4
Мертвая зона по затуханию, м	< 12
Число точек рефлектограмм	4096
Минимальное разрешение, м	0,7
Длительности импульса, нс	20/40/150/500/1000/3000/10000
Функция «Оптический тестер»	
Относительная нестабильность источника излучения(за 8 часов, дБ)	0,25
Режимы работы источника излучения	CW, 270 Гц, 2кГц, CW*
Погрешность измерения мощности, дБ	0.3
Разрешение, дБ	0.01
Длины волн калибровки	850, 1310, 1490, 1550, 1625
Диапазон измерения	800-900 нм, 1200-1700 нм, шаг 1 нм
Единицы измерения	дБм, мВт, мкВт, нВт, дБ

Литература

1. Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации направляющих систем электросвязи. Учебное пособие для вузов. Б.К.Никитин, Л.Н. Кочановский, СПб ГУТ, 2011 г.
2. Измерение параметров волоконно-оптических линейных трактов. Учебное пособие для вузов. М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, Л.Н. Кочановский, В.В. Пискунов, СПб ГУТ, 2002 г.
3. Передаточные характеристики оптических волокон. Учебное пособие для вузов. С.Ф. Глаголев, В.С. Иванов, Л.Н. Кочановский СПб ГУТ, 2005 г.
4. Оптимизация линий связи первичных сетей. Учебное пособие для вузов. С.Ф.Глаголев, Б.К.Никитин СПб ГУТ, 2005 г.
5. Конструкция, прокладка, соединение и защита оптических кабелей связи //Рекомендации МСЭ-Т, Женева, 1994 г.

6. Основы проектирования сооружений связи. А.И. Овсянников, В.А. Колесников, М.К. Цибулин. М. Радио и связь, 1991 г.
7. Справочное пособие заказчика-застройщика, т.т.1,2. Н.И. Монахов. М. Стройиздат, 1990 г.
8. Гауэр Д. Оптические системы передачи. - М.: Радио и связь, 1989. – с.505.

Раздел 3. Система технической эксплуатации линейных сооружений связи. Структура системы. Теоретические основы построения системы технической эксплуатации ВОЛС.

Успешно завершив первые два этапа – проектирование ВОЛС как новое, так создание различных вариантов проектов реконструкции существующих металлических или волоконно-оптических линий связи, последующее строительство ВОЛС или выполнение работ по реконструкции, неизбежно происходит переход к следующему этапу – построению новой системы технической эксплуатации линейных сооружений связи (СТЭЛСС).

Этот этап является наиболее ответственным, с точки зрения, создания условий нормального функционирования объекта эксплуатации, обеспечении всех качественных и количественных характеристик последнего, при этом, необходимо помнить о затратах, необходимых для поддержания объекта в постоянной работоспособности

Задача оптимизации построения СТЭЛСС может быть решена на основе анализа так называемых «Больших систем» (БС) характеризующихся множеством состояний, огромным набором входных и выходных параметров, между которыми имеются функциональные и статистические зависимости. Прежде всего, необходимо рассмотреть, насколько линейные сооружения связи (ЛСС) удовлетворяют основным признакам БС.

«Система создана человеком из различного вида оборудования и сырья» - этому признаку полностью удовлетворяют все типы трактов и ЛСС.

«Система обладает цельностью - все ее части и элементы служат достижению единой цели – выработке определенной продукции с помощью набора оптимизированных выходов при заданных входных воздействиях». ЛСС и тракты КМ предназначены для единой цели – передачи возможно большего объема информации с заданным качеством при оптимизированных, по определенным критериям, конструктивных и стоимостных параметрах и ограниченных входных и выходных воздействиях внутренних и внешних факторов, т.е. полностью соответствуют этому признаку.

«Система является большой как с точки зрения разнообразия ее элементов, так и с точки зрения одинаковых частей и выполняемых ими функций». ЛСС и тракты КМ состоят из большого числа строительных длин кабеля единых по своей структуре, различного рода активного оборудования одинаковых для конкретного тракта и выполняющих одинаковые функции.

«Система является сложной». Это означает, что изменение какой-либо переменной влечет за собой изменение многих других переменных, причем подобная зависимость редко является линейной и часто носит стохастический характер. ЛСС и тракты КМ более чем полно отвечают данному признаку. Изменения температуры грунта, воздействия внешних факторов, изменения характеристик оборудования (например, деградация источника излучения), приводят к случайным изменениям функциональных характеристик всей системы, колебаниям коэффициента ошибок в цифровых трактах и пр.

«Система является полуавтоматической». Это означает, что часть функций системы выполняется автоматически, а часть – человеком, что, несомненно, происходит в процессе эксплуатации, контроля и ремонтно-восстановительных работах на любых линиях связи.

«Входные воздействия системы имеют стохастическую природу». Отсюда следует невозможность полного предсказания поведения системы для любого момента времени. Применительно к ЛСС и трактам КМ это означает случайный характер возникновения отказов, невозможность точного определения в каждый момент времени загрузки тракта и пр.

«Большинство систем и в первую очередь наиболее сложные системы содержат элементы конкурентной ситуации». В нашем случае в процессе проектирования приходится рассматривать несколько вариантов от простой замены оборудования до строительства новых волоконно-оптических линий, чтобы обеспечить передачу заданного объема информации с требуемым качеством, а также возможность увеличения трафика в процессе развития.

3.1. Принципы системного подхода к анализу СТЭЛСС.

Задача оптимизации больших систем по определенным критериям сложна, поэтому обычно ее разбивают на ряд направлений в идеологическом, организационном и реализационном планах. Подобные методы деления не должны допускать взаимные непрерывные переходы, т.е. они должны представлять собой ортогональные векторы в пространстве системы.

Для систем ЛСС возможно следующее деление:

- аппарат для анализа и конструирования СТЭЛСС. В качестве этого аппарата используются разделы математического анализа, необходимые при исследовании параметров передачи, помех и возмущений действующих на ЛСС, математические методы исследования операций и, в частности, методы оптимизации параметров систем, различные способы построения математических моделей систем и оценке степени адекватности этих моделей создаваемым системам.
- фазы или периоды (во времени) и этапы (логические) конструирования СТЭЛСС.

Применение подобного разбиения позволяет расчленить задачу оптимизации на ряд «фаз» и «этапов» по времени проведения работы либо по ее логической последовательности. В действительности это разбиение часто не соблюдается, а иногда, например, при ограниченном времени создания системы ряд «этапов» и «фаз» выполняются одновременно или в другом порядке. Очень часто, например, при анализе надежности кабельных магистралей или путей повышения эффективности и качества их работы рассматриваются различные фазы и периоды эксплуатации КМ, а также возможности ее оптимизации по мере создания новых, более совершенных методов эксплуатации.

- подсистемы. Каждый линейный тракт или ЛСС могут рассматриваться как подсистема более крупной системы, например первичной сети. Расчленение сложных систем на подсистемы производится до тех пор, пока не будут получены

элементы системы, т.е. такие объекты, которые в условиях данной задачи не подлежат расчленению. Однако при использовании и оптимизации таких объектов необходимо учитывать, что в исходной системе они функционируют во взаимодействии друг с другом и свойства БС определяются не только свойствами данных объектов, но и характером их взаимодействия в структуре БС.

Возможное расчленение СТЭЛСС на подсистемы может быть представлено в виде следующей структуры (рис.3.1.)

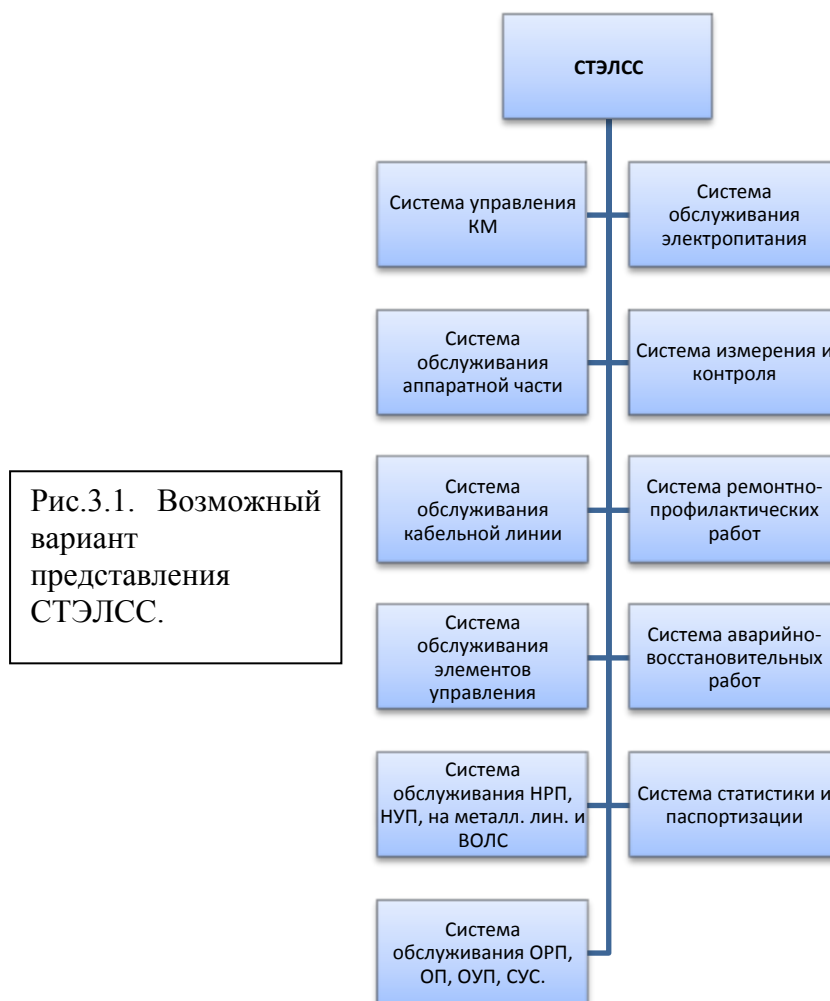


Рис.3.1. Возможный вариант представления СТЭЛСС.

3.2. Критерии эффективности СТЭЛСС и моделирование процессов в системе

Можно выделить следующие основные этапы работ при определении критерия эффективности СТЭЛСС:

- анализ основных свойств заданного или выбираемого критерия эффективности;
- оценка сложности исходной функции, связывающей данный критерий с варьируемыми параметрами;
- определение возможности контроля за достижением и сохранением оптимального состояния ЛСС на оптимизируемой фазе;

- разработка методов, устройств и подсистем, обеспечивающих целесообразную или достижимую степень улучшения критерия эффективности работы СТЭЛСС;
- оценка эффективности по качеству и внедрение полученных рекомендаций в СТЭЛСС.

Одним из важнейших критериев оценки СТЭЛСС является оценка эффективности по качеству. Он имеет важное значение не только потому, что в существенной мере определяет целесообразность оптимизации системы по этому критерию, но и позволяет сопоставить и оценить эффективность ортогональных между собой критериев эффективности по значению ожидаемого экономического эффекта.

Понятие оптимизации «по качеству» в первую очередь относится к системам высокой стоимости и длительного срока работы, к которым, несомненно, принадлежат и СТЭЛСС. В этой системе с течением времени наблюдается моральное старение отдельных подсистем, устройств, технологий, что приводит к ухудшению параметров системы в целом. Проектные решения, как по созданию новых участков сети с заданной пропускной способностью, так и реконструкция существующих, придают новые свойства СТЭЛСС, которые должны обеспечить повышение ее эксплуатационных характеристик при увеличении пропускной способности линий связи, сокращение времени проведения ремонтно-восстановительных работ. Оптимизацию в этом случае можно рассматривать как дискретный, итерационный процесс, при котором с каждым шагом итерации, соответствующим повышению эффективности и качества работы СТЭЛСС, происходит приближение системы к оптимальному состоянию.

Таким образом, с каждым итерационным шагом образуется новая модель, в которой большинство подсистем может оставаться неизменными или изменяться частично, а одна или несколько подсистем изменяются существенно, придавая модернизируемой системе главные отличительные признаки.

Многие случайные процессы, протекающие в ЛСС, особенно в линейных трактах и кабельных линиях, с достаточно высокой степенью приближения можно отнести к Марковским процессам, или процессам без последствия. Они обладают следующими свойствами - для каждого момента времени t_0 , вероятность любого состояния системы в момент $t > t_0$ зависит только от ее состояния при $t = t_0$ и не зависит от того, когда и каким образом система пришла в это состояние.

Действительно, пусть необходимо оценить в будущем качество работы некоторой СТЭЛСС, находившейся длительное время в эксплуатации и характеризующейся определенной степенью изношенности. Очевидно, что вероятность любого состояния системы зависит только от ее состояния в настоящем времени при $t = t_0$ и не зависит от того, когда и каким образом система пришла в это состояние.

Процессы, происходящие в ЛСС, обычно относят к Марковским процессам с дискретным состоянием и непрерывным временем.

Допустим, что СТЭЛСС имеет ряд дискретных, случайных состояний $S_1, S_2 \dots S_n$. Например, S_1 – кабельная магистраль исправна, S_2 – в одном из трактов каналы имеют пониженное качество (увеличенный уровень шумов в аналоговых системах, увеличение коэффициента ошибок в цифровых), S_i – полный отказ одного из трактов, S_n – полный отказ всех трактов.

Переход системы S в различные состояния может осуществляться в любой момент времени. События $S_1, S_2 \dots S_n$ несовместимы и образуют полную группу состояний, так что сумма вероятностей $p_i(t)$ – вероятность того, что в момент времени t система будет находиться в состоянии S_i и для любого момента времени равна единице:

$$\sum_{i=1}^n p_i(t) = 1. \quad 3.1.$$

Пусть вероятность перехода системы из состояния i в состояние j известна и равна p_{ij} . Тогда можно ввести понятие о плотности вероятности перехода:

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} [p_{ij}(t) / (\Delta t)] \quad 3.2.$$

Зная плотности вероятностей перехода для системы, можно составить так называемый граф состояния системы, например для $n=5$ (рис.4.2.).

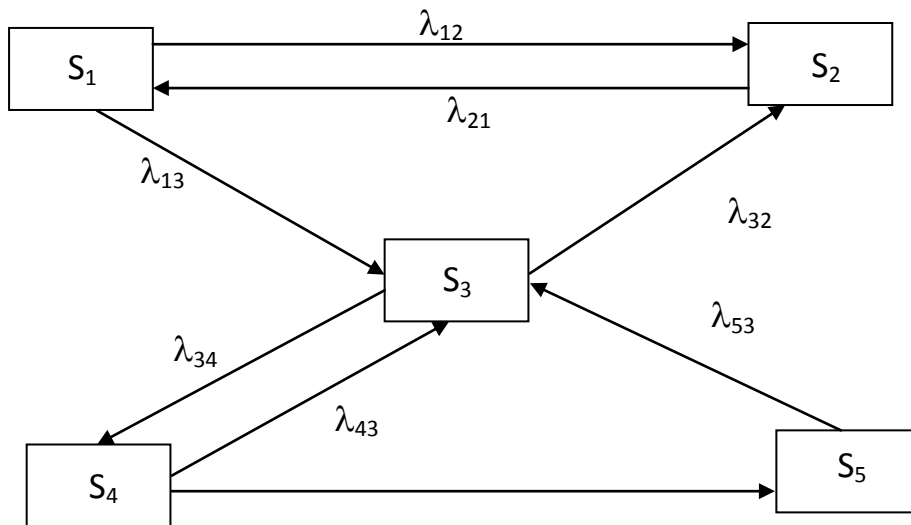


Рис.3.2. Размеченный граф состояний

Если все плотности вероятностей перехода λ_{ij} не зависят от t , то Марковский процесс называется однородным; если эти плотности представляют собой какие-то функции времени $\lambda_{ij}(t)$, процесс называют неоднородным. В последнем случае часто заменяют $\lambda_{ij}(t)$ его математическим ожиданием

$$M[\lambda_{ij}(t)] = \frac{1}{T} \int_0^T \lambda_{ij}(t) dt, \quad 3.3.$$

где,

- T - рассматриваемый интервал времени.

В результате неоднородный процесс сводится к однородному.

Зная размеченный граф, можно определить вероятности $p_1(t), p_2(t), \dots, p_n(t)$ из дифференциальных уравнений, называемых уравнениями Колмогорова, составляемых по следующему правилу: левая часть каждого уравнения состоит из производной вероятности состояния, а правая часть содержит столько членов, сколько стрелок размеченного графа связано с данным состоянием. Если стрелка направлена из состояния, соответствующий член имеет знак минус, если в состояние – знак плюс. Каждый член равен произведению плотности вероятности перехода, соответствующей данной стрелке, умноженной на вероятность того состояния, из которого исходит стрелка.

Рассмотрим типичную, для многих процессов, протекающих в СТЭЛСС, а именно, непрерывную Марковскую цепь, называемую схемой «гибели и размножения».

Граф этой цепи представлен на рис.3.3. и имеет вид вытянутой цепочки, в которой каждое из соседних состояний (S_2, S_3, \dots, S_{n-1}) связано прямой и обратной связями с каждым из соседних состояний, а крайние состояния (S_1, S_n) – только с одним соседним состоянием.

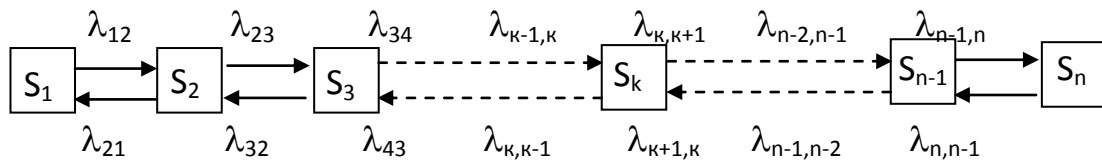


Рис.3.3. Граф процесса «гибели и размножения».

Алгебраические уравнения предельных вероятностей состояния для такого графа имеют следующий вид:

для состояния S_1

$$\lambda_{12} p_1 = \lambda_{21} p_2, \quad (3.4.)$$

для состояния S_2

$$\lambda_{12} p_1 + \lambda_{32} p_3 = (\lambda_{23} + \lambda_{21}) p_2. \quad (3.5.)$$

Аналогично можно найти

$$\lambda_{k-1,k} p_k = \lambda_{k,k-1} p_{k-1} \quad (3.6.)$$

Пользуясь уравнениями типа (4.6.) можно составить выражение для вычисления предельной вероятности состояния p_1 и уравнение связи для расчета остальных вероятностей:

$$p_1 = [1 + \lambda_{12}/\lambda_{21} + (\lambda_{23} \lambda_{12}) / (\lambda_{32} \lambda_{21}) + \dots + (\lambda_{k-1,k} \lambda_{k-2,k-1} \lambda_{12}) / (\lambda_{k,k-1} \lambda_{k-1,k-2} \dots \lambda_{21}) + (\lambda_{n-1,n} \dots \lambda_{12}) / (\lambda_{n,n-1} \lambda_{21})]^{-1} \quad (3.7.)$$

и

$$p_2 = (\lambda_{12}/\lambda_{21}) p_1; \quad p_3 = (\lambda_{23} \lambda_{12}) / (\lambda_{32} \lambda_{21}) p_1; \dots \quad (3.8.)$$

$$p_n = (\lambda_{n-1,n} \dots \lambda_{12}) / (\lambda_{n,n-1} \lambda_{21}) p_1$$

В качестве примера рассмотрим реконструированный линейный тракт

кабельной магистрали, который состоит из трех трактов цифровой системы передачи (ЦСП) типа РСМ – 480. Поток отказов простейший, распределен по показательному закону и обладает тремя свойствами:

- стационарностью;
- ординарностью (события в потоке происходят по одиночке);
- отсутствием последействия (т.е. число событий, приходящихся на один отрезок времени, не зависят от того, сколько событий попало на другой отрезок времени).

Среднее время безотказной работы каждого тракта равно $T_{б,ср.}$.

Ремонт отказавшего тракта начинается немедленно (это самый дорогой вариант) при этом:

- среднее время ремонта (восстановления) равно $T_{в,ср.}$;
- закон распределения этого времени – показательный, поток восстановления – простейший.

Найти среднюю производительность кабельной магистрали, если при трех работающих трактах она равна 100%, при двух – 80%, при одном - 50%, а при выходе из строя всех трактов – магистраль не работает.

Возможные состояния системы нумеруем по числу неисправных трактов: S_0 – все тракты исправны; S_1 – один тракт отказал и восстанавливается; S_2 – два тракта восстанавливаются один исправен; S_3 – три тракта восстанавливаются, магистраль не работает. Построим и разметим граф состояний (рис.4.4.). Вправо систему переводят отказы. Если система находится в состоянии S_0 , т.е. все тракты работают и каждый из них подвержен потоку отказов с интенсивностью $\lambda = 1/T_{б,ср.}$, то общий поток отказов будет в три раза больше: $\lambda_{01} = 3/T_{б,ср.}$. При выходе из строя одного тракта (состояние S_1) интенсивность потока отказов : $\lambda_{12} = 2/T_{б,ср.}$; при выходе из строя двух трактов (состояние S_2) $\lambda_{23} = 1/T_{б,ср.}$.

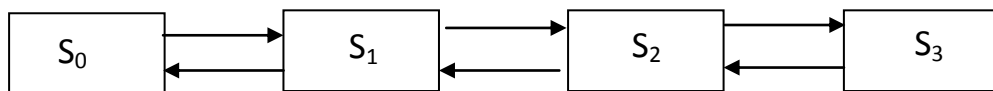


Рис.3.4. Размеченный граф состояний.

Влево систему переводят ремонты (работа СТЭЛСС) трактов. Из состояний S_2, S_3 система переводится с интенсивностью $\lambda_{32} = 3/T_{в,ср.}$ ($T_{в,ср.}$ – среднее время восстановления трактов, ремонтируются все три тракта). Аналогично получаем : $\lambda_{21} = 2/T_{в,ср.}$ и : $\lambda_{10} = 1/T_{в,ср.}$.

Воспользовавшись уравнениями (3.7.), (3.8.) и заменив индексы, получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_0 = 1/[1+3(T_{в,ср.}/ T_{б,ср.})+3(T_{в,ср.}/ T_{б,ср.})^2+(T_{в,ср.}/ T_{б,ср.})^3]; \\ P_1 = 3(T_{в,ср.}/ T_{б,ср.}) P_0 ; \\ P_2 = 3(T_{в,ср.}/ T_{б,ср.})^2 P_0; \\ P_3 = (T_{в,ср.}/ T_{б,ср.})^3 P_0 . \end{array} \right. \quad (3.9.)$$

Средняя производительность кабельной магистрали в установившемся режиме:

$$A_{\text{ср.}} = P_0 + 0,8 P_1 + 0,5 P_2 \quad (3.10.)$$

Вычислим значения P_i и $A_{\text{ср.}}$ задавшись конкретными цифрами. Положим $(T_{\text{в,ср.}} / T_{\text{б,ср.}}) = 4 * 10^{-2}$, $T_{\text{в,ср.}} = 4,5$ ч.

Тогда,

$$P_0 = 1 / (1 + 0,12 + 0,0048 + 0,64 * 10^{-4}) = 0,889;$$

$$P_1 = 0,107;$$

$$P_2 = 4,27 * 10^{-3};$$

$$P_3 = 8,9 * 10^{-7};$$

$$A_{\text{ср.}} = 97,67\%.$$

Эти цифры говорят о том, что в данном примере СТЭЛСС на 98% справляется со своей задачей. Однако встает вопрос – от чего зависят вероятности, приведенные в данном примере, и как это будет выглядеть в других вариантах при значительно более высоких нагрузках трактов, особенно ВОЛС.

3.3. Основные задачи и параметры системы эксплуатации ЛСС.

Основной задачей СТЭЛСС и линейных трактов является обеспечение бесперебойной работы трактов и каналов связи при заданном количестве и качестве передаваемой информации и минимальных эксплуатационных расходах. Эта задача решается в условиях воздействия на ЛСС различных дестабилизирующих факторов, приводящих к появлению неисправностей, ухудшению качества передаваемой информации, отказом действия связи в части каналов, отдельных трактов или полному прекращению связи на данном участке сети. При любом отказе в системе эксплуатации должно предусматриваться принятие мер по немедленному устранению причин отказа.

Несмотря на разнообразие физических процессов, протекающих в СМО, общим для них является то, что они предназначены для выполнения (обслуживания) некоторых потоков заявок, поступающих в СМО в случайные моменты времени, которые осуществляются с помощью заданного числа обслуживающих единиц, называемых каналами обслуживания.

Назовем потоки отказов, возникающих в ЛСС, потоками заявок, поступающими в СТЭЛСС. Действительно, поток заявок в СТЭЛСС образуется случайным потоком отказов и неисправностей и характеризуется его интенсивностью λ . Поток является случайным Марковским процессом с непрерывным временем и может быть отнесен к простейшим. Это означает, что данный поток заявок не обладает последствием, является стационарным и ординарным, т.е. вероятность попадания на элементарный участок двух и более событий пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью появления одного события. Справедливость этого утверждения подтверждается малостью среднего времени восстановления $T_{\text{в,ср.}}$ по сравнению с временем безотказной работы. Время восстановления в

СТЭЛСС является аналогом времени обслуживания СМО, а производительность СТЭЛСС, равная

$$\mu = 1/T_{в,ср}. \quad (3.11.)$$

эквивалентна параметру пропускной способности СМО.

Как известно основной задачей теории СМО является установление зависимости между характером потока заявок, числом каналов, их производительностью, правилами работы СМО и эффективностью обслуживания. Так как в СТЭЛСС каждый отказ (или неисправность) в течение различного времени обязательно устраняются, эти системы должны быть отнесены к СМО с неограниченным ожиданием. Параметрами эффективности таких систем являются:

- среднее время пребывания заявки на обслуживание в очереди – время устранения отказа (неисправности);
- среднее число заявок в очереди;
- среднее число заявок в системе (в очереди и на обслуживании).

Число каналов обслуживания в системе СТЭЛСС зависит от протяженности анализируемой магистрали. В простейшем случае это число равно 1, а в общем случае СТЭЛСС может быть многоканальной.

Одноканальную ($n=1$) СТЭЛСС с интенсивностью потока заявок (отказов) λ и интенсивностью обслуживания μ можно представить в виде размеченного графа состояний (рис.3.5.).

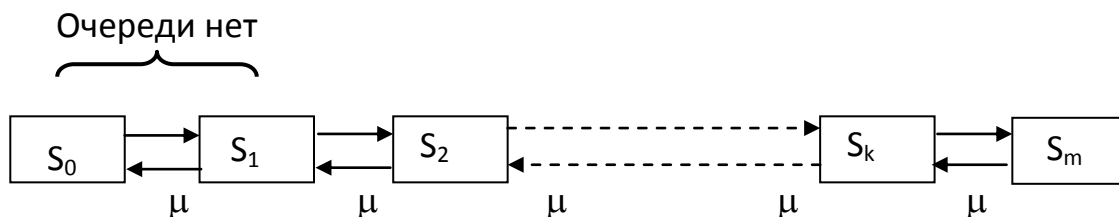


Рис.3.5. Размеченный граф состояний для одноканальной СТЭЛСС.

Пронумеруем состояние СТЭЛСС по числу заявок, находящихся в системе:

- S_0 – канал обслуживания свободен;
- S_1 – канал обслуживания занят, очереди нет;
- S_2 – канал занят, одна заявка стоит в очереди;
- S_k – канал занят, $k-1$ заявок стоят в очереди;
- S_{m+1} – канал занят, m заявок стоят в очереди.

Как видно из рис.3.5., изображенный граф состояний представляет собой схему «гибели и размножения».

Выражения для предельных вероятностных состояний выглядят следующим образом.

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= (1 - \rho)/(1 - \rho^{m+2}); \\ P_1 &= P_0 \rho; \\ P_2 &= P_0 \rho^2; \\ P_{m+1} &= P_0 \rho^{m+2}, \end{aligned} \right\} \quad (3.12.)$$

где,

$\rho = \lambda / \mu$ - коэффициент соотношения между интенсивностью потока отказов и производительностью системы обслуживания, равный

$$\rho = \lambda / \mu = T_{в,ср.} / T_{б.,ср.} \quad (3.13.)$$

Заметим, что при $\rho \ll 1$, когда $T_{в,ср.} \ll T_{б.,ср.}$ вероятность образования очереди в СЭЛСС весьма мала.

Это положение справедливо для полных отказов связи на магистрали. Однако при моделировании процессов в СТЭЛСС для ряда неисправностей, не приводящих к полному закрытию действия связи, или при определении динамических параметров СТЭЛСС значение ρ может быть близким к единице.

Рассмотрим в начале наиболее важный для практики случай полных отказов, когда $\rho \ll 1$. В этом случае при $m \gg 1$ $\rho^{m+2} \rightarrow 0$ и из (3.12.) непосредственно получим:

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= 1 - \rho; \\ P_1 &= (1 - \rho) / \rho; \\ P_2 &= (1 - \rho) / \rho^2; \\ P_k &= (1 - \rho) / \rho^k, \end{aligned} \right\} \quad (3.14.)$$

где,

k – номер состояния СТЭЛСС, для которого при заданной погрешности производится расчет значений P .

Определим среднее число заявок в очереди ($R_{ср.}$), умножая число заявок на значение предельной вероятности (4.12.):

$$R_{ср.} = 1P_2 + 2P_3 + \dots + mP_m \approx P_0 \rho^2 (1 + 2\rho + 3\rho^2 + \dots + m\rho^{m-1}). \quad (3.15.)$$

Сумма, стоящая в скобках, представляет собой производную геометрической прогрессии $\rho + \rho^2 + \rho^3 + \dots + \rho^m$, значение которой равно

$$S = (\rho - \rho^{m+1}) / (1 - \rho). \quad (3.16.)$$

После дифференцирования (1.16.) по ρ получаем

$$S' = [1 - \rho^m(m+1-m\rho)] / (1 - \rho)^2 \quad (3.17.)$$

Подставив (4.17.) в (4.15.), будем иметь

$$R_{ср.} = \frac{\rho^2 [1 - \rho^m(m+1-m\rho)]}{(1-\rho)(1-\rho^{m+2})} \quad (3.18.)$$

Для повреждений с отказом действия связи, когда $\rho^m \rightarrow 0$

$$R_{ср.,отк.} = \rho^2 / (1 - \rho) \quad (3.19.)$$

В ряде случаев кроме среднего числа заявок в очереди представляет интерес определение общего числа заявок в системе ($K_{ср.}$), которое складывается из заявок в очереди и среднего числа обслуживаемых заявок:

$$K_{ср.} = R_{ср.} + (\rho - \rho^{m+2}) / (1 - \rho^{m+2}), \quad (3.20.)$$

где,

$(\rho - \rho^{m+2})/(1 - \rho^{m+2}) = q_{\text{ср.}}$ – среднее число заявок, находящихся на обслуживании; при $\rho^{m+2} \rightarrow 0$ получаем $K_{\text{ср.,отк.}} = R_{\text{ср.}} + \rho = \rho/(1 - \rho)$.

Среднее время ожидания заявки в очереди ($T_{\text{ср.,ожид}}$) определяется суммой:

$$T_{\text{ср.,ожид.}} = P_1 1/\mu + P_2 2/\mu + \dots + P_m m/\mu, \quad (3.21.)$$

или после выполнения суммирования путем подстановки значений из (4.12.)

$$T_{\text{ср.,ожид.}} = R_{\text{ср.}} / \rho \mu = R_{\text{ср.}} / \lambda, \quad (3.22.)$$

где,

$R_{\text{ср.}}$ вычисляется по (4.18.).

Для $P_m \rightarrow 0$ в результате подстановки в (3.21.) выражения (3.19.) получим следующую формулу:

$$T_{\text{ср.,ожид.отк.}} = \rho^2 / \lambda (1 - \rho) = \rho / \mu (1 - \rho) \quad (3.23)$$

Среднее время нахождения заявки в системе ($t_{\text{сист.}}$), определяемое временем ожидания и обслуживания,

$$t_{\text{сист.}} = T_{\text{ср.,ожид.}} + 1/\mu = 1/\mu (1 - \rho). \quad (3.24.)$$

Для случая трудно устранимой неисправности ЛСС с сохранением действия связи введем ограничение очереди заявок числом m_1 (максимальное время ожидания). Тогда, как указывалось выше, вероятность отказа выполнения заявки $P_{\text{отк.}}$ появится, если канал занят и заняты все m_1 мест в очереди:

$$P_{\text{отк.}} = P_{m+1} = \frac{\rho^{m+1} (1 - \rho)}{1 - \rho^{m+2}} \quad (3.25.)$$

Рассмотрим СТЭЛСС с n каналами обслуживания.

Размеченный граф состояний для n -канальной системы с интенсивностью потока заявок λ , производительностью μ и числом мест в очереди m представлен на рис.3.6.

Состояние системы, как и в предыдущем случае, нумеруем по числу заявок и занятых каналов:

- S_0 – все каналы свободны;
- S_1 – один канал занят;
- S_2 – два канала заняты;
- S_n – заняты n каналов;
- S_{n+1} – заняты n каналов, одна заявка в очереди;
- S_{n+m} – заняты n каналов, m заявок в очереди;
- S_{n+m+1} – заняты n каналов, $m+1$ заявка получила отказ.

Пользуясь схемой гибели и размножения, запишем выражения для расчета предельных вероятностей состояний

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \rho / 1! P_0; \\ P_2 &= \rho^2 / 2! P_0; \\ P_n &= \rho^n / n! P_0; \\ P_{n+1} &= \rho^{n+1} / n! n P_0; \end{aligned} \right\} \quad (3.26.)$$

$$P_0 = \left[1 + \rho + \rho^2/2! + \dots + \rho^n/n! + \frac{\rho/n - (\rho/n)^{m+1}}{1 - \rho/n} \right]^{-1} \quad (3.27.)$$

где,
 $\rho = \lambda/\mu$.

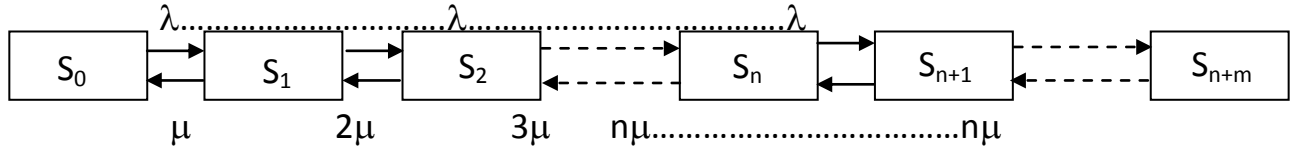


Рис.3.6. Размеченный граф состояний для многоканальной СЭЛСС.

Найдем, используя известные результаты, приведенные для СМО в, основные параметры эффективности СТЭЛСС. Вероятность отказа заявки определится значением P_{m+n} , соответствующим вероятности, что все n каналов и m мест в очереди заняты:

$$P_{отк.} = P_{m+n} = (\rho^{n+m}/n!n^m) P_0. \quad (3.28.)$$

Абсолютная пропускная способность СЭЛСС (Q)

$$Q = \lambda(1 - P_{отк.}) = \lambda[1 - (\rho^{n+m}/n!n^m) P_0] \quad (3.29.)$$

Среднее число занятых каналов равно отношению абсолютной пропускной способности СЭЛСС к производительности одного канала (Z_{cp}):

$$Z_{cp} = Q/\mu = \rho[1 - (\rho^{n+m}/n!n^m) P_0] \quad (3.30.)$$

Среднее число заявок в очереди можно вычислить как математическое ожидание дискретной, случайной величины, умножая любое возможное число заявок на вероятность того, что именно это число заявок будет в очереди, и складывая полученные суммы:

$$R_{cp} = 1P_{n+1} + 2P_{n+2} + \dots + mP_{n+m} = (\rho^{n+1}/n!n)P_0[1 + 2\rho/n + 3(\rho/n)^2 + \dots + m(\rho/n)^{m-1}] \quad (3.31.)$$

или

$$R_{cp} = (\rho^{n+1}/n!n)P_0[1 - (m+1)q^m + mq^{m+1}]/(1-q)^2, \quad (3.32.)$$

где $q = \rho/n$.

Среднее число заявок, находящихся в системе, $k_{cp} = Z_{cp} + R_{cp}$.

Значение среднего времени ожидания определяется умножением среднего времени нахождения заявок в i – том состоянии, где $i \geq n$ – число каналов, равное $1/n\mu$, на соответствующую вероятность:

$$T_{cp,ожид.} = (1/n\mu) P_n + (2/n\mu) P_{n+1} + \dots + (m/n\mu) P_{n+m-1} = (\rho^n/n!n\mu) P_0[1 + 2\rho/n + 3\rho^2/n^2 + \dots + m\rho^{m-1}/n^{m-1}]. \quad (3.33.)$$

Значение $T_{cp,ожид.}$ можно выразить через параметр $q = \rho/n$:

$$T_{cp,ожид.} = (\rho^n/n!n\mu) P_0[1 - (m+1)q^m + mq^{m+1}]/(1-q)^2. \quad (3.34.)$$

Среднее время пребывания заявки в системе определится уравнением

$$T_{cp,сист.} = T_{cp,ожид.} + T_{cp,в.} \quad (3.35.)$$

Таким образом, математическая модель, рассмотренная в 3.2. позволяет теоретически оценить эксплуатационные параметры линейного тракта кабельной магистрали, например, до и после реконструкции выполненной тем или иным способом с точки зрения вероятности безотказной работы и

производительности магистрали, используя оценочные значения интенсивности потока отказов оборудования и аппаратуры линейного тракта. При этом можно рассматривать вопрос стоимости проведения реконструкции, обеспечивающей требуемые значения вероятности безотказной работы.

Рассмотренная в настоящем разделе математическая модель СТЭЛСС позволит установить соотношения и рассчитать средние значения параметров эффективности одноканальных и многоканальных СТЭЛСС в течение длительного времени (год и более), когда вероятности состояний СТЭЛСС принимают свои предельные значения. Эти параметры целесообразно назвать статическими.

Во многих случаях важно знать параметры СТЭЛСС в течении относительно небольшого отрезка времени, характеризующего работу СТЭЛСС в особых условиях. Эти условия возникают на многих магистралях или на их отдельных участках во время сезона максимальной грозовой деятельности, усиление интенсивности оползней почвы и селей в горной местности, весенних паводков, проведении интенсивных земляных или иных строительных работ в районе прохождения магистрали.

Параметры, определяемые в относительно небольшие периоды работы магистрали, характеризующиеся экстремальным состоянием СТЭЛСС, целесообразно назвать динамическими. Для их определения воспользуемся приведенной моделью и полученными соотношениями с тем отличием, что в качестве исходных параметров (λ и μ) необходимо использовать параметры, полученные в экстремальных условиях работы СТЭЛСС.

В качестве примера рассмотрим эффективность одноканальной и многоканальной СТЭЛСС.

Пусть имеется условная магистраль протяженностью 1500 км, которая состоит из 15 участков ОРП-ОРП. Каждый из участков, протяженностью 100 км, обслуживается одной группой ремонтных рабочих, устраняющих повреждения как кабеля, так и линейных сооружений, и работающих независимо друг от друга, т.е. участок ОРП-ОРП представляет собой одноканальную СТЭЛСС.

Поток повреждений имеет среднее значение интенсивности отказов с перерывом связи на участке ОРП-ОРП:

- $\lambda=9,7*10^{-6}$ 1/час;
- время восстановления $T_{\text{ср.,в.}}=6,5$ час. (для ВОЛС можно положить 16 час.)

Определить:

- пропускную способность СТЭЛСС;
- среднее число заявок, находящихся в очереди на обслуживание;
- среднее число заявок находящихся в СЭЛСС (включая ремонт);
- среднее время ожидания заявки в очереди; среднее время пребывания заявки в СЭЛСС.

В данном примере определяются статические параметры СТЭЛСС, так как $\lambda \ll \mu$ или $T_{\text{ср.о}} > T_{\text{ср.,в.}}$.

По ф. (3.11.) находим производительность СЭЛСС - $\mu=1/T_{в,ср.}=0,154$ 1/час;
 По ф. (3.13.) вычисляем параметр ρ - $\rho=\lambda/\mu=6,3*10^{-5}$;
 По формулам (3.14.), так как $\rho \ll 1$, рассчитываем вероятности состояний с погрешностью $\varepsilon < P_0*10^{-6}$ - $P_0=0,99937$; $P_1=6,296*10^{-5}$; $P_2=39,67*10^{-10}$;
 Пропускную способность СТЭЛСС определяем по ф. (3.29.), полагая $n=1$, $m=1$ - $Q=\lambda(1-P_{отк.})=9,7*10^{-6}$;
 Среднее число заявок, находящихся в очереди подсчитываем по ф. (3.19.) - $R_{ср.,отк.}=\rho^2/(1-\rho)=3,97*10^{-6}$;
 Среднее число заявок, находящееся в СТЭЛСС, по (3.20.) - $K_{ср.,отк.}=R_{ср.}+\rho=6,3*10^{-5} \approx 0$;
 Среднее время ожидания заявки в очереди вычисляем по (3.23.) - $T_{ср.,ожид.отк.}=\rho/\mu(1-\rho)=4*10^{-4}$ час.;
 Среднее время нахождения заявки в СТЭЛСС определяем по ф. (3.24.) - $t_{сис.т.}=1/\mu(1-\rho) \approx 6,5$ час.

Из данного примера видно, что для оценки эффективности работы СТЭЛСС при устранении отказов трактов КМ, допустим, после проведения мероприятий по реконструкции магистрали, сопровождающихся перерывом действия связи, очередь в системе практически отсутствует, число заявок в СТЭЛСС стремится к нулю, а среднее время нахождения заявки в СТЭЛСС совпадает с временем восстановления тракта.

Для реконструированных магистралей, например, когда вместо линейных трактов системы передачи К-60п организованы тракты цифровой системы, например, РСМ-480, LS-34, LA-140*2, и появляется значительное число необслуживаемых регенерационных пунктов, эффективность СТЭЛСС одноканального уровня не может, как правило, обеспечить удовлетворительные характеристики по пропускной способности, времени ожидания заявки в очереди и др.

В следующем примере рассмотрим трехканальную СТЭЛСС. Это означает, что на участке ОРП-ОРП, такой же протяженностью в 100 км, обслуживание производится не одной, как в предыдущем примере, а тремя ремонтными бригадами, действующими самостоятельно и с одинаковой производительностью. Допустимая длина очереди $m=3$. Предположим, также, что система СТЭЛСС работает в динамическом режиме, обусловленным внешними факторами, которые приводят к росту числа отказов (сезонные перемещения грунта, активизация грозодеятельности и пр.).

- Находим производительность СТЭЛСС, интенсивность потока отказов в динамическом режиме при среднем числе повреждений в этот период – 35, среднее время восстановления связи по постоянным схемам примем равным 54 часа, а также вычисляем параметр ρ_d : $\mu_d=1/T_{в,ср.}=1,85*10^{-2}$ час; $\lambda_d=2,35*10^{-2}$ 1/час; $\rho_d=\lambda_d/\mu_d=1,27$. Параметр $\rho_d > 1$, следовательно процесс не является сходящимся, т.е. в течение данного отрезка времени число заявок в очереди СТЭЛСС возрастает.
- Вычисляем параметр $q=\rho/n - q=0,423$.

- Находим предельные вероятности по ф. (3.27.) – $P_{0д} \approx 0,3$.
- Вероятность отказа вычисляем по ф. (3.28.) – $P_{отк} = 1,8 * 10^{-2}$.
- Абсолютная пропускная способность СЭЛСС получится равной - $Q = \lambda(1 - P_{отк.}) = 2,35 * 10^{-2}$ 1/час.
- Среднее число заявок в очереди рассчитываем по (4.32.) $R_{ср} = (\rho^{n+1}/n!n)P_0[1 - (m+1)q^m + m q^{m+1}]/(1 - q)^2 \approx 8,3 * 10^{-2}$.
- Среднее число заявок, находящихся в СЭЛСС, - $k_{ср.} = Z_{ср.} + R_{ср} = 1,351$
- Среднее время ожидания вычисляем по ф. (3.34.) $T_{ср.,ожид.} = (\rho^n/n!n\mu) P_0[1 - (m+1)q^m + m q^{m+1}]/(1 - q)^2 = 3,46$ час.
- Среднее время пребывания заявки в системе $t_{сист.д.} = T_{ср.,ожид.} + T_{ср.в.} \approx 58$ час.

Сравнение полученных результатов показывает, что эффективность работы СТЭЛСС с увеличением числа каналов обслуживания в системе (ремонтных и эксплуатационных) существенно возрастает. Однако увеличение числа каналов связано напрямую с увеличением эксплуатационных расходов. Поэтому на практике число каналов обслуживания, определяемое, в конечном счете, численностью эксплуатационного персонала, должно согласовываться со степенью повышения эффективности работы СТЭЛСС.

Рассмотренные математические модели позволяют с достаточно большой степенью вероятности оценить варианты проведения реконструкции действующих магистралей проводимой как с целью расширения пропускной способности последних, так и с целью повышения эксплуатационной надежности и эффективности системы технической эксплуатации.

В настоящее время может рассматриваться три основных варианта проведения реконструкции;

- организация более мощных цифровых систем передачи по существующим металлическим кабельным линиям связи;
- построение составных линейных трактов путем введения волоконно-оптических линий;
- строительство новых волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), как правило, параллельно существующим трассам металлического кабеля.

Одним из основных критериев выбора того или иного способа проведения реконструкции является с одной стороны возрастание трафика на данном направлении, а с другой – какими средствами это достигается. Как следует из рассмотренной выше математической модели эффективность мероприятий по реконструкции возрастает по всем показателям когда в результате реализации проекта достигается уменьшение интенсивности потока отказов - λ и увеличение параметра - $\mu = 1/T_{в.ср.}$. Изменение данных параметров в указанную сторону приводит к возрастанию вероятности безотказной работы и коэффициента готовности, снижению среднего времени ожидания, среднего времени восстановления связи, уменьшению вероятности появления отказов.

Рассматривая возможные варианты проведения реконструкции можно выделить три основных момента:

- при организации трактов ЦСП по существующим металлическим кабелям длина участков регенерации существенно сокращается по сравнению с длиной усилительного участка, появляется много дополнительного активного оборудования (линейные регенераторы) и, соответственно, растут эксплуатационные расходы;
- построение составных линейных трактов, позволяет на отдельных участках магистрали сократить количество активного оборудования, что, естественно, приводит к повышению эффективности СТЭЛСС;
- строительство новых ВОЛС позволяет полностью отказаться от промежуточных необслуживаемых пунктов, что при высокой надежности самого оптического кабеля позволяет сократить затраты на эксплуатацию линейного тракта.

Однако в этом случае, затраты на оптический кабель и строительство могут быть существенно выше, чем в первом случае.

3.4. Эксплуатационные бригады – их формирование, квалификация и оснащение.

В соответствии с основными теоретическими положениями, позволяющими оценить эффективность построения системы эксплуатации, разработаны основные положения по формированию ремонтных кабельных бригад и бригад по обслуживанию и проведению профилактических работ на ВОЛС. Разработаны основные требования к ним.

Технический персонал бригады по обслуживанию ВОЛС обязан знать:

- правила технической эксплуатации, руководства, инструкции, рекомендации, директивные указания по вопросам технической эксплуатации линейного и станционного оборудования ВОЛС;
- теоретические основы волоконно-оптической техники и аппаратуры системы передачи PDH, SDH, в том числе основные параметры волоконно-оптических кабелей, оптических волокон, муфт, кроссового оборудования, мультиплексоров, источников питания, алгоритмы работы системы управления сетью, систем мониторинга (если она установлена);
- методы измерения параметров ВОК и аппаратуры PDH, SDH;
- схемы организации связи на участках сети, электропитания и прохождения линейных трактов по узлам;
- трассы прохождения ВОЛС на участках с привязкой к местности;
- схемы подъезда (подхода) к трассе ВОЛС;
- систему крепления ВОК на опорах, конструкции муфт, оптических и электрических кроссов, мультиплексоров, источников питания и правила их монтажа;
- технологию выполнения работ при снятии и подвеске ВОК на опорах контактной сети, иметь соответствующие документы допуска на работы на контактных сетях или высоковольтных ЛЭП;

- персональный компьютер и порядок инсталляции сетевых мультиплексоров с его помощью;
- общие правила технической эксплуатации, существующие в той отрасли или ведомстве (например, РОСТЕЛЕКОМ, ЭЖД или ГазПром), которой принадлежит конкретная ВОЛС, систему организации аварийно-восстановительных работ, порядок оповещения, сбора и следования бригады к месту работ;
- требования правил техники безопасности, как в части обслуживания ВОЛС, так и при работах в зоне расположения основной транспортной системы;
- эксплуатационную документацию, связанную с обслуживанием ВОЛС и аппаратуры PDH или SDH.

Обслуживающий ВОЛС персонал должен иметь:

- практические навыки в работах по разделке и сращиванию волоконно-оптического кабеля, как механическими соединителями, так и способами сварки;
- опыт работы с необходимой контрольно-измерительной и сварочной техникой;
- опыт настройки и регулировки мультиплексоров PDH, SDH, оборудования электроснабжения;
- права на управление автомобилем (желательно категории «С»);
- персональное удостоверение об окончании соответствующих курсов от организаций, имеющих лицензию на обучение;
- право допуска к самостоятельной работе в условиях, соответствующих особенностям эксплуатации основных объектов отрасли (ведомстве);
- ежегодное переосвидетельствование знаний правил электробезопасности, ПТЭ и ПУЭ.

Принципы формирования эксплуатационных участков (бригад) по обслуживанию ВОЛС и их состав.

На этапе проектирования и строительства как магистральных участков цифровой сети связи Федерального значения, так и внутризоновых или региональных ВОЛС предполагается создать два типа эксплуатационных участков (бригад):

- базовая эксплуатационная бригада, обеспечивающая взаимодействие со структурами служб оперативного управления (СОУ) сети связи магистрального уровня, должна создаваться при каждом региональном операторе;
- линейные эксплуатационные бригады регионального (зонового) оператора.

Базовая бригада от линейной отличается составом оборудования и транспортных средств.

Основными задачами данных подразделений, осуществляющих техническую эксплуатацию линейно-кабельных сооружений и

промежуточных мультиплексоров ввода-вывода или регенераторов в пределах установленного участка, являются:

- обеспечение надежной и высококачественной работы обслуживаемых сооружений и оборудования;
- содержание линейных сооружений и оборудования в соответствии с техническими нормами и требованиями;
- своевременное и высококачественное проведение работ по ремонту и повышению надежности линейных сооружений;
- проведение работ по обеспечению сохранности линейно-кабельных сооружений (ЛКС);
- обеспечение выполнения действующих положений, правил, руководств, инструкций, приказов и директивных указаний по вопросам технической эксплуатации линейных сооружений и сетевого оборудования;
- проведение работ по сбору статистических данных о состоянии ЛКС;
- ведение производственной деятельности и статистической отчетности в соответствии с утвержденными отраслевыми или ведомственными нормами и инструкциями.

В дополнение к этому, на период строительства, бригады непосредственно участвуют в строительном-монтажных и пуско-наладочных работах и выполняют функции технического надзора за ходом строительства.

Базовые бригады оснащаются более сложной измерительной техникой, комплектуются высококвалифицированными специалистами и, в перспективе, по завершении строительства, трансформируются в производственные лаборатории региональных операторов.

В дальнейшем, к вышеуказанным функциям, как в период строительства, так и при последующей эксплуатации, на них возлагаются задачи подготовки кадров и формирования линейных бригад, их оснащение транспортом, механизмами, оборудованием, материалами и измерительной техникой, а также:

- проведение плановых измерений параметров волоконно-оптических линий связи, составление паспортов линейного и сетевого оборудования;
- осуществление метрологического надзора за правильной эксплуатацией измерительных приборов, организация и проведение их поверки в установленные сроки и обеспечение замены в случае несоответствия их параметров современным требованиям, возникающим в процессе развития сети и перехода к более современному оборудованию;
- участие в приемке в эксплуатацию пусковых комплектов при строительстве ВОЛС;
- проведение анализа производственных процессов и внесение предложений по улучшению организации технической эксплуатации, участие в разработке нормативных документов, рекомендаций, инструкций, руководств и технологических карт;

- изучение научно-технической информации по вопросам технической эксплуатации, обеспечение внедрения новой техники, предложений и рекомендаций, направленных на совершенствование эксплуатационной работы.

В качестве примера можно привести структуру формирования эксплуатационных бригад в системе ЭЖД, в частности ЗАО «ТрансТелеКом».

На этапе формирования системы эксплуатации ВОЛС базовые эксплуатационные бригады формируются на железных дорогах и переводятся в прямое подчинение Управлению эксплуатации ЗАО "Компания ТрансТелеКом", с последующим переводом в штат его филиалов на дорогах.

Штат эксплуатационных участков (бригад).

В зависимости от масштабов зон обслуживания и от технической оснащенности участка обслуживания средствами связи состав бригад по обслуживанию ВОЛС может меняться. Оптимальной можно считать бригаду из 5 человек, при ее оснащении легковым автомобилем с прицепом или УАЗ-452 в следующем составе:

- начальник участка эксплуатации ВОЛС - 1 чел.;
- инженер-измеритель ВОК - 1 чел.;
- электромеханик линейно-кабельного оборудования - 1 чел.;
- инженер-измеритель PDH, SDH - 1 чел.;
- электромеханик сетевого оборудования - 1 чел.

Каждый из членов бригады должен уметь выполнять элементарные операции по измерениям ВОК и оборудования PDH, SDH, а также по сращиванию и монтажу ВОК. Обязательным условием является наличие прав на управление автомобилем не менее чем у трех человек.

При оснащении бригады грузовым автомобилем или автомотрисой в состав бригады включается водитель и его дублер.

Штат базовых бригад определяется в зависимости от конкретных объемов строительства ВОЛС и не может составлять менее 5 человек (по аналогии с линейной бригадой).

Помещение для хранения материалов должно быть оборудовано охранно-пожарной сигнализацией, также как и гаражи для стоянки транспортных средств.

Ответственность за сохранность и комплектность оборудования возлагается на начальника участка эксплуатации ВОЛС.

В заключении необходимо сказать, что система эксплуатации и технического обслуживания должна создаваться на единых принципах и, развиваясь далее, сохранять организационно-техническое единство, отвечать международным нормам, обеспечивать высокие параметры качества и надежности связи и быть адаптированной к любым структурным изменениям управления, а также требованиям потребителей услуг цифровой телекоммуникационной сети, выполнять задачи, возникающие в связи с

развитием и построением мультисервисных сетей. Прежде всего, это новое активное оборудование, обеспечивающее весь комплекс современных услуг связи – интернет, цифровое ТВ вещание, мультимедийные опции и пр., которое требует от кабельной техники все большей и большей полосы частот.

Основной целью системы технического обслуживания должна быть минимизация как случаев возникновения, так и влияния отказов, с тем, чтобы, в случае отказа, подготовленный персонал мог быть направлен на выявленное место аварии с необходимым оборудованием, имея достоверную информацию для проведения конкретной работы в установленные сроки.

Конечной целью эксплуатации и технического обслуживания должна быть минимизация общих затрат на содержание сети в течении всего срока ее эксплуатации, складывающихся из капитальных затрат, затрат на использование по назначению, затрат на техническую эксплуатацию и потерь доходов за счет перерывов трафика.

Литература.

1. Никитин, Борис Константинович. Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации направляющих систем электросвязи: учебное пособие / Б. К. Никитин, Л. Н. Кочановский; рец.: Е. Б. Стогов, Т. И. Васильева; Федеральное агентство связи, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникации им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2010. - 192 с.
2. Никитин, Борис Константинович. Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации направляющих систем электросвязи [Электронный ресурс]: учебное пособие / Б. К. Никитин, Л. Н. Кочановский ; рец.: Е. Б. Стогов, Т. И. Васильева ; Федеральное агентство связи, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникации им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2010. - 192 с.
3. Глаголев, С. Ф. Передаточные характеристики оптических волокон: учебное пособие (спец. 210401, 210404, 210406) / С. Ф. Глаголев, В. С. Иванов, Л. Н. Кочановский; рец. Б. К. Чернов; Федеральное агентство связи, СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. - СПб. : СПбГУТ, 2005. - 80 с.
4. Никитин, Борис Константинович. Современные технологии строительства и эксплуатации ВОЛС : учебное пособие / Б. К. Никитин, Г. М. Смирнов, С. Ф. Глаголев ; рец.: Т. И. Васильева, Б. Г. Осипов ; Федеральное агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет

телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ,
2012. - 106 с. – (37 экз.).

Раздел РПД 4. Воздействие окружающей среды на ВОЛС различного уровня. Отказы линейных трактов кабельных магистралей. Статистика повреждений и анализ основных причин, вызывающих отказы. Показатели надежности линейных трактов. Понятие коэффициента готовности и времени восстановления.

Мероприятия по оптимизации и повышению эффективности работы системы технической эксплуатации линейных сооружений связи можно разделить на две большие группы:

- организационные мероприятия, заключающиеся в улучшении системы и структуры эксплуатационной службы кабельных магистралей (КМ), повышении квалификации обслуживающего персонала, что особенно важно в структуре эксплуатации волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), и т.п.;
- мероприятия технического характера, состоящие в разработке и внедрении новых методов и устройств, обеспечивающих улучшение эксплуатационных и технических характеристик подсистем магистральной связи.

Выбор критериев оптимизации СТЭЛСС и разработка технических мероприятий должны базироваться на основе статистических исследований повреждений КМ, результаты которых, безусловно, будут различны для различных регионов.

Анализ причин повреждения КМ и основные параметры СТЭЛСС.

Основной задачей СТЭЛСС является обеспечение бесперебойной работы трактов и каналов при заданном качестве передачи информации и минимальных эксплуатационных расходах. Данная задача решается в условиях воздействия на ЛСС различных дестабилизирующих факторов, приводящих к возникновению отказов, ухудшающих качество передачи информации.

Отказы и неисправности на ЛСС могут возникать в любой момент времени, образуя случайный процесс – поток отказов.

Одним из основных параметров оценки качества работы КМ является плотность повреждений [10, 13, 19] (плотность отказов), приходящихся на 100 км трассы в год

$$n = \frac{100N}{KL},$$

где N – число отказов на магистрали связи длиной L за K лет.

Значение n может определяться отдельно для:

- всех видов отказов, возникающих в системе ЛСС;
- отказов, приводящих к перерыву связи;
- отказов, вызывающих неисправности;
- отказов только линии связи;
- отказов только стационарных устройств;

- отказов различных подсистем ЛСС, и т.д.

Данное разделение при определении плотности отказов обусловлено необходимостью определять параметры надежности тех или иных подсистем служб эксплуатации.

Кроме плотности повреждений важной характеристикой эффективности и качества работы КМ является интенсивность отказов, определяемая средней плотностью отказов на 1 км трассы КМ в час:

$$\Lambda_{CP} = \frac{n}{100 * 8760},$$

где 8760 – число часов в году, 100 протяженность трассы (км), при которой определяется значение. Значения интенсивности потока отказов на отдельных участках магистрали могут существенно различаться в зависимости от условий эксплуатации на этих участках. Кроме того, существует зависимость Λ_{CP} от времени года.

Для однотипной КМ протяженностью L при постоянных условиях эксплуатации интенсивность потока отказов

$$\lambda = \Lambda_{CP} * L.$$

Для КМ, состоящей из участков с различными средними значениями интенсивности отказов $\Lambda_{CP1}, \Lambda_{CP2} \dots \Lambda_{CPi}$, интенсивность потока отказов

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \Lambda_{CPi} * L_i$$

Вероятность безотказной работы за время t определяется, как показывают экспериментальные исследования [52], показательной функцией

$$P = e^{-\lambda t},$$

Отсюда получим, что плотность распределения случайной величины – времени T безотказной работы – подчиняется закону Пуассона:

$$f(t) = \lambda * e^{-\lambda t}.$$

Отказы на КМ могут возникать как в результате внешних воздействий, так и от внутренних причин. Проведем анализ статистических данных по распределению причин повреждений в процентах от их общего числа.

По данным статистики, простой связей из-за повреждения кабелей, выраженный в канало-часах, составляет значительный процент по сравнению с простым из-за станционных повреждений.

Причины повреждений весьма разнообразны. Общее представление о повреждениях на первичной сети можно получить из анализа статистики материалов по отказам за достаточно большой период (данные МС СССР и далее ОАО «РОСТЕЛЕКОМ»).

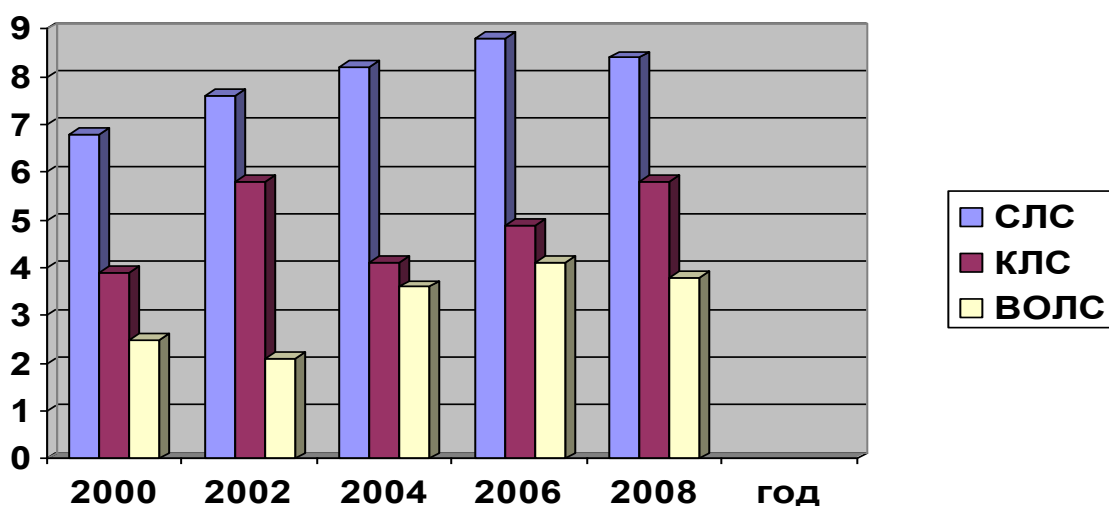
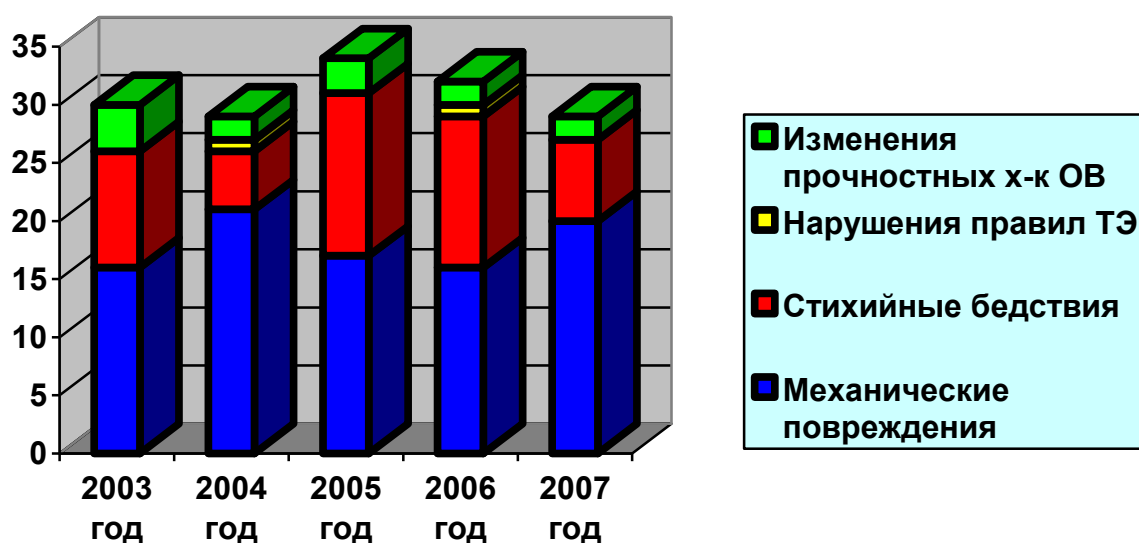
Прежде всего, причины повреждений, которые чаще всего фигурируют в отчетах:

- дефекты строительства и монтажа;
- механические воздействия;
- неправильная эксплуатация;

- коррозия как металлических оболочек кабеля, так о пластмассовых оболочек воздушных ВОК, особенно под воздействием солнечной радиации;
- пробой высоким напряжением, в т.ч. от токов молнии;
- сдвиг и давление почвы;
- повреждения от грызунов;
- старение;
- прочие.

На диаграммах представлена статистика повреждений, от перечисленных выше причин, по магистралям Северо Западного региона.

Эта статистика характерна для Европейской части России, поэтому она



должна быть принята во внимание при разработке различных проектов по СТЭЛСС.

При этом, протяженность ЛС, организованных по симметричным кабелям (СЛС) СЛС=1800км; по коаксиальным (КЛС) КЛС=1400км и протяженность ВОЛС L ВОЛС=1800км. Это, можно сказать, суммарная протяженность участков сети с учетом магистральных, внутризонавых и сельских линий.

Ясно, что количество повреждений техногенного характера (работа сторонних организаций, воровство кабелей и т.п.), которые составляли не более 30% всех повреждений механического характера, в настоящее время приближаются к 50%, причем тенденция к их росту сохраняется на протяжении последних лет.

Процесс устранения отказов на КМ характеризуется средним временем восстановления $T_{CP.B}$, которое складывается из среднего времени обнаружения неисправности $T_{CP.O}$ среднего времени определения характера и места повреждения $T_{CP.ИЗМ}$ и среднего времени ремонта $T_{CP.РЕМ}$. В случае повреждения кабельной линии или НРП (НУП) к этим составляющим добавляется еще время, необходимое для прибытия аварийной бригады $T_{CP.ТР}$ на место повреждения линии. Таким образом,

$$T_{cp.v.} = T_{cp.o.} + T_{cp.izm.} + T_{cp.рем.} + T_{cp.тр.}$$

Уравнение (5.7.) позволяет определить основные пути уменьшения времени восстановления повреждений кабелей связи в структуре СТЭЛСС.

Для КМ время восстановления много меньше времени безотказной работы T_0 , из этого следует, что $\lambda \approx 1/T_0$ и что восстановление исправного состояния КМ происходит в течении случайного времени $T_{CP.B}$, распределенному по показательному закону с параметром $\mu = 1/T_{cp.v.}$ и плотностью, $\Psi(t) = \mu * e^{-\mu t}$.

Параметр μ называют производительностью подсистемы восстановления работы кабельных магистралей, так как он равен числу устраняемых отказов в единицу времени.

Причины повреждения ВОЛС идентичны повреждениям на металлических линиях. Особенно это касается повреждений механического характера.

Установлены также и отличия, связанные с принципами распространения сигнала по волокну, определяемые параметрами оптических волокон.

Одним из основных параметров надежности КМ, является коэффициент готовности K_g , который определяется как отношение суммарного времени исправной работы КМ к общему времени наблюдений. Этот параметр учитывает все составляющие системы эксплуатации и может быть рассчитан для каждой подсистемы отдельно.

$$K_z = \frac{\left(T_0 - \sum_{i=1}^n T_n * n_i \right)}{T_0} = \frac{\left(T_0 - T_B * n \right)}{T_0}$$

Оценочный расчет показателей надежности, выполняемый на стадии проектирования, для магистралей первичной сети при различной протяженности тракта, должен соответствовать значениям, приведенным в таблицах, которые являются целевыми.

Для местной первичной сети, $L_{\text{мпс}} \approx 200$ км.

Показатель надежности	Канал ТЧ или ОЦК	Канал ОЦК на перспективной цифровой сети	Оборудование линейного тракта
Коэффициент готовности	>0,997	>0,9994	>0,9987
Среднее время между отказами, час	>400	>7000	>2500
Время восстановления	<1,1	<4,24	См. примечание

Для внутризонавой первичной сети, $L_{\text{впс}} = 1400$ км.

Показатель надежности	Канал ТЧ или ОЦК	Канал ОЦК на перспективной цифровой сети	Оборудование линейного тракта
Коэффициент готовности	>0,99	>0,998	>0,99
Среднее время между отказами, час	>111,4	>2050	>350
Время восстановления	<1,1	<4,24	См. примечание

Для магистральной первичной сети, $L_{\text{мпс}} = 12500$ км.

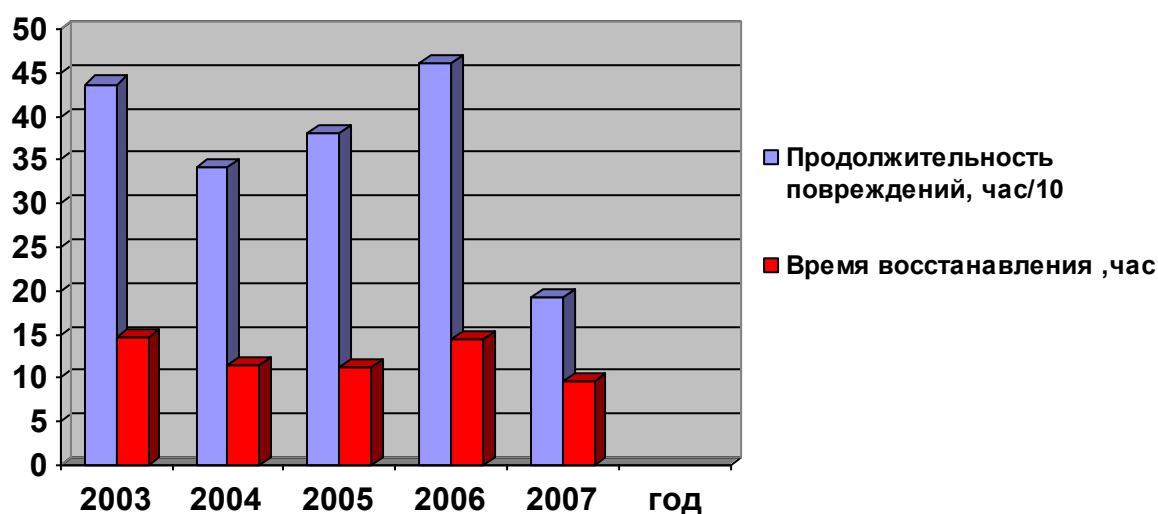
Показатель надежности	Канал ТЧ или ОЦК	Канал ОЦК на перспективной цифровой сети	Оборудование линейного тракта
Коэффициент готовности	>0,92	>0,982	>0,92
Среднее время между отказами, час	>12,54	>230	>40
Время восстановления	<1,1	<4,24	См. примечание

Примечание. Для оборудования линейных трактов время восстановления должно лежать в пределах следующих значений:

- время восстановления необслуживаемого регенерационного пункта (НРП) – $T_v(\text{НРП}) < 2,5$ час. (в том числе время подъезда – 2 часа);
- время восстановления обслуживаемого регенерационного пункта и оконечного пункта (ОРП, ОП) – $T_v(\text{ОРП}) < 0,5$ часа;

- время восстановления симметричного кабеля в зависимости от типа и емкости – $T_{в}(СК)$ в пределах 6 – 8 часов (в том числе время подъезда – 2 часа);
- время восстановления коаксиального кабеля в зависимости от типа и емкости – $T_{в}(КК)$ в пределах 4,6 – 8,8 часов (в том числе время подъезда – 2 часа);
- время восстановления оптического кабеля в зависимости от типа и емкости – $T_{в}(ОК)$ в пределах 10 – 16 часов (в том числе время подъезда – 3,5 часа).

Реальные значения продолжительности повреждений и времени восстановления для ВОЛС, например, представлены на диаграмме рис.5.3.



Статистика восстановления ВОЛС.

Рассчитывая среднее значение интенсивности отказов за год λ на 100км кабельной линии, в соответствии с выражением (5.3) для реальных значений отказов, приведенных на диаграммах, получим:

$$\lambda_{слс}=0,62, \lambda_{клс}=0,91, \lambda_{волс}=0,5.$$

При этом, полученные значения интенсивности отказов различны ввиду различной протяженности КМ и, как следствие, различного количества простоев рассматриваемых магистралей.

Расчет среднего значения коэффициента готовности (K_g) реальных кабельных магистралей с учетом среднего времени восстановления, значения которого приведены в таблицах, получим: $K_{гслс}=0,994$, $K_{гклс}=0,996$, $K_{гволс}=0,996$.

Полученные значения, для сравнения со значениями коэффициента готовности, рекомендованным в таблицах целевых значений, с учетом соответствующих длин магистралей, могут быть пересчитаны путем вычисления числа повреждений приходящихся на 100 км трассы КМ и умножения на соответствующую длину.

При этом получим:

- на местной первичной сети для оборудования линейного тракта - $K_{гслс}=0,987$, $K_{гклс}=0,989$, $K_{гволс}=0,992$;
- на внутризоновой первичной сети для оборудования линейного тракта - $K_{гслс}=0,982$, $K_{гклс}=0,984$, $K_{гволс}=0,986$;
- на магистральной первичной сети для оборудования линейного тракта - $K_{гслс}=0,86$, $K_{гклс}=0,864$, $K_{гволс}=0,862$.

Сравнивая расчетные средние значения коэффициентов готовности с рекомендованными и полученными на основе анализа статистической модели, можно сделать вывод, что реальные их значения достаточно далеки от рекомендуемых, что и вызывает необходимость поиска путей повышения значений последних.

Основные факторы воздействий на ВОЛС в процессе производства, строительства и эксплуатации.

В качестве иллюстрации перечисленных выше положений, можно привести некоторые примеры воздействий на те, или иные ВОЛС и проблемы, которые возникают в процессе эксплуатации.

Оптическое волокно становится ключевым элементом построения современных линий связи и сетей широкополосного доступа. При этом важным требованием, предъявляемым к ВОЛС, является требование к их долговечности.

Однако для увеличения срока службы оптического волокна необходимо выполнить ряд условий в процессе его **производства, строительства и эксплуатации.**

В процессе производства.

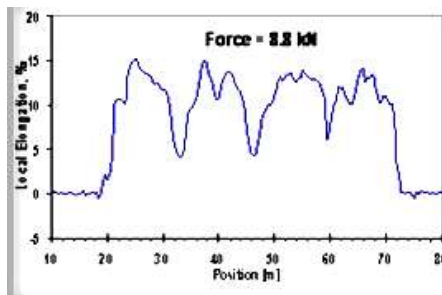
Главное – отсутствие механических напряжений, которые могут возникать в волокне.



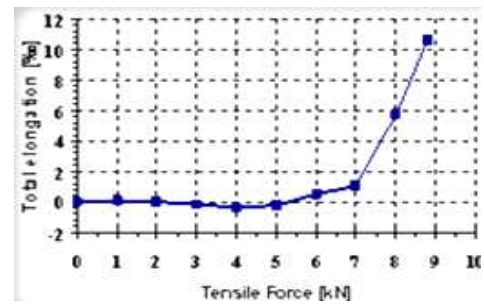
Возможные причины появления механических напряжений внутри оптического волокна - нарушение технологического процесса производства оптоволоконного кабеля.

В результате нарушения технологии изготовления заготовки или в процессе вытяжки волокна, в нем могут возникнуть локальные «вмороженные» неоднородности кварца, которые и являются центрами внутренних напряжений. Подобные

напряжения делают оптическое волокно уязвимым даже к небольшим по амплитуде вибрациям или изгибам.



Измеренные бриллюэновским рефлерефлектометром.



Измеренные методом фазового набега;

Кроме того, могут иметь место нарушения в технологии производства самого кабеля, в результате чего условие свободной укладки волокон в модулях может быть нарушено (рис. 5.5). В этой связи хочется обратить внимание, что использующийся многими кабельными заводами метод фазового набега для контроля механического напряжения оптических волокон в кабеле дает не корректные результаты. Это можно увидеть из результатов теста, который проводила компания Swisscom. На графике - **A)** приведены значения, полученные методом фазового набега, на **B)** – измеренные бриллюэновским рефлектотометром.

Рефлектометр бриллюэновский ANDO AQ8603

Созданный на острие передовых технологий новый бриллюэновский рефлектометр AQ8603 предназначен для обнаружения и анализа механических напряжений волокна в оптическом кабеле, как в процессе его производства, так и в процессе его прокладки и эксплуатации. Значительно возросшая по сравнению с предыдущей моделью точность измерений напряжения в волокне позволяет с высокой достоверностью определить надежность оптического кабеля и вовремя предотвратить ухудшение связи и разрыв волокна.

Области применения.

Оценка качества прокладки и долговечности оптической линии.

Контроль надежности и мониторинг эксплуатируемых оптических линий.

Анализ распределения потерь и внутренних напряжений при производстве оптического кабеля.

Исследования и разработки в области оптических кабелей.

Исследования чувствительности оптического волокна к различным факторам (изменение температуры, натяжение, изгиб).



Технические характеристики.

Дисплей	10,4" цветной ЖК-дисплей 800 x 600 точек				
Отображение результатов измерений	Распределение напряжений по длине линии, спектральное распределение бриллюэновского рассеяния, распределение оптических потерь				
Диапазон установки длины	1, 2, 5, 10, 20, 40, 80 км				
Число точек в рефлектограмме	Макс. 20000				
Диапазон установки группового показателя преломления	1,00000€1,99999 (с шагом 0,00001)				
Погрешность измерения длины	$\pm(2,0 \cdot 10^{-5}) \cdot L_{OV}$ (м) + 2-х разрешение считывания)				
Диапазон измеряемых внутренних напряжений	От -1,5% до +1,5% (от -15000 до +15000 me)				
Погрешность измерения напряжений	$\pm 0,004\%$ (2s) $\pm 0,003\%$ (2s)				
Применяемое волокно	Одномодовое SM 10/125				
Длина волны	1550 нм				
Диапазон измеряемых частот сдвига	От 9,9 до 11,9 ГГц				
Установка интервала частоты сдвига	1, 2, 5, 10, 20, 50 МГц				
Длительность импульса	10 нс	20 нс	50 нс	100 нс	200 нс
Пространственное разрешение, м	1	2	5	11	22
Динамический диапазон, дБ	2	6	10	13	15
Измеряемая длина, км	7	20	30	50	55
Интерфейсы	Последовательный порт: RS-232C (9-pin разъем) GP-IB порт Видео выход: SVGA (15-pin разъем) Клавиатура, мышь: PS/2				

В процессе строительства.

Это нарушение норм, регулирующих процессы прокладки оптического кабеля. К сожалению, избежать оплошностей и ошибок при прокладке кабеля невозможно.

Все изгибы кабеля с радиусом меньше рекомендованной величины, различного рода заземления или неправильный крепеж кабеля обернутся в итоге повышенным натяжением волокна в кабеле и его преждевременным разрушением.

Безусловно, отдельно нужно рассматривать вопросы надежности при строительстве ВОЛС различными способами - путем прокладки кабеля в грунт, защитную трубу, воздушные способы, в основных вариантах – это подвеска, ВОК в грозозащитном тресе, самонесущий ВОК, навивная технология, т.к. факторы влияющие на стабильность параметров ВОЛС в этих вариантах разные.



Плохая подготовка траншеи, наличие камней и неоднородностей грунта

Прокладка ВОК в плохо подготовленную



Рис.5.8. Перемещение грунта в результате землетрясения.



Рис.5.9. Прокладка и монтаж кабеля в мороз.



Рис.5.10. В таких условиях вечной мерзлоты прокладка кабеля в грунт практически

При прокладке кабеля в грунт это, прежде всего подготовленность траншеи, отсутствие в ней различных неоднородностей – камней, уплотнений грунта, посторонних предметов и пр. Необходимо учитывать возможность смещения слоев грунта в результате его вспучивания (таяние

вечной мерзлоты, селевые потоки, оползни и пр.). Прокладка ВОК в условиях отрицательных температур чревата нарушениями внутренней структуры кабеля. При отрицательных температурах, какой бы хороший не был гидрофобный наполнитель, его вязкость возрастает, что препятствует свободному перемещению волокон в сердечнике кабеля и является причиной

Прокладка и монтаж ОК в мороз и без передвижной лаборатории. В мороз изменяется вязкость гидрофобного наполнителя, что приводит к дополнительным

возникновения дополнительных напряжений (рис.5.9). Даже незначительные подвижки слоев грунта могут оказаться фатальными для целостности волоконного кабеля и привести к обрыву волокон в нем. Особенно сильно этот процесс проявляется в районах с повышенной сейсмоактивностью (рис.5.8.), в местах разломов горных пород и в районах вечной мерзлоты (рис.5.10.). В таких условиях не рекомендуется прокладывать оптический

кабель в грунт, целесообразно применять воздушные способы строительства, вплоть до восстановления опор воздушных линий связи, которые были построены еще в начале прошлого века.

В городских условиях, это, прежде всего, просаживание каналов кабельной канализации в результате различного рода протечек городских коммуникаций.

При прокладке волоконно-оптического кабеля в городской черте широко используются канализационные коммуникации, которые в свою очередь подвержены деформациям в результате, например, просадки грунта (рис.5.11).

Так как кабель внутри них обычно жестко фиксируется, то в результате деформаций канализационных ходов могут возникать локальные деформации оптических волокон.

Возникшие напряжения, в последствии, неминуемо приведут к обрыву оптического волокна.

В данном случае оптическое волокно может выступать в роли сенсора подобных деформаций. Имея соответствующее измерительное оборудование, по характеру возникших напряжений внутри волокна можно судить о масштабе и опасности деформаций.

Слабым местом воздушных способов строительства является некорректное крепление кабеля к телу опоры. В результате воздействия ветровых нагрузок с течением времени на оболочке кабеля появляются трещины, которые вызывают дальнейшее ее разрушение. Отсутствие защитного контейнера в местах соединения строительных длин (рис.5.12) приводит к тому, что в осеннее – зимний период между витками технологического запаса кабеля накапливается влага, которая, естественно, замерзает и увеличивается в объеме. Это вызывает постоянное перемещение витков кабеля относительно друг друга, дополнительные изгибы и напряжения.

Подвеска кабеля в мощном электрическом поле чревата развитием трекинг-процесса (возникновением поверхностных токов - треков, протекающим по микротрещинам в оболочке кабеля), который вызывает достаточно быстрое разрушение (сгорание) всего кабеля.



Рис.5.11. Просаживание грунта и повреждение кабельной канализации



Неудачное крепление самонесущего ВОК. В месте крепления троса к опоре и кабеля к тросу, при ветровых нагрузках повреждение неотвратимо.

Отсутствие защитного контейнера для муфты и технологического запаса ВОК.

Рис.5.12. Крепление самонесущего ВОК к опоре



Рис.5.13. Обледенение ВОК.

5.5. Перепады температуры окружающей среды (сезонные и среднесуточные).

Так как кварц, элементы кабельного сердечника, защитная оболочка волоконного кабеля, средства его крепежа, грунт и материалы коммуникаций имеют различные коэффициенты теплового расширения, то в случае резкого перепада температуры могут возникнуть существенные напряжения внутри оптического волокна из-за неравномерного расширения соприкасающихся материалов. В результате большие среднесуточные колебания температуры окружающей среды могут привести к разрушению волокна.

Как и в случае с обычным электропроводом, возникает проблема, связанная с обледенением определенных участков кабеля в зимний период (рис.5.13).

Соответственно, натяжение волокна под весом льда будет причиной появления напряжений внутри волокна, которые могут оказаться необратимыми и значительно сократить его срок службы.

5.7. Ураганные нагрузки на опоры и подвесные кабели.

В последнее время все более популярным становятся воздушные методы прокладки оптического кабеля с подвешиванием его, на различного рода опорах - телеграфных и



Рис.5.14. Повреждения опор ЛЭП и ВОЛС, на них подвешенной.

может привести к многократному уменьшению его срока службы.

Вдумайтесь: время жизни волокна в нормальных условиях эксплуатации (при относительном удлинении волокна меньше 0,3 %) составляет 25 лет и более, в то время как уже при относительном удлинении 0,6 – 0,7% разрыв волокна произойдет в течение 1 (одного)!!! года.

Таким образом, надежность волоконно-оптических линий связи невозможно оценить, не имея достоверной информации о

высоковольтных столбах линий электропередач, контактных сетей электрофицированных железных дорог и пр.

Однако все опоры рассчитаны на определенные нагрузки и при возникновении нештатных ситуаций они могут быть повреждены (рис.5.14).

5.8. Просаживание фундаментов зданий, мостов, эстакад и прочих инженерных сооружений.

Проблемы, аналогичные описанному выше, возникнут с волокном в случае просаживания фундаментов инженерных строений или при деформации их отдельных частей (рис.5.15, 5.16).. Повышенное натяжение волокна в кабеле вызывает деградацию его прочностных характеристик, что в конечном итоге приводит к разрыву волокна. Даже незначительное увеличение натяжения волокна



Рис.5.15. Обрушение и просаживание фундаментов зданий.



Рис.5.16. Разрушение мостов и эстакад в результате наводнений. оползней.

натяжении волокна в кабеле. Необходимо, однако, отметить, что зачастую все вышеперечисленные явления являются относительно медленными во времени процессами. И с момента появления напряжений в волокне до момента обрыва пройдет не один месяц, а возможно и год.

И с момента появления напряжений в волокне до момента обрыва пройдет не один месяц, а возможно и год. За этот промежуток времени

можно не только обнаружить проблему, но и устранить ее, имея соответствующее измерительное оборудование. Обычные оптические рефлектометры не в состоянии определить натяжение волокна, поскольку величина оптических потерь при возникновении напряжений в световоде, как правило, остается в пределах нормы вплоть до момента наступления необратимых изменений в нем.

Безусловно, основной мерой оценки надежности ВОЛС может служить статистическая информация о причинах, характере и количестве повреждений на линиях, работающих в различных условиях.

Эту информацию в современных трактах, основанных как на металлических кабелях, так и волоконно-оптических, собирают системы мониторинга. Эти системы в той или иной мере отвечают потребностям СТЭЛСС, но они достаточно дороги и если трафик на заданном участке невелик, то используют самые простейшие системы. Определить место повреждения ВОК или отказавший узел в аппаратуре это только половина дела.

Другая задача и, пожалуй, главная в СТЭЛЛС – это устранить этот отказ, как показывают выражения 5.7, 5.8, в самое короткое время. И вот здесь мы вплотную подходим к вопросу оптимизации СТЭЛСС, основные критерии которой:

- объем трафика на данном участке;
- потери доходов при его сокращении в результате отказа;
- время восстановления трафика (не путать с временем восстановления ВОЛС);
- затраты на мероприятия по восстановлению трафика и их сравнение с потерями доходов;
- количество и состав инженерно-технического персонала, обслуживающего данную ВОЛС;

- оснащенность техническими средствами для ремонта и измерения;
- оснащенность запасным оборудованием (кабелем, пассивными компонентами, аппаратурой и ее частями);
- транспортные проблемы.

Оценка этих критериев может быть выполнена на основе положений гл.4 и статистического анализа состояния ВОЛС в данном регионе.

Литература.

1. Семёнов С. Л. Физические процессы, определяющие прочность и долговечность волоконных световодов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 1997 г.

2. Ларин Ю.Т., Оптические кабели: методы расчета конструкций. Материалы. Надежность и стойкость к ионизирующему излучению. М.: Престиж, 2006 г.

3. Спиридонов, В.Н. Цели и задачи технического надзора при строительстве ВОЛС // *Lightwave*. 2004. № 2.

4. Надежность оптических кабелей связи / Ю.Т. Ларин. – М.: Информэлектро, 1990. – 35 с.

5. Некоторые аспекты эксплуатации и надежности ВОЛС / Б. Никитин, Е. Стогов // *Первая миля*. 2008. № 2.

6. Аварийно-восстановительные работы на ВОЛС / Л.М. Овсянников // *Фотон-экспресс*. 2000. № 20.

7. Б.Д. Носков. Строительство волоконно-оптических линий с прокладкой кабелей в пластмассовых трубопроводах. Автоматика, телемеханика и связь, 1997.

8. Руководящий технический материал по технической эксплуатации волоконно-оптических систем передачи на внутризональных и магистральных первичных сетях ВСС России / ЦНИИС. – М., 1997.

Раздел РПД 5. Методы проведения ремонтно-восстановительных работ. Пути сокращения времени простоя трактов при возникновении отказов. Системы резервирования линейных трактов. Волоконно-оптические кабельные вставки. Методы контроля параметров кабельных вставок.

Система автоматического мониторинга оптических волокон ONMS ATLAS.

В настоящее время эксплуатация ВОЛС не обходится без развертывания систем мониторинга того или иного уровня.

Системы непрерывного мониторинга оптических волокон позволяют оперативно локализовать неполадки и деградации волокна и должны предусматриваться на этапе проектирования цифровых сетей связи в структуре СТЭЛСС.

Это особенно важно и актуально для ВОЛС на воздушных линиях электропередачи (ВОЛС-ВЛ), применяемых при создании больших корпоративных сетей связи крупными энергокомпаниями. Такие ВОЛС-ВЛ имеют очень высокую надежность, но при этом в случае аварии требуют значительных затрат времени и материально-технических ресурсов на проведение аварийно-восстановительных работ.

Именно поэтому системы непрерывного мониторинга оптических волокон в ВОК ВОЛС приобретают особую значимость при построении современных цифровых мультисервисных сетей.

В качестве примера рассмотрим построение системы ATLAS выпускаемой компанией Wavetek Wandel&Goltermann

Система ONMS ATLAS зарекомендовала себя как удобное средство выявления и анализа неисправностей возникающих при эксплуатации волоконно-оптических линий связи.

ONMS ATLAS позволяет регистрировать аварии и локализовывать их в кратчайшие сроки, исключая таким образом, необходимость проведения измерений традиционными способами.

Физически система мониторинга ONMS ATLAS состоит из следующих компонентов:

Системы дистанционного тестирования волокон **RFTS (Remote Fiber Test System)** как правило, строятся по одной и той же схеме. При этом выделяют следующие функциональные элементы и устройства:

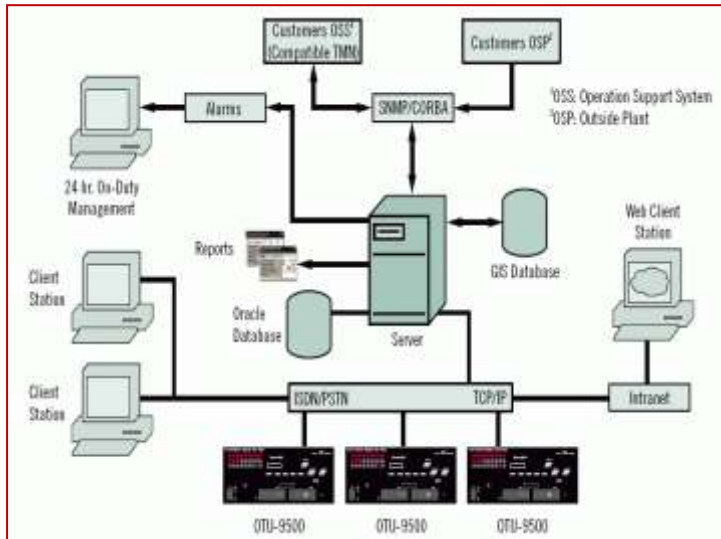
- аппаратную часть;
- систему управления;
- интегрированные элементы:
 - геоинформационную систему (ГИС) привязки топологии сети к карте местности;
 - базы данных ОК, оборудования сети, критериев и результатов тестирования ОК ВОЛС и сети в целом, и другие внешние базы данных.

Аппаратная часть:

- блоки дистанционного тестирования волокон RTU (Remote Test Unit), в которые устанавливаются модули оптических рефлектометров OTDR

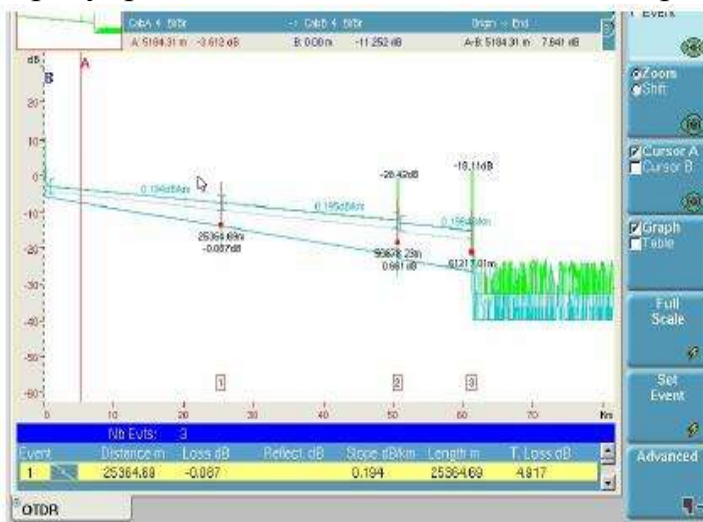
(Optical Time Domain Reflectometer), модули доступа для тестирования волокон OTAU (Optical Test Access Unit) - оптические коммутаторы, мультиплексоры WDM и другие модули;

- центральный блок управления TSC (Test System Control) системой RFTS - центральный сервер где собирается вся информация о состоянии сети в целом и по отдельным ее сегментам;
- станции контроля сети ONT (Optical Network Terminal) – обеспечивают сбор информации с блоков RTU, их предварительную обработку и передачу информации в TSC на заданном фрагменте сети.



Структура системы мониторинга ATLAS.

RTU автоматически посылает на центральный сервер предупреждение или сообщение о неисправности.



Рефлектограмма волокна в базе данных

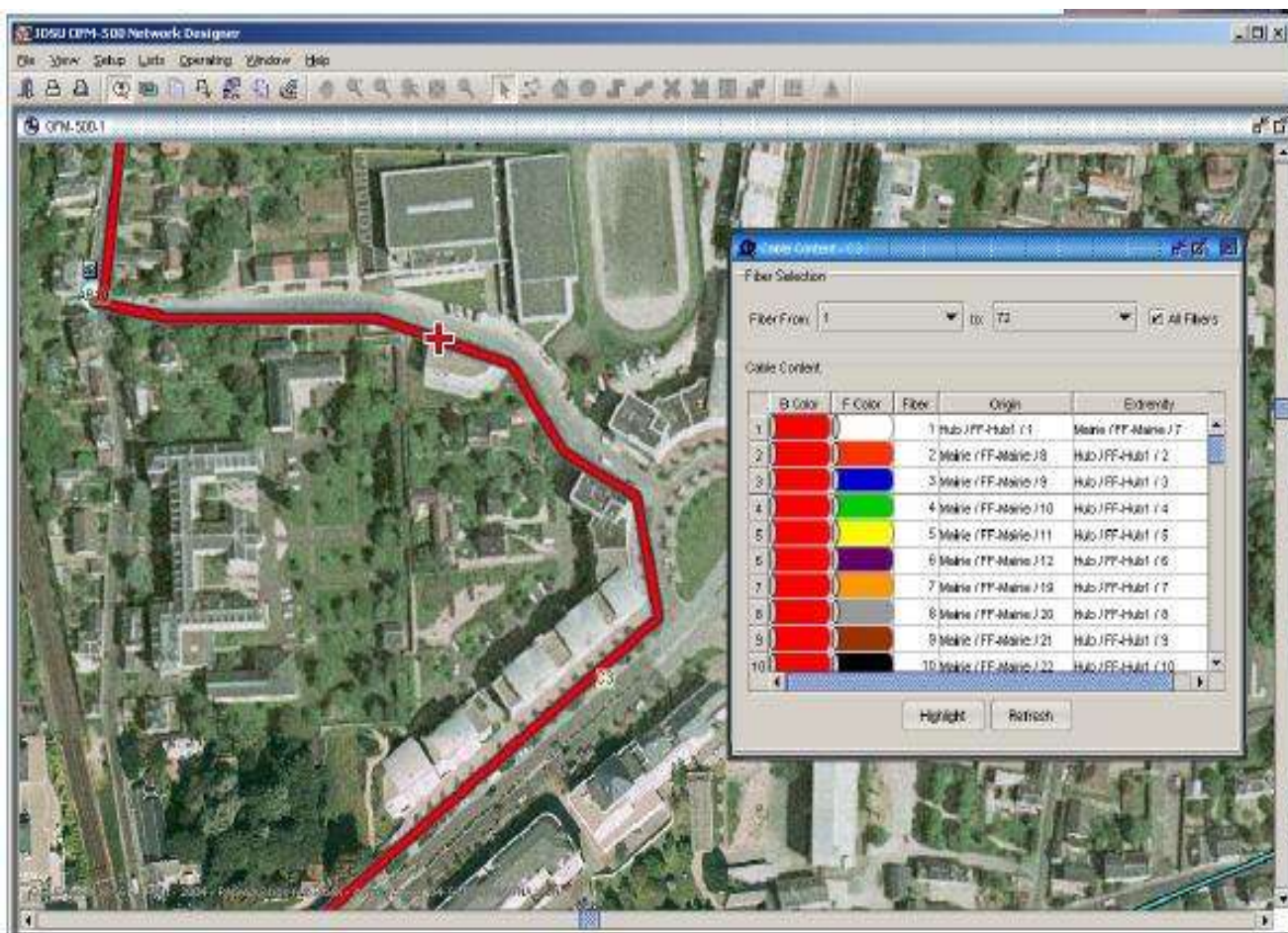
Оптический рефлектометр периодически снимает данные по затуханию с подключаемых к нему оптических волокон сети. Каждая полученная рефлектограмма сравнивается с эталонной, отражающей обычно исходное состояние волокна. Если отклонение от нормы превышает определенные, заранее

установленные пороги (предупреждающий или аварийный), то соответствующий блок

Все рефлектограммы также поступают на центральный сервер, который сохраняет их в базе данных для дальнейшей обработки. Центральный сервер системы обеспечивает доступ ко всем результатам тестирования волокон для любой станции контроля сети и автоматически рассылает сообщения о неисправностях в зависимости от уровня серьезности события на заранее заданные IP- или электронные адреса, пейджеры и телефоны, узлы

обслуживания ВОЛС.

Данные по сети интегрируются в географические информационные системы (GIS), системы управления (OMS) и системы документооборота.



Привязка ВОЛС к карте местности.

Основные характеристики блока дистанционного тестирования OUT-9500.

Параметры модулей OTDR:

Рабочая длина волны – 850, 1310, 1550, 1625 нм;

Ширина тестового импульса - 3 нс – 20 мкс;

Максимальная тестируемая длина ОВ – ВОК. 380 км;

Динамический диапазон – 16 – 43 dB;

Мертвая зона по событию – 1,5 – 8 м;

Мертвая зона по затуханию – 5 – 30 м;

Емкость внутренней памяти – 400 рефлектограмм по 128 000 точек.

Параметры модулей WDM:

Оптический диапазон – 1525 – 1570 нм;

Минимальный интервал между каналами – 0,05 нм;

Измеряемый уровень мощности - -70 - +20 dBm;

Измеряемый OSNR – 33 dB (в полосе 0,1 нм).

Оптический коммутатор:

Максимальное количество модулей – 3;

Количество портов в одном модуле – 2 – 32;

Рабочая длина волны – 850, 1310, 1550 и 1625 нм;

Вносимое затухание – 0,6 дБ.

Волоконно-оптические кабельные вставки для ВОЛС.

Ремонтно-восстановительные (РВР) и аварийно восстановительные работы (АВР) на ВОЛС рекомендуется проводить с использованием временных волоконно-оптических кабельных вставок (ВОКВ), которые позволяют существенно сократить время потери трафика за счет короткого времени развертывания и восстановления ВОЛС по временной схеме.

Виды повреждений ВОК классифицируют как:

- одиночный обрыв ВОК;
- обрыв ВОК в нескольких местах;
- повреждение ВОК с обрывом всех или части ОВ и с сохранением целостности защитных покровов;
- повышенное затухание ОВ;
- повреждение наружной полиэтиленовой оболочки ВОК с сохранением работоспособности ОВ при сохранении целостности металлических бронепокровов;
- повреждение наружной полиэтиленовой оболочки ВОК с сохранением работоспособности ОВ при нарушении целостности бронепокровов.

Различают несколько типов вставок предназначенных для проведения РВР и АВР при различных видах повреждений.

Вставки ремонтные оптические короткие.

Предназначены для аварийного, временного восстановления работы волоконно-оптической линии связи при одиночном обрыве, обрыве всех или части ОВ в одном месте. Протяженность кабеля вставки до 250 м, что обусловлено спецификой механических повреждений оптических кабелей, которая состоит в том, что волокна кабеля в процессе повреждения могут быть вытянуты из модуля или трубки. Оценка расстояний, на которых могут



быть повреждены волокна от места повреждения кабеля, составляют ± 100 м. Кроме того, возможно проникновение влаги в поврежденную оболочку кабеля. Подключение поврежденного оптического кабеля к кабелю вставки осуществляется при помощи механических соединителей типа Corelink, Fibrlok, механических сплайсов или сваркой.

Короткая ВОКВ, внешний вид.

Основные требования к кабелю вставки:

- допустимое растягивающее усилие, кН – не менее 1,5;
- допустимое раздавливающее усилие, кН/100 мм – не менее 4;

- стойкость к осевому кручению на угол $\pm 360^\circ$ на длине 4 м, циклов – не менее 10;
- количество допустимых перемоток с радиусом 180 мм при температуре не ниже минус 30 °С, циклов – не менее 20;
- тип ОВ - одномодовое, соответствующее рекомендации G. 652C ITU-T.

При таком способе подключения на каждом конце кабеля вставки монтируется временная оптическая муфта, внутри которых располагаются приспособления для крепления механических соединителей и оптических волокон кабелей.

Волокна поврежденного кабеля при помощи механических соединителей подключаются к волокнам кабеля вставки.

Это наиболее быстрый и эффективный способ восстановления связи на поврежденном участке или организации и проведении ремонтно-восстановительных работ. Время развертывания такой вставки лежит в пределах 2 – 3 час.

Многоэлементные ВОКВ.

Достаточно часто в структуре СТЭ ВОЛС возникает необходимость проведения ремонтно-восстановительных работ на строительной длине магистрального оптического кабеля при возникновении обрыва ВОК в нескольких местах, повышенное затухание ОВ и других повреждениях, требующих проведения ремонтных работ на участках значительной протяженности. В этом случае возникает желание осуществить временное резервирование всей строительной длины, протяженность которой достигает 6 км.

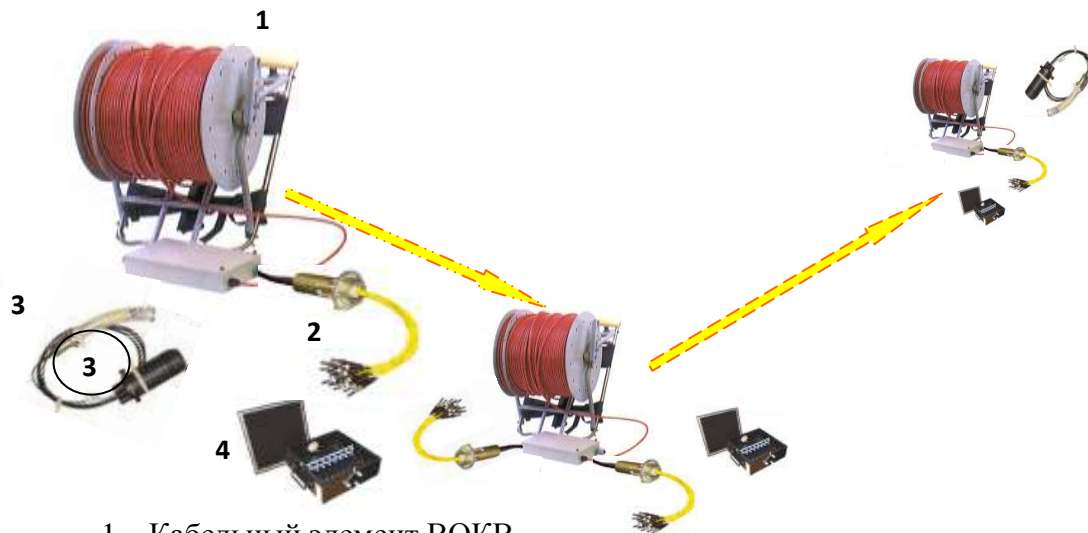
Решение этой задачи возможно двумя способами:

- применение многоэлементных ВОКВ;
- развертывание одноэлементной ВОКВ.

Структура многоэлементных ВОКВ включает;

- кабельная секция (1) – отрезок кабеля протяженностью 500 – 800 м размещаемый на размоточном устройстве;
- гибкий элемент подключения вставки к коммутационной панели (2) с розетками типа FC/PC;
- гибкий элемент подключения вставки к магистральному ВОК (3) с муфтой типа МТОК – 96 или другого аналогичного типа;
- промежуточный контейнер с коммутационной панелью (4) для соединения элементов вставки.

Гибкий элемент подключения ВОКВ к магистральному кабелю представляет из себя пиг-тейл с числом ОВ равным числу ОВ кабеля вставки, оконцованный с одной стороны коннекторами типа FC/PC, другой конец введен в оптическую муфту типа МТОК-96, MOM-у, FOOSC-400 и подготовлен к соединению с волокнами магистрального кабеля тем, или иным способом.



1. Кабельный элемент ВОКВ.
2. Гибкий элемент подключения вставки к кроссу с розетками типа FC/PC.
3. Гибкий элемент подключения вставки к магистральному ВОК с муфтой типа МТОК – 96
4. Промежуточный контейнер для соединения элементов вставки.

Основным недостатком применения многоэлементных ВОКВ на ВОЛС является наличие большого числа разъемных соединений, что приводит – во первых, к росту потерь на вставке, во вторых к росту возвратных потерь и существенному возрастанию дисперсии на данном участке.

При максимальной протяженности строительной длины в 6 км и длине элемента вставки в 1 км, на этом участке необходимо будет установить 6 последовательно соединенных элемента. При этом минимальное число разъемных соединений, будет равно – 7. Если предположить, что потери в разъемных соединениях не превышают 0,2 дБ, а потери в волокне вставки не более 0,22 дБ/км, то не трудно сосчитать, что суммарные потери на вставке будут, как минимум:

$A_{\text{ВОКВ}} = 7 * 0,2 + 6 * 0,22 = 2,72$ (дБ), и это без учета потерь в местах соединения с магистральным кабелем.

Если сравнить эти цифры со значением системного запаса, то может оказаться, что данная вставка, на конкретной ВОЛС работать не будет, т.к. бюджет линии будет не соответствовать системному запасу.

Вторым важным фактором, определяющим возможность использования многоэлементной ВОКВ на заданной ВОЛС, является скорость передачи. Чем выше скорость передачи, тем жестче требования к суммарной дисперсии в оптическом тракте.

При установке многоэлементной вставки с большим числом разъемных соединений возникает множественное число отражений от каждого элемента вставки в силу незначительной протяженности элемента и, соответственно, малых потерях в нем.

Так, например, уровень возвратных потерь в стандартных разъемах типа FC/PC не превышает 45 – 50 дБ, что приводит к росту искажений импульсных сигналов на каждом разъемном соединении до 3 – 5 %, а при

коротких длинах оптического волокна как на одном элементе вставки, суммарные искажения могут достигать значительных величин.

Это сказывается на возможности использования многоэлементных ВОКВ на ВОЛС, где организованы высокоскоростные тракты. По предварительным оценкам это уровень STM-4 (622 мГбит/сек) и выше.

Однако применение таких вставок оправдано тем, что вес одного элемента не превышает 32 – 34 кг и он может быть развернут вручную. Это важно в условиях прохождения трассы ВОЛС в сложно-пересеченной местности. Остальные элементы ВОКВ устанавливаются без проблем.

Монтажные и измерительные работы на ВОЛС в процессе строительства и эксплуатации.

Монтаж всех элементов ВОЛС в полевых условиях осуществляется **обязательно** в монтажной машине (передвижной лаборатории). Это обеспечивает:



Передвижная лаборатория по монтажу, ремонту и восстановлению волоконно-оптического кабеля.

- защиту монтируемых элементов от воздействия атмосферных факторов;
- препятствует попаданию пыли, грязи и пр. в конструкцию оптических элементов;
- нормальные условия работы технического персонала, т.к. эта работа требует особого внимания и высокой концентрации;
- выполнение всех технологических операций при плюсовых температурах, т.к. большинство приборов и устройств, для монтажа ОВ, не могут работать или не обеспечивают

требуемого качества процесса при отрицательных температурах;

- маневренность и доступность связи с пунктами по трассе ВОЛС.

В качестве примера реализации передвижной лаборатории может служить технологическая машина для выполнения полевых работ на ВОЛС, предложенная ОАО «РОСТЕЛЕКОМ». В состав машины входит достаточно много необходимого оборудования, инструментов и материалов.

Примерный состав оборудования лаборатории может выглядеть следующим образом:

- автомобиль типа «ГАЗ-27057», 2003 г. выпуска (к примеру).

Измерительное оборудование:

- рефлектометр «MTS-5100»;
- оптический телефон «PHOTOM 450»;
- трассоискатель «ЗМ»;
- источник оптического излучения «WG-OLS-15»;
- измеритель «WG-OLP-15А»;
- нормализующая длина – катушка оптического волокна $L=1,5$ км.

Монтажное оборудование:

- сварочный аппарат «FSM 40S»;
- скалыватель СТ-20 – 2 шт.;
- комплект инструмента «НИМ 25»;
- инструмент для монтажа защитной полиэтиленовой трубки (ЗПТ);
- муфты MOM-у, МТОК-96, FOOSC-400 в количестве 4 шт. (как минимум);
- муфты для ЗПТ в количестве ... шт.;
- теплоэлектровентильатор;
- электрофен;
- средства радиосвязи.

Средства скорейшего восстановления связи, располагаются, как правило, в другой машине:

- волоконно-оптическая кабельная вставка – короткая, $L=250$ м.;
- многоэлементная, длина элемента $L_{эл}=0,8 - 1,0$ км, количество элементов определяется конкретно для данной ВОЛС.

Все варианты кабельных вставок должны быть полностью укомплектованы в соответствии с технической документацией на вставку.

Кроме того:

- бензоэлектростанция 220В; 3,5 Квт.;
- комплект исполнительной документации на ВОЛП.

Кроме оборудования для работы на волоконно-оптическом кабеле, необходимо оборудование для проведения земляных работ, которое размещается отдельно в специальном отсеке, либо на другом автомобиле.

1. Палатка кабельная – 2 шт.;
2. Стол монтажный - 2шт.;
3. Бензопила;
4. Кабель вводной;
5. Электронасос погружной с пожарным рукавом;
6. Электромолоток;
7. Набор слесарных инструментов;
8. Инструменты (лопаты, лом, топор);
9. Светильники;
10. Штырь заземления;
11. Держатель кабельный;

12. Удлинитель для электроинструмента на катушке;
13. Спецодежда;
14. Аптечка;
15. Противопожарные средства.

Состав аварийной (ремонтно-восстановительной) бригады - 5 человек.

Для проведения двухсторонних измерений, на оконечных пунктах находятся 2 измерителя (по одному с каждой стороны) с рефлектометром и оптическим тестером.

Основные выводы, которые можно сделать даже из простейшего анализа ситуации, связанной с вопросами совершенствования системы технической эксплуатации ВОЛС (по крайней мере, в России):

- работы, направленные на построение совершенных систем мониторинга ВОЛС, безусловно, обеспечивают должное выполнение основной своей функции – обнаружение причины отказа и возникновение места повреждения, даже отказов развивающихся во времени, однако из-за высокой стоимости оборудования и программного обеспечения эти системы применяются только на уровне магистральных ВОЛС с большим объемом трафика;
- ни одна система мониторинга не способна восстановить линию или устранить отказ (оборудования аппаратуры ВОЛС, линейного тракта. и, тем более, кабеля), да эта задача и не ставится перед ней;
- для обеспечения параметров надежности ВОЛС, которые можно встретить в различных нормативных документах, необходимо совершенствовать систему технической эксплуатации, прежде всего с точки зрения построения системы обслуживания и выполнения аварийно и ремонтно-восстановительных работ непосредственно на трактах ВОЛС с привлечением дополнительного современного оборудования и средств.

Контроль характеристик ВОКВ. Изменение характеристик в процессе эксплуатации ВОКВ.

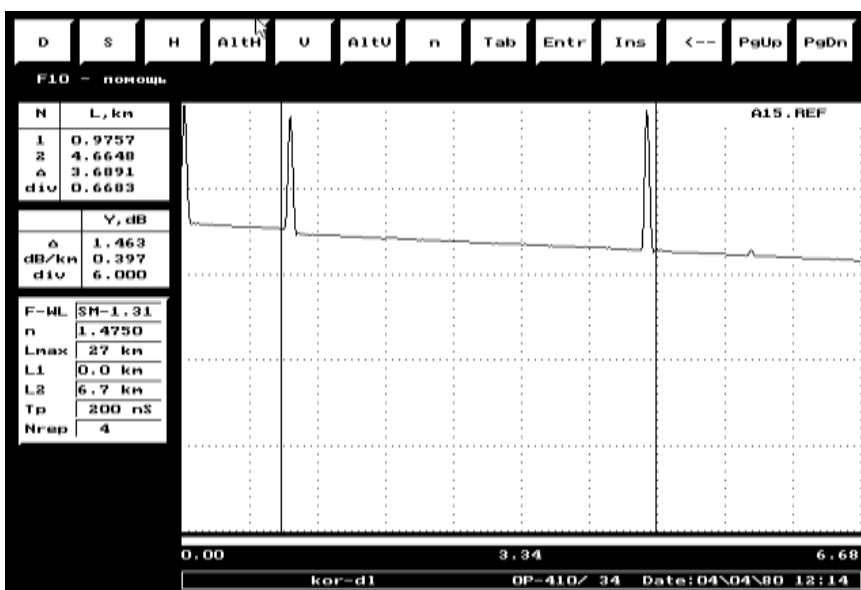
Причины изменений и их последствия

- ◎ механические нарушения;
 - > повреждения оптического кабеля в процессе развертывания вставки;
 - > повреждения компонентов коммутации элементов вставки;
 - > отказы конструкции размоточного устройства, особенно для одноэлементных ВОКВ с большим количеством кабеля;
- ◎ рост затухания в оптических волокнах кабеля вставки и его изменение, происходящее в процессе многократного развертывания;
- ◎ потери в разъёмных соединениях и его изменение при многократном соединении;
- ◎ возможное возникновение неоднородностей в волокнах (микротрещин), возникающих в результате многократных изгибов и растяжений при развертывании ВОКВ.

В качестве основного способа применяемого для контроля характеристик оптических волокон и линий связи является рефлектометрический, основанный на измерении обратного рассеяния. С помощью современных рефлектометров удастся наглядно наблюдать изменение затухания вдоль оптического волокна, включая скачки затухания, вызванные оптическими контактами и т.п., и быстро определять места неисправностей и источников искажений.

Технология проведения контрольных измерений вносимых волокнами вставки потерь и их изменение в процессе эксплуатации вставки по методу обратного рассеяния необходимо производить при использовании нормализующей длины.

Это обеспечит возможность использования зондирующих импульсов малой длительности, что в свою очередь приведет к высокому значению разрешающей способности. Таким образом, схема для проведения измерений потерь в оптических волокнах вставки будет выглядеть следующим образом.



Рефлектограмма волокна кабеля вставки перед началом эксплуатации.

Выражения для расчета средних характеристик изменения параметров волокон вставки в процессе эксплуатации имеют вид:

$$\Delta a_{OB} = \sum_{J=1} \left\{ \frac{a_{OB}(m) - a_{OB}(0)}{n} \right\}$$

$$\Delta a_{PC} = \sum_{J=1} \left\{ \frac{a_{PC}(m) - a_{OB}(0)}{n} \right\}$$

где Δa_{OB} – среднее значение потерь в оптических волокнах после m -го цикла развертывания, Δa_{PC} – среднее значение потерь в разъемных соединениях после m -го цикла, n – число оптических волокон в кабеле вставки.

Среднеквадратическое отклонение роста потерь в волокнах кабеля вставки и разъемных соединениях рассчитываются по формулам:

$$\sigma_{OK} = \sqrt{\frac{\sum_{J=1}^n (\bar{\Delta a}_{OK} - \Delta a_{OKi})^2}{n^2}}$$

$$\sigma_{PC} = \sqrt{\frac{\sum_{J=1}^n (\bar{\Delta a}_{OK} - \Delta a_{PCi})^2}{n^2}}$$

где Δa_{OB} – среднее значение потерь в оптических волокнах после m -го цикла развертывания, Δa_{PC} – среднее значение потерь в разъемных соединениях после m -го цикла, n – число оптических волокон в кабеле вставки.

Выводы:

- ⊙ в районе 25 – 30 циклов развертывания наблюдается резкое возрастание потерь в разъемных соединениях, которое обусловлено эрозией контактных поверхностей коннекторов в результате многократного их соединения, а также возможного попадания пыли при развертывании вставки в полевых условиях;
- ⊙ потери в оптических волокнах кабеля вставки растут значительно медленнее и увеличиваются, в основном, за счет появления микротрещин, в тоже время километрическое затухание практически не меняется.

Литература.

1. Руководящий технический материал по технической эксплуатации волоконно-оптических систем передачи на внутризональных и магистральных первичных сетях ВСС России / ЦНИИС. – М., 1997.
2. Измерение параметров волоконно-оптических линейных трактов:

учеб. пособие / *М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, Л.Н. Кочановский, В.В. Пискунов*; СПбГУТ. – СПб, 2002.

3. Строительство и эксплуатация ВОЛС на первичной сети / *Б.К. Никитин, Е.Б. Стогов* // www.connect.ru, 2008. № 7.

4. Проектирование и техническая эксплуатация систем передачи / *И.Р. Берганов, В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев*. – М.: Радио и связь, 1989.

5. Система мониторинга ВОЛС / *Ю.В. Картошкин, А.Г. Клинков*. mag.gudok.info/index.php

6. Система автоматического мониторинга ONMS ATLAS. www.comtel.by

7. Особенности эксплуатации волоконно-оптических кабельных вставок для систем передачи по металлическим кабелям / *Б.К. Никитин, А.М. Кузнецов, Ю.А. Шелепов, М.Ю. Шелепов, В.А. Архаров* // 52-я НТК: материалы. СПб, 1999.

8. Волоконно-оптическая кабельная вставка в составе линейных трактов на металлическом кабеле / *Б.Е. Ерекешев, Б.К. Никитин* // СТЛКС, 2003.

9. Опыт развертывания и эксплуатации ВОКВ (Исследование нестабильности параметров) / *Б.Е. Ерекешев, Б.К. Никитин* // СТЛКС, 2004.

10. Рекомендации по восстановлению работоспособности оптического кабеля с помощью временных оптических кабельных вставок на магистральных и внутризональных линиях передачи. www.consv.ru