Зин Мин Латт. Разработка оптических кабелей для абонентов широкополосного доступа: диссертация ... кандидата Технических наук: 05.09.02 / Зин Мин Латт;[Место защиты: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»], 2017

**Содержание к диссертации**

Введение

**Глава 1. Требование к параметрам и конструкции кабелей, предназначенных для систем широкополосного доступа 10**

1.1. 1.1 Понятие широкополосного доступа 10

1.2. 1.2. Преимущества использования широкополосного доступа 12

1.3. 1.3. Широкополосный доступ по DSL 14

1.4. 1.4. Требование к абонентской линии широкополосного доступа 19

1.5. 1.5. Современные конструкции внутриобъектовых кабелей для широкополосного доступа 22

**Глава 2. Технология и оборудование, используемое при изготовлении и испытаниях оптических кабелей 26**

2.1. Основные этапы технологии производства оптических кабелей 26

2.2. Оборудование, необходимое для реализации технологического процесса 28

2.2.1. Оборудование для окраски волокна 28

2.2.2. Оборудование для нанесения вторичного покрытия на волокно и изготовления защитной оболочки 31

2.3. Оборудование, необходимое для проведения испытаний 37

2.3.1. Оборудование для измерения передаточных характеристик 37

2.3.2. Оборудование для испытания на стойкость к механическим воздействиям 41

2.3.3. Оборудование для испытания на стойкость к климатическим воздейсвиям 43

**Глава 3. Теоретический расчет конструкции оптических кабелей для широкополосного доступа45**

3.1. Анализ требований к конструкции кабелей 45

3.2. Расчет механических параметров 48

3.3. Расчет климатических параметров 51

3.4. Выбор материалов для изготовления кабелей и дизайн 53

3.4.1. Выбор оптических волокон и материалов защиты 53

3.4.2. Материалы для силовых элементов оптических кабелей 54

3.4.3. Материал внешней защитной оболочки 59

3.4.4. Дизайн оптических кабелей для широкополосного доступа 64

**Глава 4. Экспериментальные исследования разработанных конструкции оптических кабелей для систем широкополосного доступа 71**

4.1. Измерение параметров оптических кабелей при механических воздействиях 71

4.2. Измерение параметров оптических кабелей при климатических воздействиях 81

4.3. Математическая обработка результатов экспериментальных исследований 85

Выводы 92

Список литературы .

* [Широкополосный доступ по DSL](http://www.dslib.net/elektrotex-materialy/razrabotka-opticheskih-kabelej-dlja-abonentov-shirokopolosnogo-dostupa.html#7656361)
* [Оборудование, необходимое для реализации технологического процесса](http://www.dslib.net/elektrotex-materialy/razrabotka-opticheskih-kabelej-dlja-abonentov-shirokopolosnogo-dostupa.html#7656362)
* [Расчет климатических параметров](http://www.dslib.net/elektrotex-materialy/razrabotka-opticheskih-kabelej-dlja-abonentov-shirokopolosnogo-dostupa.html#7656363)
* [Измерение параметров оптических кабелей при климатических воздействиях](http://www.dslib.net/elektrotex-materialy/razrabotka-opticheskih-kabelej-dlja-abonentov-shirokopolosnogo-dostupa.html#7656364)

**Введение к работе**

**Актуальность темы.** В последние годы большое внимание уделяют развитию такой услуги как широкополосный доступ (ШПД). Это общее название технологии, с помощью которой обеспечивают постоянное (не сеансовое) подключение к Интернету, к телевидению и к телефонной линии.

Для предоставления ШПД можно использовать множество различных  
носителей и способов передачи данных. В начале второй половины  
прошлого века появились первые цифровые системы связи,

предназначенные для быстрой дистанционной передачи цифровых потоков.  
Созданные для этой цели комплексные сети из кабелей связи позволяют  
абонентам предоставлять услуги связи, к которым относится,

усовершенствованный телефонный сервис под названием технология DSL (англ. Digital Subscriber Line — цифровая абонентская связь по кабелю).

Несмотря на то, что многие (хотя и не все) учреждения и коммерческие организации уже имеют ШПД, до сих пор не решена проблема предоставления ШПД на отрезке линии связи, ведущей непосредственно в дома пользователей (так называемая «последняя миля»). В настоящее время ряд конкурирующих телекоммуникационных компаний разрабатывают, внедряют и рекламируют специфические технологии и услуги, предназначенные для предоставления ШПД широким слоям населения.

Развитие методов передачи сигналов по витой паре медных проводников привело к появлению множества видов технологии DSL. Существующие технологии DSL делят на две подгруппы: симметричного и асимметричного доступа. Симметричные технологии применяют, как правило, в корпоративном секторе, тогда как асимметричные — предназначены для предоставления услуг доступа к мультимедийной сети отдельным абонентам. Различают так же системы уплотнения абонентских

линий, которые обозначают собственными аббревиатурами: ADSL, HDSL, RADSL, SHDSL.

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line — асимметричная цифровая абонентская линия) — модемная технология, превращающая стандартные телефонные аналоговые линии в линии высокоскоростного доступа.

HDSL (High Bit-Rate Digital Subscriber Line — высокоскоростная  
цифровая абонентская линия) — предусматривает организацию

симметричной линии передачи данных, когда скорости передачи данных от пользователя в сеть и из сети к пользователю равны.

RADSL (Rate Adaptive Digital Subscriber Line — цифровая абонентская линия с адаптацией скорости соединения), которая обеспечивает такую же скорость передачи данных, что и технология ADSL, но при этом устройства, реализующие эту технологию, способны адаптировать скорость передачи к протяженности и состоянию используемой витой пары проводов.

SDSL (Single Line Digital Subscriber Line — однолинейная цифровая абонентская линия) также, как и технология HDSL, обеспечивает симметричную передачу данных, при этом используют только одну витую пару проводов.

Применение ШПД обеспечивает высокую скорость обмена данными во много раз большую, чем при коммутируемом доступе и при этом полностью не занимает телефонную линию. Понятие ШПД означает в первую очередь высокую скорость передачи данных и поэтому такое подключение часто еще называют высокоскоростным интернетом. Значение нижней границы скорости ШПД составляет 128 кбит/с. Сегодня потребности максимального доступной для домашних абонентов ШПД могут быть удовлетворены при скорости более 100 Мбит/с.

Кроме высокой скорости передачи информации, ШПД должен обеспечивать стабильное непрерывное соединение с сетью, а также предоставлять так называемую «двустороннюю» связь, заключающуюся в

возможности принимать и выгружать данные на одинаково высоких скоростях.

Благодаря ШПД пользователь должен получить услуги цифрового телевидения по Интернету, услуги передачи голосовых данных (IP телефонии) на любые расстояния по дешевым тарифам или даже бесплатно, а также возможность удаленного хранения данных больших объемов информации. Реализовать эти требования, используя для передачи сигналов витую пару медных проводников, сегодня становится проблематичным.

Вместе с тем, наиболее передовым в технологии ШПД является использование для передачи данных оптических кабелей (ОК), поэтому является актуальным исследование особенностей применения и разработка конструкций ОК для организации ШПД.

Исследованию изменения свойств ОК, различных конструкций, под

влиянием внешних факторов посвящены работы известных зарубежных и

отечественных ученых, таких как Г. Мальке, П. Гссинг, И. И. Гроднев, Э. Л.

Портнов, И. Б. Рязанов, Ю. Т. Ларин, П.Н. Яблочков, А.Н. Лодыгин, В. К.

Зворыкин, Ф.А. Пироцкий и других.

**Цель и задачи работы**

Целью работы является разработка конструкций и проведение исследований внутриобъектовых ОК, предназначенных для монтажа сети связи, используемой для организации ШПД внутри различных объектов.

Создание новых конструкций ОК сопряжено с решением научных задач, связанных с:

– поиском и изучением свойств новых материалов, пригодных для производства ОК;

– выбором и совершенствованием технологии изготовления ОК;

– определением допустимого уровня внешних воздействий,

возникающих внутри объектов при монтаже и эксплуатации ОК;

**Научная новизна работы заключается в следующем:**

1. Определены зависимости механических параметров вновь разработанных конструкций внутриобъектовых ОК с силовыми элементами различного типа;
2. Разработан метод измерения прироста затухания в оптическом волокне (ОВ) на коротких длинах внутриобъектовых кабелей в зависимости от раздавливающего усилия с использованием оптического тестера и разрывной машины;
3. Установлено влияние количества ОВ на стойкость внутриобъектовых ОК к раздавливающему усилию;
4. Определено влияние климатических факторов на прирост затухания в ОВ вновь разработанных конструкций внутриобъектовых ОК.

**Практическая ценность** научных исследований и разработок заключается в обосновании технических решений по созданию нескольких новых конструкций внутриобъектовых ОК, которые можно использовать для организации ШПД на рабочих местах в офисах и других абонентов.

**Объекты и методы исследования.** Для достижения поставленной цели работы использованы образцы ОК вновь разработанных марок ОВНС, ОВНСLS-HF, ОВНР, ОВНРLS-HF, ОВНВ, ОВНВLS-HF, ОВНП, ОВНПLS-HF, ОПНП, ОПНПLS-HF. Определение затухания сигнала в ОВ производили методом прямого измерения мощности и методом обратного рассеяния. Измерение затухания проводили без разрушения ОВ. Для моделирования механических воздействий использовали следующие стенды: установку для испытаний на растяжение и раздавливание растяжение типа РРК-ЕК2, разрывную машину марки H5KS фирмы Hounsfield. Имитацию теплового воздействия и влажности окружающий среды осуществляли с помощью климатической камеры Challenge СН1200С фирмы Angelantoni. Обработку результатов экспериментальных исследований проводили с использованием программ Microsoft office 2010 Service Pack 2 (SP2) и другие.

**Реализация и внедрение результатов исследований:**

Проведенные автором диссертации исследования были использованы в производстве ОК. Разработанный в данной работе дизайн конструкций внедрен в серийное производство ОК на предприятии ООО "Еврокабель 1".

**Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных результатов подтверждается применением  
современных методов исследования, корректной постановкой

математических задач, использованием обоснованных методов

математических расчетов, а также соответствием полученных результатов данным научной литературы, совпадением расчетных и экспериментальных данных.

**Основные положения, представляемые к защите:**

1. Дизайн и расчет конструкции внутриобъектовых ОК, предназначенных для организации ШПД;
2. Метод измерения прироста затухания в ОВ на коротких длинах внутриобъектовых кабелей в зависимости от раздавливающего усилия;
3. Результаты исследования по стойкости к растягивающему и раздавливающему усилиям, воздействующим на внутриобъектовые ОК, которые предназначены для ШПД.
4. Результаты исследования влияния факторов климатической нагрузки на свойства внутриобъектовых ОК.
5. Математические модели изменения мощности оптического сигнала, передаваемого по ОВ внутриобъектовых ОК в процессе изменения механических и климатических нагрузок

**Личный вклад автора**

Автору диссертационной работы принадлежит выбор объектов для анализа состояния и изучение тенденций применения ОК в технологии ШПД. Исследования и проведение основных испытаний опытных образцов ОК. Получены и сформулированы лично автором результаты испытаний и математической обработки, модели и методы, представленные в

диссертации,

Таким образом, вклад автора является определяющим и заключается в непосредственном участии во всех этапах исследования: от постановки задач до экспериментальной, теоретической и практической реализации. Автор принимал участие в обсуждении результатов в научных публикациях и докладах, во внедрении результатов работы в производство.

**Апробация результатов исследований и разработок.**

Основные научные положения и технические результаты обсуждали на следующих конференциях: 15-я и 16-я международные конференции «Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты» (Крым, Алушта, 2014 и 2016 г.); 21-я, 22-я и 23-я международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов (Москва, НИУ-МЭИ , 2015 г., 2016 г. и 2017 г.).

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 7 печатных работ: из них 2 статьи, 7 тезисов докладов в сборниках трудов международных научных конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырх глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 101 наименование. Работа изложена на 102 страницах, содержит 34 рисунка, 28 формул и 20 таблиц.

## Широкополосный доступ по DSL

С развитием Интернета во многих странах становится очевидным большое положительное влияние сетей ШПД на развитие коммерческих компаний, общественных организаций и рядовых граждан. Сети ШПД являются частью инфраструктуры мирового информационного пространства. Эти сети предоставляют пользователям возможность постоянного высокоскоростного доступа к разнообразным веб-сервисам (технология системы JetSwap, позволяющая получать посетителей на сайт) [9], контенту с программным обеспечением и пр.

Последние десятилетие знает множество историй, посвященных преимуществам и успеху ШПД в научных исследованиях, которые включают, в том числе: новые возможности для развития бизнеса, инновационные технологии, рост объема продаж, увеличение продуктивности работы, сокращение издержек, создание новых рабочих мест, привлечение иностранных инвестиций. Проведенные в промышленно развитых странах исследования убедительно показывают, что сети ШПД стимулируют надежный рост валового внутреннего продукта. Очевидно, что в странах с развивающейся рыночной экономикой наличие сетей ШПД может обеспечить аналогичные преимущества для экономического роста.

Наличие высокоскоростных сетей ШПД дает технические преимущества, наряду с нормативно-правовой базой, характерной для развивающихся стран, у которые граница между городом и деревней гораздо более выраженная. Специфика стран с переходной экономикой заставляет, не отказываясь от развертывания в них сетей ШПД, искать пути быстрого и рентабельного внедрения каналов ШПД, используя самые эффективные и практичные методы.

В отличие от коммутируемого подключения абонента по телефонной линии связи, сети ШПД отличаются более высокой пропускной способностью, поэтому абоненты высокоскоростных сетей получают следующие преимущества [10]: . возможность подключения в любом месте инфраструктуры сети ШПД и в любое время; расширенные возможности работы в мультимедийных приложениях, поскольку сети ШПД, обладая высокой пропускной способностью, позволяют комфортно воспроизводить сетевой видеоконтент и использовать другие мультимедийные ресурсы; . сокращение расходов на веб-серфинг, передачу и обработку корреспонденции, на анализ маркетинговой информации и работу в других офисных приложениях; повышает производительность труда за счет более быстрого подключения к Интернету через широкополосный канал связи; создание новых возможностей общения в реальном времени по электронной почте, в программах мгновенного обмена сообщениями, в приложениях с поддержкой протокола VoIP (англ. Voice over Internet Protocol - передача голоса по Интернет-протоколу) [11], благодаря чему расширяется круг общения и легче налаживаются контакты. 1.3. Широкополосный доступ по DSL Современные потребности абонентов в части набора информационных услуг весьма широки и включают в себя телефонию, телевиденье, Internet, управление домом. Доступ к этим услугам обеспечивает технология DSL по цифровым абонентским линиям. Десять лет назад это было одно из наиболее динамично развивающихся направлений в сфере услуг телекоммуникации. При этом в качестве среды передачи информации использовали медную витую пару изолированных проводов, которая имеет широчайшее в мире распространение в области телефонии [12].

Скоростной доступ по технологии DSL еще остается основным во многих странах. Так, десять лет назад к середине 2006 г. в мире насчитывалось 164 млн. пользователей, использующих технологию DSL. Годовой рост числа абонентов, использующих эту технологию, в мире составлял около 38 %, а в Германии, например, рост в то время превысил 92 %. Сегодня значительная часть населения развитых стран имеет постоянный ШПД, в том числе благодаря использованию технологии DSL. На рис. 1.1 [13] показаны графики зависимостей роста числа абонентов ШПД в России в течение 5 лет, подключенных к этой услуге с использованием различных технологий. Из этих графиков видно, что технология ADSL сохраняет средний объем абонентов в рассматриваемый период.

Технологии DSL как нельзя лучше подходят для российских абонентских линий, поскольку те непосредственно идут от телефонной розетки до узла связи. Заметим, что во многих странах придерживаются несколько иного подхода: линия от автоматической телефонной станции (АТС) [14] заканчивается вблизи дома или поселка на мультиплексоре. Вместе с тем, в наших условиях негативное влияние оказывает наличие так называемой «лапши» — простейшего нескрученного однопарного телефонного провода с параллельно уложенными медными проводниками, идущего от розетки до распределительной коробки. Впрочем, при замене «лапши» на витую пару узлы связи довольно легко могут предложить новый вид услуг на базе технологии DSL — подачу скоростных потоков до абонента.

В целом доля xPON [15] на рынке российского фиксированного ШПД по состоянию на конец 2011 года была крайне мала: 1,5% от всех ШПД-подключений. Экспертами прогнозируется, что в технологической структуре развития российского рынка доля технологии FTTB и PON будут увеличиваться в среднем на 4% в год, и к 2015 году их доля составит около 65% от всех ШПД-подключений в России (см. рис 1.1).

## Оборудование, необходимое для реализации технологического процесса

Создание новой конструкции ОК обусловлено требованием длительного сохранения работоспособности в заданных условиях применения. Для ОК решающими при длительной эксплуатации являются внешние воздействующие факторы (ВВФ) [63,64]. Перечень ВВФ включает в себя: одно, многократные и циклические перемотки; осевые закручивания, одно и многократные изгибы; растягивающие усилия; механические удары одно и многократного действия; поперечные нагрузки сжатия распределенным усилием; синусоидальная вибрация; линейные ускорения; гидростатическое давление; грызуны; нераспространение горения; дегазация, дезактивация, дезинфекция; масло МБП; дизельное топливо ДП; амил и гептил; атмосферные осадки, соляной туман; пониженное и повышенное атмосферное давление; солнечная радиация; атмосфера с коррозионно-активными агентами; повышенная рабочая, повышенная предельная, пониженная рабочая и пониженная предельная температуры рабочей среды; повышенная влажность воздуха; циклическое изменение температуры; иней и роса; излом; надежность и другие.

Из всего многообразия ВВФ для рассматриваемых ОК существенным является стойкость к механическим и климатическим воздействиям, причем первостепенным для расчета следует считать механические факторы, возникающие при прокладке ОК и эксплуатации растягивающие, изгибающие, сжимающие усилия. Именно они определяют основные требования к элементам ОК, конструкции силовых элементов и конструкции ОК в целом.

Механические нагрузки, воздействующие при прокладке и эксплуатации ОК [65]. Рассмотрим важнейшие из них. Растягивающие нагрузки делятся на постоянные и переменные, статические и динамические. Постоянные статические нагрузки действуют, например, на ОК, намотанный под натяжением на барабан. Этот вид нагрузок вызывает усталостные напряжения, которые, особенно в присутствии влаги, могут вызвать разрушение ОВ при нагрузках значительно меньших, чем обеспечивает материал, из которого оно изготовлено. Статические усталостные напряжения можно предотвратить, регулируя отношение напряжения растяжения ОВ к максимально кратковременному разрушающему напряжению и применяя специальные меры по защите ОВ от влаги. Постоянная динамическая нагрузка может воздействовать на ОК, прокладываемый с натяжением, и вызывается постоянной нагрузкой или колебаниями нагрузки. Переменная статическая и динамическая нагрузки воздействуют на ОК, например, при его прокладке или эксплуатации. При этом переменная статическая нагрузка при прокладке (спуске) ОК определяется тяговым усилием, прикладываемым к концу ОК, и собственной массой ОК с учетом коэффициента трения ОК о поверхность монтажа. Изгибающие нагрузки наиболее сильно влияют на увеличение затухания ОК. Для определения допустимых радиусов изгибов ОК, при которых увеличение затухания не превысит заданных значений, необходимо произвести анализ способов прокладки кабелей и выявить специфику их воздействия на ОК.

При изменении температуры ОК в конструкции возникает напряженно-деформационное состояние вследствие различия температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) материалов при установившемся тепловом процессе и вследствие появления пространственных температурных градиентов при переходном процессе,

Конструкция ОК должна строиться с учетом обеспечения минимального взаимодействия материала ОВ и остальных элементов при изготовлении и эксплуатации, в том числе при изменении размеров под воздействием окружающей среды с разной температурой. Требуемое условие обеспечивается при наименьшей поверхности контакта ОВ и остальных элементов конструкции ОК и может быть реализовано при температуре изготовления ОК путем свободного размещения ОВ в полости трубки или паза.

Однако, в такой конструкции (модуле), находящейся в прямолинейном положении, при изменении температур ОВ приобретает напряженное состояние, так как элементы конструкции изменяют размеры в соотношениях, обусловленных температурными коэффициентами объемного, и линейного расширения составляющих их материалов с учетом взаимного расположения элементов.

ТКЛР – важнейший параметр, который необходимо учитывать при расчете конструкции ОК и в технологии изготовления [66]. При изменении температуры ТКЛР существенно влияет на уровень внутренних напряжений элементов кабельной конструкции за счет изменения их геометрических размеров. Если учесть, что разница ТКЛР стекла и ТКЛР полимеров значительно отличаются, для некоторых марок почти на 2 порядка. В ОК при изменении температуры могут возникнуть макро- и микроизгибы ОВ, которые приводят к полной потере работоспособности ОВ.

На основании анализа предъявляемых требований к конструкции внутриобъектовых ОК удалось сформулировать общие требования к техническим параметрам вновь разрабатываемым кабелям. В таблице 3.1 указаны необходимые значения по стойкости к температурным воздействиям на ОК.

## Расчет климатических параметров

Для ПЭ характерно малое изменение электрических свойств в широком диапазоне температур и частот [88]. Тангенс угла диэлектрических потерь ПЭ в интервале температур от минус 45 до 115 С и частот от 10 до 50 кГц находится в пределах (2 - 4)10"4. Электрические свойства ПЭ ухудшаются при окислении и при наличии примесей. Свойства ПЭ можно модифицировать путем смешения с другими полимерами и сополимерами, а так же путем «сшивки» макромолекул. Так, при смешении ПЭ с полипропиленом повышается нагревостойкость, при смешении с бутилкаучуком или этиленпропиленовым каучуком повышается ударная вязкость и стойкость к растрескиванию.

Полиэтилен обладает низкой газо- и паропроницаемостью и мало проницаемый для воды и водяных паров. Химическая стойкость ПЭ зависит от плотности молекулярно-массового распределения (ММР) [89], с ростом ММР химическая стойкость ПЭ возрастает. Наиболее высокой химической стойкостью обладает ПЭ высокого плотности и ПЭ средней плотности. Полиэтилен не взаимодействует со щелочами, с растворами солей, органическими кислотами и даже с концентрированной соляной и плавиковой кислотой. Полиэтилен разрушается под воздействия 50 %-ного раствора азотной кислоты при температуре 20 С, а так же под воздействием жидкого и газообразного хлора и фтора. Полиэтилен не растворяется, но набухает в органических растворителях при 20 С; выше 80 С растворяется во многих растворителях, особенно хорошо в углеводородах и галогенпроизводных. Полиэтилен можно хлорировать, сульфохлорировать, бромировать, фторировать. Эти реакции используют на практике для модификации свойств ПЭ. Кабели оболочкой из ПЭ можно использовать в условиях повышенной влажности и при наличии химических веществ в окружающем пространстве.

При воздействии на ПЭ тепла, ультрафиолетовых лучей, кислорода воздуха происходит старение, которое выражается в ухудшении физико механических и электроизоляционных свойств. Чтобы затормозить этот процесс, полимер стабилизируют введением антиоксидантов (ароматических аминов, алкилфенолов, фосфитов и др.) и светостабилизаторов (например, сажи, производных бензофинолов и др.). Поэтому ПЭ, предназначенный для использования на открытом воздухе, обычно черного цвета из-за содержания сажи. Необходимое количество антиоксидантов [90] для стабилизации ПЭ небольшое 0,030,05 % по массе.

При изготовлении изделий из ПЭ наблюдается их усадка. Значения термической усадки при охлаждении изделий от 115 до 20 С лежит в следующих пределах: линейная до 5,1, объёмная до 15,3 %.

Полиэтилен практически безвреден и не выделяет в окружающую среду опасных для здоровья человека веществ. Вредное действие могут оказывать лишь продукты его разложения.

Полиэтилен является горючим материалом, у которого кислородный индекс составляет 18,4. Для повышения кислородного индекса у ПЭ в него вводят специальные добавки – антипирены. Существуют композиции самозатухающего кабельного ПЭ, которые содержат до 5 % триоксида сурьмы или хлорированного парафина. В результате кислородный индекс таких композиций увеличивается до 26. При применении антипиренов на основе дэка брома, дифенилоксида, тригидрата оксида алюминия, кальциевой соды и других кислородный индекс может достигать 32.

Введение антиоксидантов и антипиренов приводит к изменению физико-химических свойств ПЭ. В частности, повышается относительная диэлектрическая проницаемость, а значит и возрастает ёмкость.

Для уменьшения диэлектрической проницаемости в кабельную конструкцию на основе ПЭ вводят воздух. Получают пористую изоляцию. Иногда конструируют многослойные оболочки из ламинированного алюминием полиэтилена, известная технология, применяемая при изготовлении кабелей с медными жилами.

Механическое напряжение, вызывающее разрушение ПЭ при температуре 20 С, превышает 10 МПа. Полиэтилен, применяемый для изоляции, можно растянуть на 400 %, прежде чем порвется, а ПЭ, используемый для изготовления кабельных оболочек, можно растянуть и на 500 %; разрушающее напряжение составляет не менее 12 МПа.

В ПЭ нет никаких пластификаторов, которые могли бы мигрировать в другие материалы. Однако, при постоянном соприкосновении с поливинилхлоридным пластикатом (ПВХП), резиной и т.п. в ПЭ может проникать небольшое количество пластификаторов. Поэтому в некоторых случаях ПЭ нужно защищать от мигрирующего пластификатора.

В ходе выполнения данной работе созданы современные конструкции внутриобъектовых ОК марок ОВНС, ОВНСLS-HF, ОВНР, ОВНРLS-HF, ОВНВ, ОВНВLS-HF, ОВНП, ОВНПLS-HF, ОПНП, ОПНПLS-HF [92], которые используют провайдеры для организации ШПД.

Кабели марок ОВНС, ОВНР, ОВНВ, ОВНП, ОПНП и соответственно кабели марок ОВНСLS-HF, ОВНРLS-HF, ОВНВLS-HF, ОВНПLS-HF, ОПНПLS-HF различаются материалом наружной оболочки. Если первая группа кабелей имеет наружную оболочку, выполненную из материала, не распространяющего горение, то вторая группа кабелей имеет наружную оболочку, выполненную из материала, ни только не распространяющего горение, но и не содержащего галогенов, с пониженным дымо- и газовыделением, не выделяющего коррозийно-активных газообразных продуктов при горении и тлении.

Оптическое волокно в кабелях марок ОВНС, ОВНСLS-HF, ОВНР, ОВНРLS-HF, ОВНВ, ОВНВLS-HF помещено в буферное полимерное покрытие, которое выполненное из материала, не распространяющего горение, с пониженным дымо- и газовыделением, не выделяющего коррозийно-активных газообразный продуктов дымо- и газовыделения при горении и тлении. Наружный диаметр ОВ в буферном полимерном покрытии составляет 900 мкм. Буферное покрытие ОВ с 1 по 12 различается по цвету. Буферное покрытие ОВ с 13 до 24, кроме различия по цвету, имеет дополнительную штриховую кодировку.

Внутриобъектовый оптический кабель марки ОВНС имеет только одно ОВ (рис.3.1). Такие кабели используют для организации симплексной связи. Силовой элемент этого кабеля выполнен в виде пучка арамидных нитей.

## Измерение параметров оптических кабелей при климатических воздействиях

Визуальный анализ полученных графиков показал следующее. Зависимости изменения коэффициента затухания от растягивающего и раздавливающего усилия, а так же зависимости изменения коэффициента затухания от температуры для исследованных кабелей имеют линейный характер. Уравнение для прямой линии, известное как линейное уравнение: а = а + bFp (4.2) а = а + Ь?м (4.3) а = а + bt (4.4) где а и Ъ - коэффициенты регрессии. Fp - растягивающее усилие Рм - раздавливающее усилие t - температура. Выбрав линейную модель для функции регрессии, необходимо определить конкретные значения коэффициентов модели позволяющей построить прямолинейную зависимость, максимально соответствующую ряду упорядоченных пар (а и Fp), (а и Рм) и (aи t).

При различных значениях коэффициентов а и Ъ можно построить бесконечное число графиков функции вида ух=а+Ьх, т. е. на координатной плоскости имеется бесконечное количество прямых, однако хотелось бы найти такую зависимость, которая соответствует наблюдаемым значениям наилучшим образом. Таким образом, возникает задача определить значения коэффициентов в уравнениях (4.2 4.4) наиболее точно. Для решения этой задачи используем метод наименьших квадратов [98]. Обозначим: Y[ - значение, вычисленное по уравнению Yi=a+bxi, у І - измеренное значение, ЄІ=УІ-УІ - разность между измеренными и вычисленными по уравнению значениями, Єі=уга-Ьхі. Согласно методу наименьших квадратов требуется, чтобы разность su была минимальной. Следовательно, находим коэффициенты а иЬ так, чтобы сумма квадратов отклонений наблюдаемых значений от значений на прямой линии регрессии оказалась наименьшей:

Поскольку минимальное значение является экстремумом функции, который можно найти с помощью производных. Функция уравнения 4.5 принимает минимальное значение, если коэффициенты а и Ъ являются решениями системы:

При известном значении коэффициента регрессии Ъ, значение свободного члена уравнения регрессии а вычисляют по формуле: а = у-Ьх (4.11) Полученная прямая является оценкой для теоретической линии регрессии. Имеем: у = а + Ъх = у - Ъх + Ъх = у + Ь(х - х) (4.12) И так, Y = у + Ь(х + х) является уравнением линейной регрессии. В зависимости от знака коэффициента Ъ регрессия может быть прямой (6 0) и обратной (ZKO). Прямая регрессия означает, что при росте одного параметра, значение другого параметра тоже увеличивается. А обратная, что при росте одного параметра, значения другого параметра уменьшается. В табл. 4.6 приведены полученные уравнения регрессии для зависимостей изменения затухания от растягивающего усилия кабелей марок OBHCLS-HF-1A1(0.9)-0,2, OBHPLS-HF-8A1(0.9)-1,0, OBHBLS-HF-8А(0.9)-0,5Д2, OBHnLS-HF-lA-0,5A2 и OnHnLS-HF-2A-1.0M.

В табл. 4.7 приведены полученные уравнения регрессии для зависимостей изменения затухания от раздавливающего усилия кабелей марок ОВНСLS-HF-1А1(0.9)-0,2, ОВНРLS-HF-8А1(0.9)-1,0, ОВНВLS-HF-8A(0.9)-0,5Д2, ОВНПLS-HF-1А-0,5А2 и ОПНПLS-HF-2А-1.0м.

Анализ полученных уравнений зависимости изменения затухания от раздавливающего усилия для исследованных кабелей показал, что получена прямая регрессия. При этом коэффициент регрессии в уравнениях для кабелей с большим количеством волокон больше, чем в уравнениях для кабелей с одним ОВ. Следовательно количество ОВ влияет на стойкость внутриобъектовых ОК к раздавливающему усилию. Кабели с большим количеством ОВ менее стойки к воздействию раздавливающего усилия.

В табл. 4.8 приведены полученные уравнения регрессии для зависимостей изменения затухания от температуры кабелей марок ОВНСLS-HF-1А1(0.9)-0,2, ОВНРLS-HF-8А1(0.9)-1,0, ОВНВLS-HF 8A(0.9)-0,5Д2, ОВНПLS-HF-1А-0,5А2 и ОПНПLS-HF-2А-1.0м. Таблица 4.8. Уравнение регрессии зависимости изменения затухания от температуры для исследованных кабелей. Марки кабелей Уравнение регрессии OBHCLS-HF-1A1(0.9)-0,2 a =0,197+0,0004t OBHPLS-HF-8A1(0.9)-1,0 a =0,184+0,0001t OBHBLS-HF-8A(0.9)-0,5A2 a =0,194+0,0004t OBHTILS-HF-1A-0,5A2 a =0,184+0,000 It OnHTILS-HF-2A-l,0M a =0,19 5+0,0004t Полученные в ходе проведенных исследований основные характеристики кабелей перечисленных марок приведены в таблице 4.9 [99]. Значение указанных параметров обеспечено конструкцией кабелей. Передаточные характеристики кабелей определяет использованное при производстве кабеля ОВ. По величине допустимых механических параметров: растягивающего и раздавливающего усилия, некоторые марки кабелей могут иметь несколько различных исполнений.