

На правах рукописи



Е Наинг Лин

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ,  
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ ВНУТРИ ЗДАНИЙ**

Специальность 05.09.02 - электротехнические материалы и изделия

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Москва – 2021

Работа выполнена на кафедре физики электротехнических материалов и компонентов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

**Научный руководитель:** **Боев Михаил Андреевич**  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Физики и технологии  
электротехнических материалов и  
компонентов» ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»

**Официальные  
оппоненты:** **Цым Александр Юрьевич**  
Главный научный сотрудник  
ФГУП ЦНИИС, д.т.н., с.н.с.  
Заслуженный работник связи Российской  
Федерации

**Лобанов Андрей Васильевич**  
кандидат технических наук,  
генеральный директор, ООО «НПП  
«СПЕЦКАБЕЛЬ»

**Ведущая организация:** Московский технический университет связи и  
информатики ФГБОУ ВПО «МТУСИ»

Защита диссертации состоится "22" сентября 2021г., в 16 часов. 30 мин. на заседании диссертационного совета МЭИ.026 при ФГБОУ ВПО «Национального исследовательского университета «МЭИ» по адресу: 111250, г. Москва, Красноказарменная ул., д. 13, корпус Е, в аудитории Е-310.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

Автореферат разослан " " « » 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета МЭИ.026.

К.Т.Н.



Серебрянников С.С.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Развитие методов передачи сигналов по витой паре медных проводников привело к появлению множества видов технологии DSL (Digital Subscriber Line). Существующие методы в технологии DSL делят на две подгруппы: симметричного и асимметричного доступа. Симметричные методы применяют, как правило, в корпоративном секторе, тогда как асимметричные — предназначены для предоставления услуг доступа к мультимедийной сети отдельных абонентов. Различают так же системы уплотнения абонентских линий, которые обозначают собственной аббревиатурой на английском языке: ADSL, HDSL, RADSL, SHDSL. Применение услуги широкополосного доступа (ШПД) обеспечивает высокую скорость обмена данными во много раз большую, чем при коммутируемом доступе и при этом полностью не занимает телефонную линию. Сегодня потребности максимального доступной для домашних абонентов ШПД могут быть удовлетворены при скорости более 100 Мбит/с.

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 большого объема информации. Реализовать эти услуги, используя для передачи сигналов витую пару медных проводников, сегодня становится проблематичным.

Вместе с тем, наиболее передовым в ШПД является использование для передачи данных оптических кабелей (ОК), которые предназначены для прокладки внутри зданий, при этом используют пассивную оптическую сеть, архитектуру которой сокращенно называют PON. Такое техническое решение очень популярно сегодня, поэтому является актуальным разработка и исследование особенностей применения ОК для прокладки внутри зданий.

Кабель, предназначенный для прокладки внутри зданий, не нуждается в жестких защитных оболочках, дублирующих многократно друг друга. При этом конструкция кабеля должна быть достаточно прочной, так как инсталляцию ведут не только в защитных коробах, но и в подвалах, чердаках, стояках, трубопроводах и даже за плинтусом.

Именно из-за непредсказуемости условий монтажа конструкция ОК для прокладки внутри помещений содержит силовые элементы. Это может быть стальная проволока, являющаяся своеобразным осевым центром кабеля, стеклопруток или кевларовая «рубашка», которые придают кабелю хорошую устойчивость к воздействию продольного усилия, не позволяют изгибать ОК на

небольшие радиусы до повреждения оптического волокна (ОВ). Кабель не должен поддерживать горение, а при высоких температурах, характерных для пожаров – не должен выделять вредных веществ. Кабель полностью соответствующий этим требованиям, выполнен с использованием полимеров, не содержащих галогенов.

**Цель работы** заключается в разработке конструкции и проведении исследования влияния механических и климатических воздействий на передаточные характеристики дроп-кабелей. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Рассмотреть технологии и архитектуры построения оптической сети, в которых применяют и прокладывают дроп-кабели;
2. Рассмотреть характеристики ОВ используемого в дроп-кабелях и параметры силовых элементов дроп-кабелей;
3. Разработать дизайн и выполнить расчет конструкции дроп-кабелей, соответствующих предъявляемым техническим требованиям, включая требования пожарной безопасности;
4. Провести исследования влияния внешних механических и климатических воздействий, возникающих при монтаже и эксплуатации, на параметры, дроп-кабелей.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

1. Разработана методика механического расчета дроп-кабелей, учитывающая особенности использования силовых элементов из различных материалов и формирование передающей среды в оптические микромодули.
2. Разработана аналитическая модель влияния климатических факторов на прирост затухания в оптическом волокне для вновь разработанных конструкций дроп-кабелей, которая учитывает повышение и понижение температуры окружающей среды с переходом через температуру замерзания воды.
3. Впервые получены аналитические зависимости передаточных параметров разработанных конструкций дроп-кабелей от уровня и вида механических воздействий, позволяющие прогнозировать работоспособность кабелей в различных условиях.
4. Разработана имитационная модель влияния количества волокон в оптическом модуле дроп-кабеля на стойкость к растягивавшему и раздавливающему усилию и проведена оценка этого влияния на передаточные характеристики кабеля.

**Практическая значимость исследования.** научных исследований и разработок заключается в обосновании технических решений по созданию нескольких новых

конструкций дроп-кабелей, которые можно использовать для прокладки внутри зданий. Представленные в работе конструкции дроп-кабелей внедрены и серийно изготавливают на предприятии ООО "Еврокабель 1".

**Объекты и методы исследования.** Для достижения поставленной цели работы использованы образцы ОК вновь разработанных марок ОВНВLS-NF, ОВНПLS-NF, ОПНПLS-NF, ОПЦ-Д2LS-NF и ОСЦLS-NF. 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 Н5KS фирмы Hounsfield. Для испытаний на удар использовали специальную установку типа СУ-ЕК2, для испытаний на кручение и изгиб использовали специальные установки типа СК-ЕК2. Имитацию теплового воздействия и влажности окружающей среды осуществляли с помощью климатической камеры Challenge CH1200С фирмы Angelantoni и испытание ОК в условиях воздействия пламени проводили на специальном испытательном оборудовании. Обработку результатов экспериментальных исследований проводили с использованием программ Microsoft office 2010 Service Pack 2 (SP2) и другие.

#### **Основные положения, представляемые к защите:**

1. Дизайн, расчет конструкции и технология изготовления ОК, предназначенных для прокладки внутри зданий;
2. Результаты исследования по стойкости к растягивающему и раздавливающему усилиям, воздействующим на дроп-кабелей;
3. Математические модели изменения мощности оптического сигнала, передаваемого по ОВ на ОК в процессе изменения механических нагрузок;
4. Метод измерения затухания в ОВ дроп-кабелей в зависимости от растягивающего и раздавливающего усилия.

#### **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.

**Личный вклад автора** заключается в следующем:

1. Анализ состояния и изучение тенденций применения дроп-кабелей, предназначенных для прокладки внутри зданий;
2. Исследования и проведение основных испытаний опытных образцов дроп-кабелей;
3. Получение результатов испытаний, создание математической модели и обработки экспериментальных данных, 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: 16-я и 17-я международные конференции «Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты» (Крым, Алушта, 2016г., 2017 г и 2018г.); 23-я, 24-я и 25-я международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов (Москва, НИУ–МЭИ, 2017 г., 2018 г. и 2019г.), конференция «The 2nd 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)» (Scopus) (г. Москва, НИУ–МЭИ, 2020 г.) и конференция «2020 SYSTEMS OF SIGNALS GENERATING AND PROCESSING IN THE FIELD OF ON BOARD COMMUNICATIONS» (Scopus) (г. Москва, Конгресс центр МТУСИ 2020 г.).

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 10 печатных работ: из них 3 статьи в журналах, входящим в перечень ВАК РФ 2 публикации в Scopus и 5 тезисов докладов в сборниках трудов международных научных конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 101 наименование. Работа изложена на 119 страницах, содержит 53 рисунка, 33 формул и 30 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность данного исследования, сформулирована цель работы, основные положения, выносимые на защиту, изложена научная новизна, практическая ценность и реализация результатов работы.

**В первой главе** дано определение понятия технологии внутриобъектовых сетей и какие преимущества имеет использование архитектуры PON. Для данной технологии используют внутриобъектовые ОК, предназначенные для прокладки внутри зданий.

Использование технологии предназначена для прокладки внутри зданий, основанной на PON, стало ответом на уменьшение количества активных устройств в сети, а устройства для сети PON дешевле и эффективнее, чем активные устройства, поскольку PON не требует длительной удаленной установки, чтобы добраться до клиентов.

Кабели, предназначенные для прокладки внутри зданий, называемые внутриобъектовыми содержат, как правило, в своей конструкции ОВ в оптическом модуле и силовые элементы различного типа, а сверху наружную оболочку. В последние годы такие кабели стали называть дроп-кабели. В таком кабеле могут использовать ОВ с плотным буферным покрытием и с наружным диаметром 900 мкм, с более высоким коэффициентом затухания за счет микроизгибов ОВ по сравнению с ОВ, имеющими диаметр покрытия 250 мкм.

Для построения PON используют топологию «точка – многоточка», имеющую древовидную структуру. Один волоконно-оптический сегмент сети PON может охватывать до 32 абонентских узлов. Каждый абонентский узел рассчитан на одного пользователя или на одно офисное помещение и в свою очередь может охватывать сотни абонентов. Все абонентские узлы являются терминальными, и отключение или выход из строя одного либо нескольких абонентских узлов никак не влияет на работу остальных.

**Во второй главе** описан процесс изготовления дроп-кабелей, включающий в себя изготовление оптического микромодуля (ОММ), формирования силового элемента из стеклопластиковых прутков или стальной проволоки и наложения оболочки.

С целью уменьшения операций перезаправки машин, сокращения внутрицеховых перемещений применяют совмещение нескольких технологических операций в один технологический процесс. Технологический процесс изготовления оптических кабелей базируется на основных принципах

кабельной технологии. Окраску ОВ производят на специальных линиях. В данной работе использованы линии серии GFP фирмы Медек & Шорнер, которые работают при скоростях до 3000 м/мин. Расширить возможности маркировки можно путем дополнительной установки устройства для нанесения маркировки кольцами, при этом скорость работы линии снижается до 800 м/мин, но несложное дополнительное устройство позволяет параллельно и независимо окрашивать до 6 ОВ одновременно.

Приведено испытательное оборудование и приборы, с помощью которого проведены исследования характеристик ОК и имитация внешних воздействий. Для измерения передаточных характеристик ОВ использовали рефлектометры типа Acterna MTS 8000. Соединения ОВ для последующей проверки качества сварки проводится с помощью сварочного аппарата Fujikura FSM 40S. Для измерения физико-механических свойств материалов, стойкость ОК к растягивающему усилию с помощью испытательной установки с максимальным растягивающим усилием 100 кН по ГОСТ Р МЭК 794-1 (метод E1) на строительной длине ОК Растяжение осуществляли путем приложения нагрузки ступенями, каждый раз увеличивая нагрузку на 100 Н, на специальной установке для испытаний на растяжение и раздавливание типа РРК-ЕК2. Проверку стойкости ОК к климатическим воздействиям проводят в климатической камере Challenge CH1200С фирмы Angelantoni, диапазон работы которой от минус 70 °С до 180 °С, с неравномерностью температуры при установившемся тепловом режиме ±1 °С. Также данная камера позволяет проводить испытания кабеля на стойкость к воздействию повышенной влажности до 98 % при любых заданных положительных температурах. Испытания ОК на стойкость к воздействию пониженной, повышенной рабочей температуры и циклической смене температур проводят по ГОСТ Р МЭК 794-1 (метод F1) на строительной длине не менее 1000 м.

**В третьей главе** проведем расчет допустимых нагрузок, которые могут воздействовать на ОК при прокладке и эксплуатации. Задача расчета заключается в том, чтобы создать конструкцию ОК, которая могла бы эффективно защитить ОВ от внешнего воздействия. При этом в процессе расчета следует учитывать возможности использования для защиты ОВ.

Допустимое растягивающее усилие, воздействующее на кабель с центральным оптическим модулем, можно определить по уравнению:

$$P_{OK}^{cn} = E_{ок} \cdot S_{ок} \cdot \varepsilon_{доп} \quad (1)$$

где,  $E_{ок}$  – модуль упругости кабеля, ГПа;



$S_{ок}$  – площадь поперечного сечения кабеля, мм<sup>2</sup>;

$\varepsilon_{доп}$  – допустимое удлинение кабеля равное 0,5 %.

Поперечное сечение кабеля равно:

$$S_{ок} = \frac{\pi D^2}{4}. \quad (2)$$

где,  $D$  – диаметр кабеля, мм.

Величину модуля упругости кабеля можно рассчитать исходя из модуля упругости каждого силового элемента, стеклопластиковых прутков:

$$E_{ок} = \frac{\sum_i^n E_i \Pi_i}{\sum_i^n \Pi_i} \quad (3)$$

где,  $i \dots n$  – число стеклопластиковых прутков;

$E_i$  – модуль упругости  $i$ -го стеклопластиковых прутков;

$\Pi_i$  – площадь  $i$ -го стеклопластиковых прутков.

Если в конструкции плоского кабеля отсутствует оптический модуль, то допустимое растягивающее усилие можно определить по уравнению:

$$P_{ок}^{сн} = \frac{\sum_i^n E_i \Pi_i}{\sum_i^n \Pi_i} \cdot S_{ок} \cdot \varepsilon_{доп} \quad (4)$$

где,  $S_{ок}$  – площадь кабеля, мм<sup>2</sup>

Если в конструкции плоского кабеля содержит стальная проволока, то допустимое растягивающее усилие можно определить по уравнению:

$$P_{ок}^{сн} = \frac{\sum_i^n E_i \Pi_i}{\sum_i^n \Pi_i} \cdot R_{сп} \cdot S_{ок} \cdot \varepsilon_{доп} \quad (5)$$

где,  $R_{сп}$  – радиус проволоки;

Если в конструкции ОК содержит оптические микромодули (ОММ), то допустимое растягивающее усилие можно определить по уравнению:

$$P_{ок}^{сн} = E_{ок} \cdot E_{омм} \cdot S_{ок} \cdot \varepsilon_{доп} \quad (6)$$

где,  $E_{омм}$  – модуль упругости ОММ.

Расчет эквивалентного диаметра области сечения модульной трубки, свободной от волокон введем понятие эквивалентного диаметра свободной от волокон области сечения модульной трубки. Обозначим этот параметр как  $D_E$ , и будем определять его по формуле

$$D_E = 2 \sqrt{\frac{S_0}{\pi}} \quad (7)$$

где,  $S_0$  – свободное от волокон область сечения модульной трубки, которая рассчитывается как

$$S_0 = S_{OM} - S_{n\text{ ОВ}}, \quad (8)$$

где,  $S_{OM}$  – площадь сечения внутри модульной трубки;

$S_{n\text{ ОВ}}$  – площадь области сечения, занятая волокнами. Площадь сечения внутри модульной трубки равна:

$$S_{OM} = \pi \frac{d_{OM}^2}{4} \quad (9)$$

где,  $d_{OM}$  – внутренний диаметр оптического модуля. Площадь области сечения, занятой ОВ, можно рассчитать как

$$S_{n\text{ ОВ}} = n S_{ОВ} \quad (10)$$

$$S_{ОВ} = \pi \frac{d_{ОВ}^2}{4} \quad (11)$$

где,  $d_{ОВ}$  – диаметр оптического волокна в акриловом покрытии;

$n$  – число волокон в модуле.

Эксплуатационные параметры и конструкции исследуемых дроп-кабелей также представлены с рисунками.

Дроп-кабель (рис. 1) имеет прямоугольного сечения. Силовой элемент этого кабеля выполнен в виде двух стеклопластиковых прутков, находящихся внутри под наружной оболочкой.

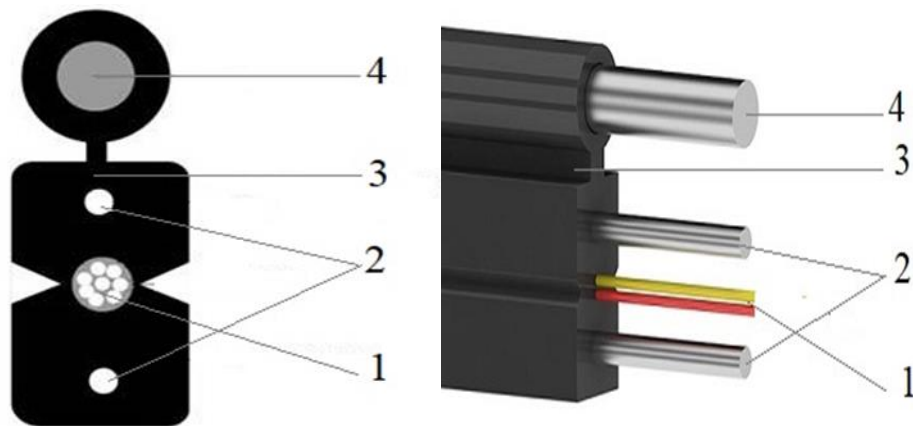


Рис.1. Дроп-кабель марки ОПНП для прокладки внутри зданий.

1. Оптическое волокно,
2. Силовой элемент – стеклопластиковый пруток,
3. Наружная оболочка,
4. Несущий элемент – стальная проволока.

Кроме того, кабель содержит несущий силовой элемент в виде стальной проволоки, что обеспечивает стойкость к повышенному растягивающему усилию. Оболочка кабеля и несущий силовой элемент соединены между собой перемычкой. На поверхности оболочки для облегчения вскрытия кабеля нанесены риски-углубления. В кабелях отсутствуют обрывы и сварные соединения ОВ.

Дроп-кабель (рис. 2) имеет прямоугольное сечение и содержит в своей конструкции силовые элементы в виде двух стеклопластиковых, находящихся внутри наружной оболочки.

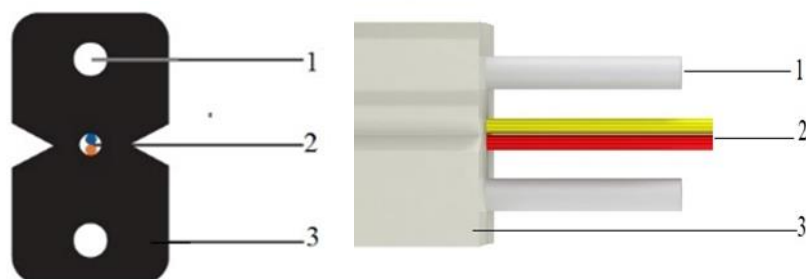


Рис.2. Дроп-кабель марки ОВНП для прокладки внутри зданий.

1. Силовой элемент,
2. Оптическое волокно,
3. Наружная оболочка.

Дроп-кабель марки ОСЦЛС-НФ с центральным оптическим модулем (рис. 3) содержит от одного до 12 одномодовых ОВ. Этот дроп-кабель выполняется в виде трубки из полибутилентерефталата, заполненной гидрофобным наполнителем. Его конструкция содержит силовые элементы в виде двух стеклопластиковых прутков, с наружной оболочкой из материала, не распространяющего горение, с пониженным дымо- и газовыделением, не выделяющего коррозионно-активных газообразных продуктов дымо- и газовыделения при горении и тлении.

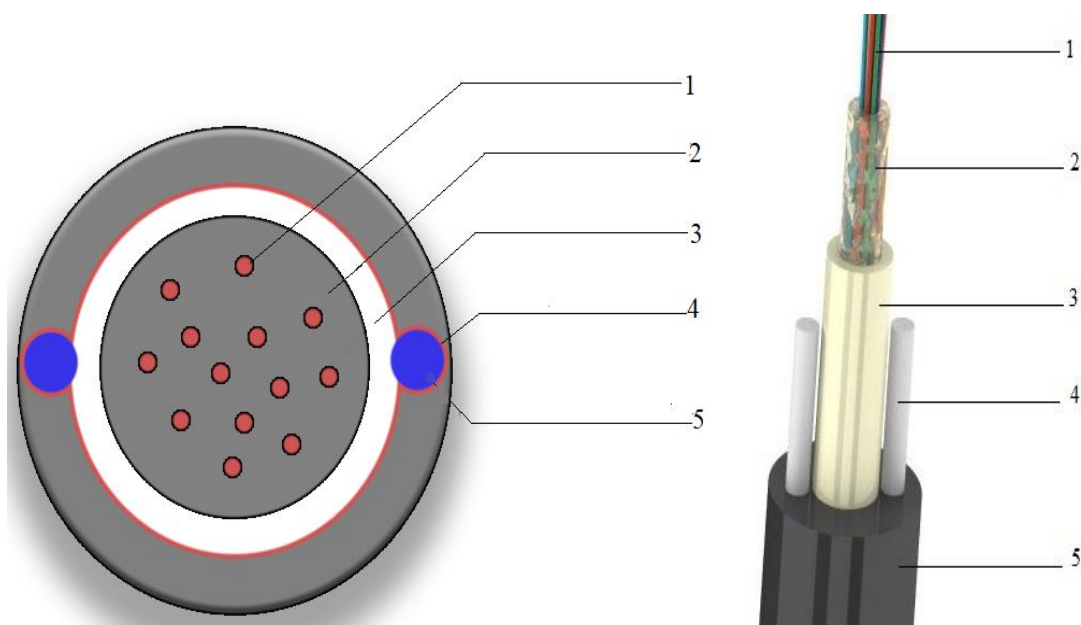


Рис. 3. Конструкция дроп-кабеля марки ОСЦЛС-НФ

1. Оптическое волокно
2. Гидрофобный наполнитель
3. Центральный оптический модуль
4. Силовой элемент – стеклопластиковый пруток,
5. Наружная оболочка.

Дроп-кабель марки ОВНБЛС-НФ (рис. 4) вертикальной прокладки, содержит до 48 одномодовых ОВ с уменьшенными потерями на изгибах с малыми радиусами по рекомендации ITU-T G.657A1, находящихся в 12 микромодулях, по 4 ОВ в каждом ОММ. Диаметр ОММ составляет от 0,9 до 1,6 мм. Кабель имеет силовые элементы в виде двух стеклопластиковых прутков, с наружной оболочкой из материала, не распространяющего горение, с пониженным дымо- и газовыделением, не выделяющего коррозионно-активных газообразных продуктов дымо- и газовыделения при горении и тлении. Количеством ОВ в ОММ от 2 до 24, волокна окрашены в различные цвета, при этом используют максимально 12 цветов. При количестве ОВ более 12 делают дополнительную штриховую маркировку ОВ.

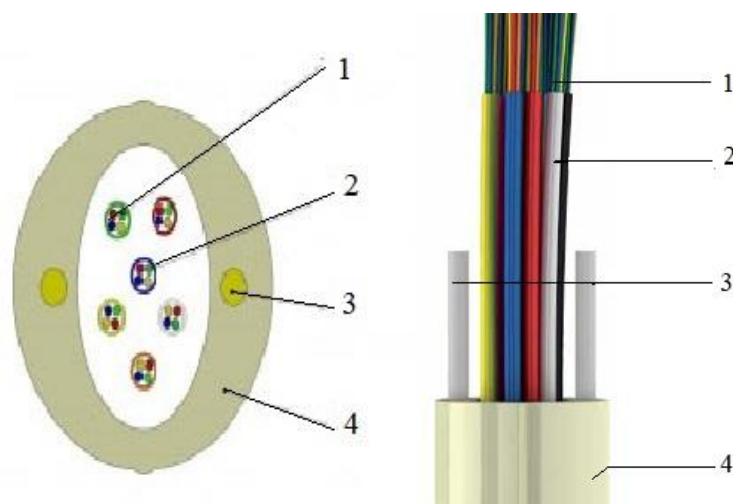


Рис. 4. Дроп-кабель марки ОВНВЛS-НF для прокладки внутри зданий.

1. Оптическое волокно,
2. Оптические микромодули (ОММ),
3. Силовой элемент – стеклопластиковый пруток,
4. Наружная оболочка.

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментальных исследований дроп-кабелей марок ОВНВЛS-НF, ОВНПЛS-НF и ОПНПЛS-НF в зависимости от растягивающего и раздавливающего усилия, и марок ОПНПЛS-НF и ОСЦЛS-НF от температуры при этом измеряли затухание мощности оптического сигнала в ОВ.

Основные характеристики кабелей, названных марок, приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Основные характеристики ОК, предназначенные для прокладки внутри зданий

Параметр	Марка кабеля	
	ОВНВЛS-НF	ОВНПЛS-НF
Количество ОВ	24	12
Диаметр ОК, мм	8,5	-
Габаритные размеры кабеля, мм	-	2*2
Диаметр стеклопластиковых прутков, мм	0,5	0,3
Количество силового элемента	2	2

Допустимое растягивающее усилие, кН	0,5	0,4
Допустимое раздавливающее усилие, кН/см	0,2	0,25

На рис. 5 и 6 представлены зависимости затухания сигналы в ОВ дроб-кабеля марок ОВНВнг(А)LS-HF6x4A1(0.9)-0,5Д2 и ОВНПнг(А)LS-HF8A1(0.9)-0,4Д2 от величины растягивающего усилия.

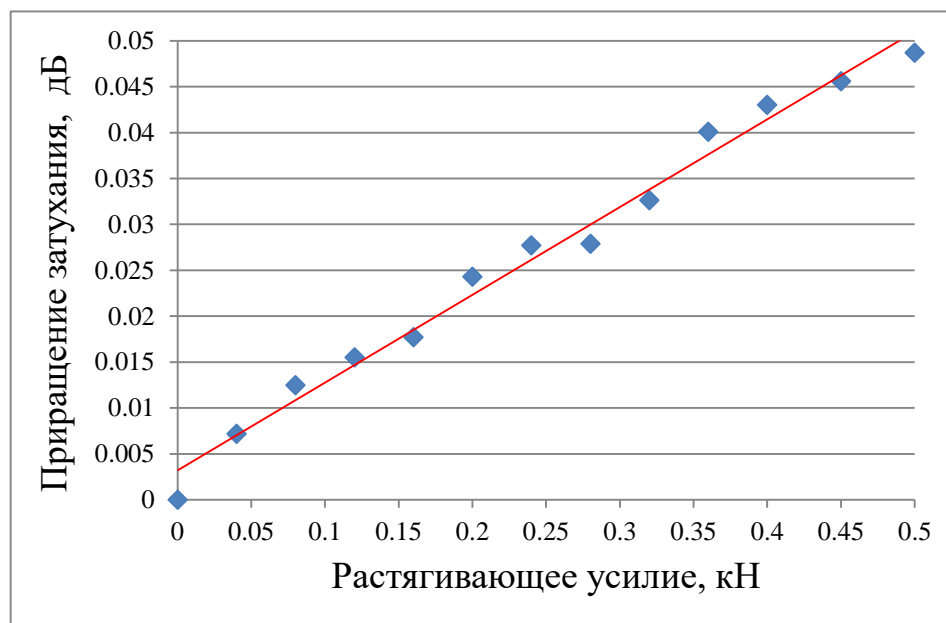


Рис. 5. Зависимость приращения затухания сигнала в ОВ кабелей марки ОВНВнг(А)LS-HF6x4A1(0.9)-0,5Д2 от растягивающего усилия.

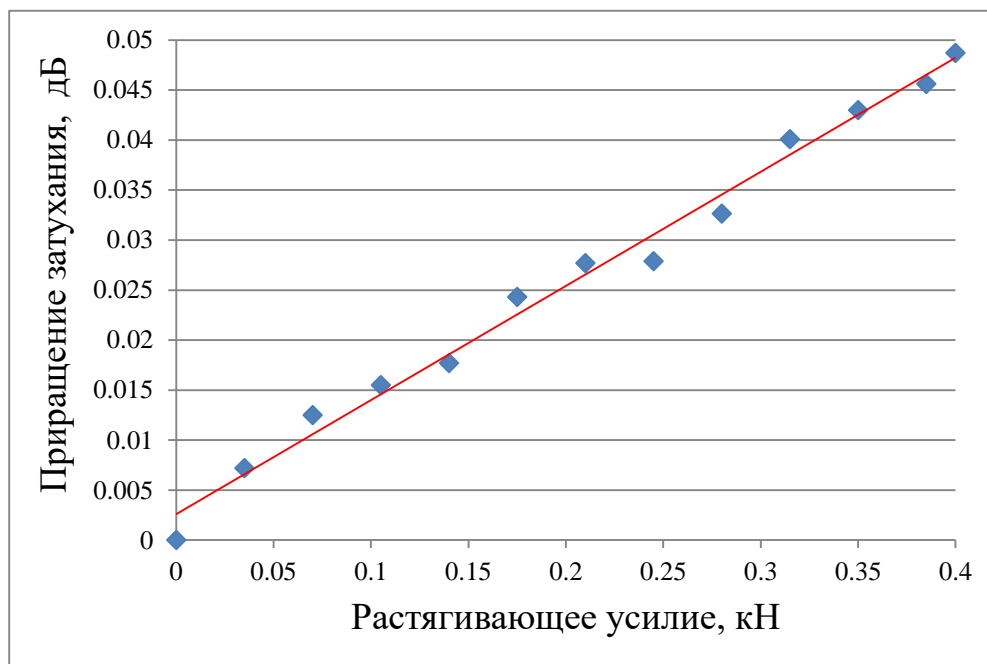
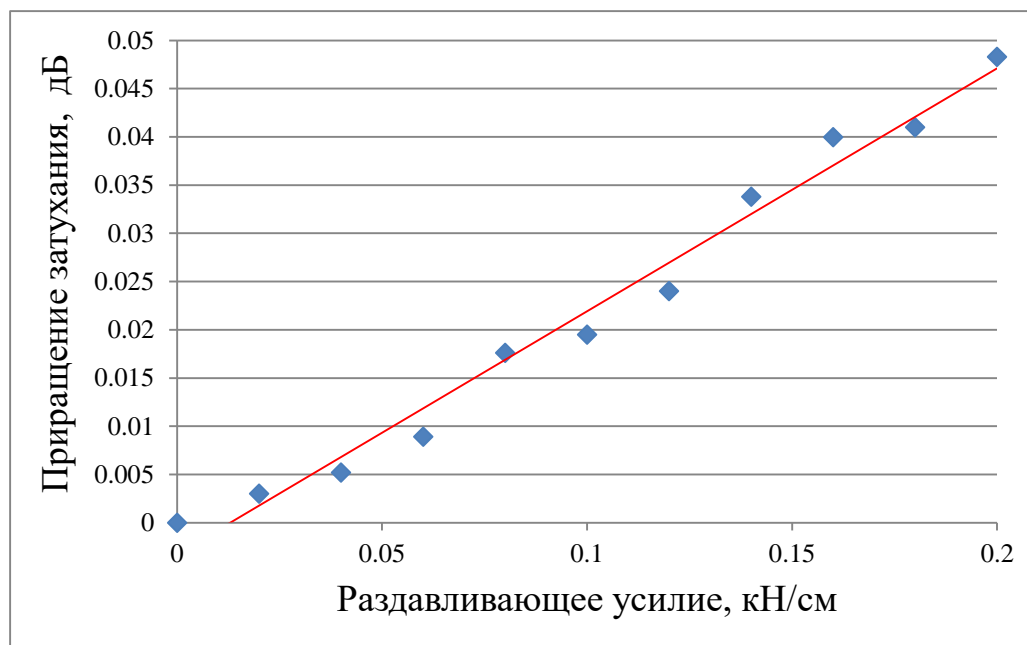


Рис. 6. Зависимость приращения затухания сигнала в ОВ кабелей марки ОВНПнг(А)LS-HF8А1(0.9)-0,4Д2 от растягивающего усилия.

На рис. 7,8 и 9 представлены зависимости затухания сигналы в ОВ друп-кабеля марок ОВНВнг(А)LS-HF6x4А1(0.9)-0,5Д2, ОВНПнг(А)LS-HF8А1(0.9)-0,4Д2 и ОПНПLS-HFнг(А)LS-HF8А1(0.9)-1,0Д2 от величины раздавливающего усилия.



На рис. 7 представлены зависимости затухания сигналы в ОВ друп-кабеля марки ОВНВнг(А)LS-HF6x4А1(0.9)-0,5Д2 от величины раздавливающего усилия.

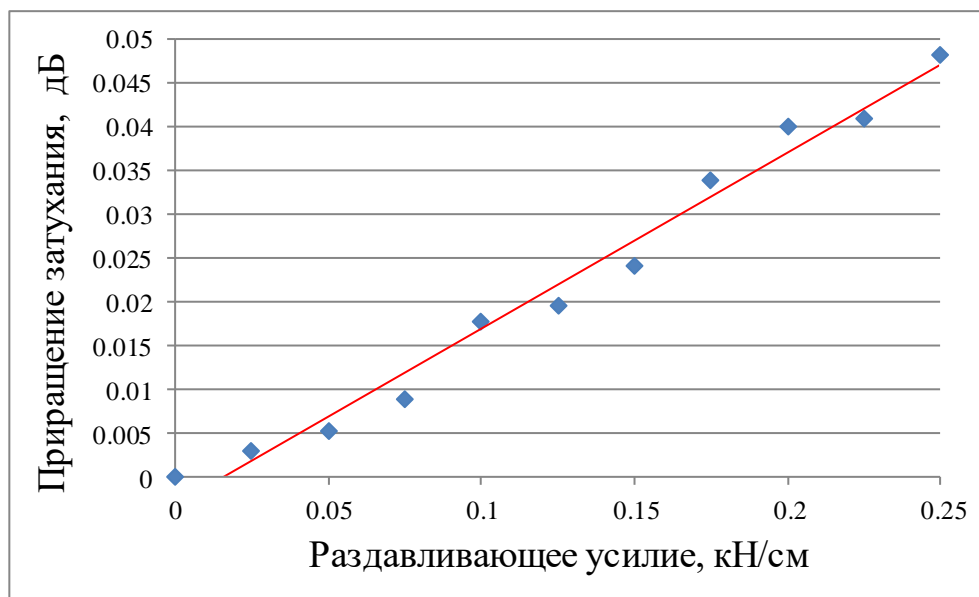


Рис. 8. Зависимость приращения затухания сигнала в ОВ кабеля марки ОВНПнг(А)LS-HF8A1(0.9)-0,4Д2 от раздавливающего усилия.

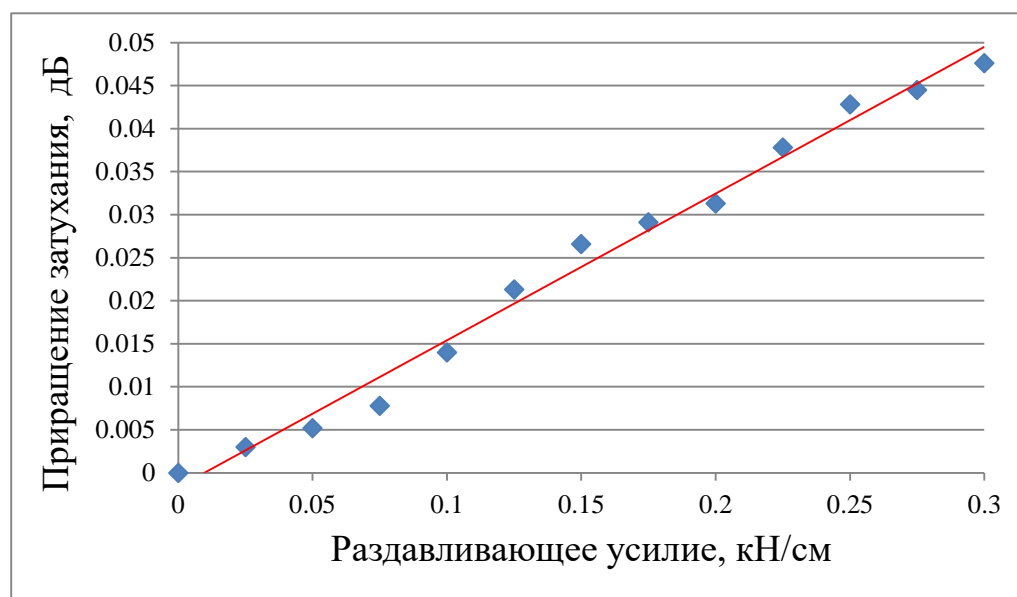


Рис. 9. Зависимость приращения затухания сигнала в ОВ кабеля марки ОПНПLS-HF нг(А)LS-HF8A1(0.9)-1,0Д2 от раздавливающего усилия.

На рис. 10 представлены зависимости затухания сигналы в ОВ друп-кабелей марок ОПНПLS-HF нг(А)LS-HF8A1(0.9)-1,0Д2 и ОСЦ LS-HF8A-1,0Д2 от температуры.



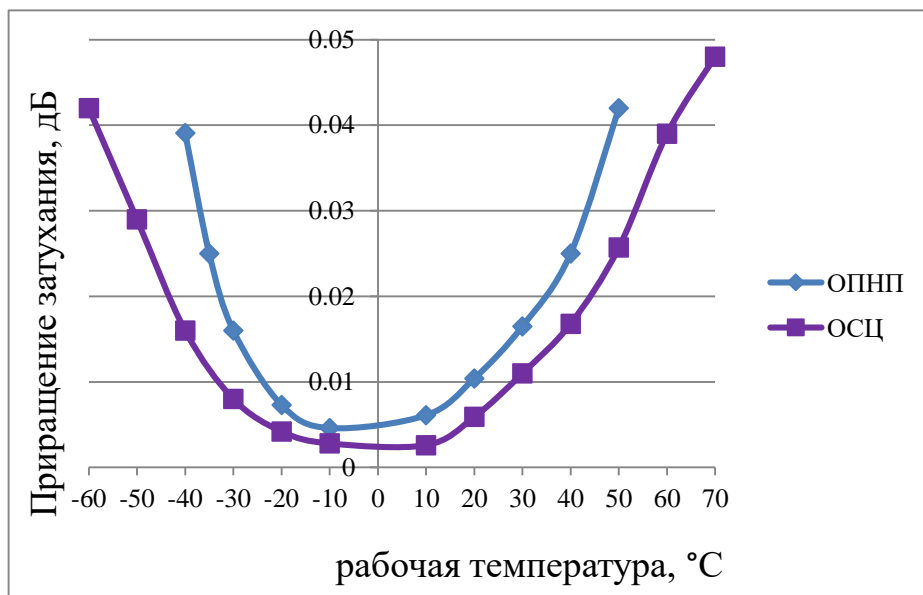


Рис. 10. Зависимость приращения коэффициента затухания в ОВ кабелей марок ОПНП LS-HFнг(A)LS-HF8A1(0.9)-1,0Д2 и ОСЦ LS-HF8A-1,0Д2 от температуры.

Стойкость ОК к воздействию климатических факторов окружающей среды обеспечена свойствами применяемых материалов. Учитывая, что в конструкции ОК различные элементы выполнены из различных материалов, актуальным является создание термостабильной конструкции кабеля, в которой правильно сочетаются эти материалы.

Известно, что при изменении температуры длина различных элементов конструкции ОК изменяется по-разному. Рассмотрим, в каком соотношении происходит изменение длины любого элемента конструкции кабеля относительно длины ОВ:

$$E_{ОВ} = (\alpha_{ТЗО} - \alpha_{ОВ}) \cdot (T - T_0) \quad (12)$$

где,  $T_0$  – температура, при которой начальная длина всех элементов кабеля равна длине ОВ, °C;

$T$  – температура окружающей среды, для которой производится оценка разности длины элемента кабеля относительно длины ОВ, °C;

$\alpha_{ТЗО}$  – температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) материала, из которого изготовлен рассматриваемый элемент ОК (например для полиэтилена  $\alpha_{ТЗО} = 1,3 \times 10^{-4} \cdot 1/^\circ\text{C}$ ) [71];

$\alpha_{ОВ}$  – ТКЛР для ОВ (принимается равным  $\alpha_{кварца} = 5,8 \times 10^{-7} \cdot 1/^\circ\text{C}$ )

Используя уравнение (12) рассчитаем, как при изменении температуры ОК в диапазоне допустимых режимов эксплуатации меняется соотношение длины оптического волокна и оболочки из полиэтилена.

Визуальный анализ полученных графиков показал следующее. Зависимости коэффициента затухания от растягивающего усилия ( $F_p$ ), и от раздавливающего усилия ( $F_q$ ) для исследованных ОК имеют линейный характер. Уравнение для прямой линии, известно, как линейное уравнение:

$$\alpha = a_1 + b_1 F_p \quad (13)$$

$$\alpha = a_2 + b_2 F_q \quad (14)$$

В котором коэффициенты  $a$  и  $b$  являются коэффициентами регрессии.

В табл. 3. приведены полученные уравнения регрессии для исследованных ОК.

Таблица 2.

Уравнение регрессии зависимости изменения затухания от растягивающего и раздавливающего усилия и температуры для исследованных кабелей.

Марки кабелей	Зависимость изменения затухания от растягивающего усилия	Зависимость изменения затухания от раздавливающего усилия
ОВНВнг(A)LS-HF6x4A1(0.9)-0,5Д2	$\alpha = 0,006 + 0,005F_p$	$\alpha = 0,002 + 0,005F_q$
ОВНПнг(A)LS-HF8A1(0.9)-0,4Д2	$\alpha = 0,007 + 0,005F_p$	$\alpha = 0,003 + 0,006F_q$
ОПНПLS-HFнг(A)LS-HF8A1(0.9)-1,0Д2	$\alpha = 0,006 + 0,004F_p$	$\alpha = 0,002 + 0,005F_q$

Анализ полученных уравнений регрессии показал, что получена в уравнениях для кабелей с большим количеством ОВ больше, чем в уравнениях для кабелей с малым ОВ. Следовательно, количество ОВ влияет на стойкость внутриобъектовых ОК к раздавливающему усилию. Кабели с большим количеством ОВ менее стойки к воздействию раздавливающего усилия.

Результаты данной работы подтверждают регламентированную стойкость ОК к механическим и температурным воздействиям.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Выполнен обзор современных технологий для прокладки внутри зданий при используемой PON сети и требований к ним, из которых следует, что для обеспечения все возрастающих требований необходимо применение в этих технологии ОК.
2. В ходе выполнения работы создана новый дизайн дроп-кабелей, отвечающий современным требованиям для технологии для прокладки внутри зданий, конструкция которого содержит ОВ, покрытое буферным слоем из поливинилхлоридного пластика. Кабель так же содержит стеклопластиковые прутки и для предания механической прочности и внешнюю полимерную оболочку. Оболочка изготовлена из специальных полимеров, не содержащих галогенов с низким дымо- и газовыделением.
3. Установлены аналитические зависимости между приростом затухания в ОВ при увеличении тепловых и механических нагрузок, воздействующих на ОК.
4. Определены допустимые значения механических и тепловых нагрузок, воздействующих на ОК, вновь созданных конструкций, которые предназначены для прокладки внутри зданий. При этом критерием работоспособности являлось допустимое нормативной документацией значение приращения затухания в ОВ (не выше установленного).

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Боев М.А., Е Наинг Лин. Оптические кабели по программе “ОПТИКА ДО ДОМА”. // XVI Международная конференция Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты МКЭЭЭ-2016Труды. – Крым, Алушта.: С. 75-76.
2. Боев М.А., Е Наинг Лин. Особенности одно- и двух волоконных оптических кабелей для внутриобъектовой прокладки. // XXIII международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». Труды. – НИУ, МЭИ. МКЭЭЭ-2017.: С. 42.
3. Боев М.А., Е Наинг Лин. Стойкость дроп-кабелей к воздействию удара. // XXIV международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». Труды. – НИУ, МЭИ. МКЭЭЭ-2018.: С. 382.

4. Боев М.А., Е Наинг Лин. Стойкость дроп-кабелей к воздействию кручению // XVII Международная конференция Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты МКЭЭЭ-2018 Труды. – Крым, Алушта.: С. 66-67.
5. Боев М.А., Е Наинг Лин. Стойкость дроп-кабелей к воздействию удара. // XXV международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика" «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». Труды. – НИУ, МЭИ. МКЭЭЭ-2019.: С. 333.
6. Боев М.А., Е Наинг Лин // Механические свойства дроп-кабелей// Вестник МЭИ. 2018. № 5 (360). С. 31-36.
7. Боев М.А., Е Наинг Лин // Климатические и механические свойства дроп-кабелей // Кабели и провода. 2018. № 4. С. 41-44.
8. Боев М.А., Е Наинг Лин // Механический расчет дроп-кабелей // Кабели и провода. 2019. № 5. С. 26-29.
9. . М. А. Bоеv, Н. М. Ко, Y. N. Lin and S. Chunyu, "Comparison of Mechanical Parameters of Self-Supporting Suspended Optical Cables with Power Elements from Different Materials," 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russia, 2020, pp. 1-5.
10. М. А. Bоеv; Hein Myat Ko; Sui Chunyu; Ye Naing Lin; Ye Kyaw Min "Design of Optical Cables Intended for Laying Inside Buildings and Zone Communication" 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russia, 2020, pp. 1-4.