Баннов Владимир Вениаминович. Разработка и исследование кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией для широкополосного абонентского доступа : диссертация ... кандидата технических наук : 05.09.02 / Баннов Владимир Вениаминович; [Место защиты: Всерос. науч.-исслед., проектно-констр. и технол. ин-т каб. пром-сти].- Москва, 2010.- 161 с.: ил. РГБ ОД, 61 10-5/3001

**Введение к работе**

**Актуальность темы.** В России в настоящее время построено большое количество волоконно-оптических линий передачи как на магистральных и внутризоновых сетях, так и на городских телефонных сетях. На сетях связи для повышения пропускной способности стали применяться технологии спектрального уплотнения, основанные на принципе волнового мультиплексирования, т.е. разделения каналов по длине волны. Все это позволяет получить скорости передачи в несколько сотен Гбит/с и даже Тбит/с по одному оптическому волокну. Однако такие значительные объемы трафика имеют большую востребованность только при условии быстрого наращивания пропускной способности сетей абонентского доступа, т.е. необходимо иметь широкополосный абонентский доступ (ШПД). Cети ШПД являются наиболее дорогим сегментом сети связи. Затраты операторов на сети доступа могут достигать до 70% суммарных инвестиций. Поэтому традиционные операторы стремятся использовать существующие сети доступа как можно дольше. Однако на действующих линиях, построенных на основе кабелей типа ТПП, больших скоростей передачи для 100% уплотнения всех пар в кабеле обеспечить не удается. Обычно скорость передачи на действующих линиях не превышает 6-8 Мбит/с при длине линии не более 3 км.

В современных условиях в России стала широко использоваться для построения сети ШПД архитектура FTTx, согласно которой от узла связи до точки «х» прокладывается магистральный оптический кабель (ОК), а от точки «х» до абонента прокладывается распределительный симметричный кабель. На участке от точки «х» до абонента применяются высокоскоростные технологии xDSL (DSL – Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия), которые обеспечивают в зависимости от длины симметричного кабеля скорости передачи от 25 до 100 Мбит/с. Экономические условия в разных регионах России заметно различаются, поэтому в практике применяются различные архитектуры FTTx:

- FTTC – ОК прокладывается от узла связи до микрорайона, квартала или группы домов;

- FTTB – ОК прокладывается от узла связи до одного большого здания;

- FTTН – ОК прокладывается от узла связи до абонента (квартиры или отдельного коттеджа).

В масштабах России наибольшее применение находят технологии FTTC при длине симметричного кабеля 700-1000м и FTTB, при которой длина симметричного кабеля составляет 100-200м.

В настоящее время на сетях ШПД применяются конструкции кабелей, отличающиеся различной парностью, типом скрутки и изоляции токопроводящих жил. В кабелях связи для систем передачи xDSL и структурированных кабельных систем (СКС) применяется как сплошная, так и трехслойная пленко-пористо-пленочная полиэтиленовая изоляция жил. Использование пленко-пористо-пленочной изоляции дает ряд преимуществ: уменьшается величина диэлектрической проницаемости изоляции и, как следствие, снижается коэффициент затухания цепей кабеля, увеличивается дальность передачи; уменьшаются габариты кабеля, снижается расход материалов и, следовательно, уменьшается стоимость кабеля. В кабелях СКС 6 и 7 категорий для выполнения требований норм по коэффициенту затухания на высоких частотах применяется в основном пленко-пористо-пленочная изоляция жил. Надежность работы кабеля во многом определяется защитой цепей от воздействия внешних электромагнитных полей и электрической прочностью изоляции жил. Отличительной особенностью пленко-пористо-пленочной изоляции является формирование в наибольшем по объему пористом слое мелких закрытых газовых пор, поэтому для оценки возможности использования кабеля связи с пленко-пористо-пленочной изоляцией на сетях ШПД необходимо проведение исследования пробивных напряжений кабеля с данным типом изоляции. В ряде случаев, на сетях с использованием систем передачи xDSL применяются кабели с разнонаправленной (S-Z) скруткой пар, но наличие больших нескрученных прямолинейных участков не позволяет обеспечить требования по параметрам взаимного влияния между цепями, особенно на высоких частотах, поэтому в кабелях ШПД необходимо использовать только однонаправленную скрутку пар.

Из всего отмеченного выше можно сделать вывод, что актуальной задачей является разработка и исследование кабеля ШПД с пленко-пористо-пленочной полиэтиленовой изоляцией и однонаправленной парной скруткой, который бы удовлетворял требованиям обеспечения скорости передачи до 100 Мбит/с с применением систем передачи xDSL при 100% использовании цепей кабеля, а также требованиям СКС в диапазоне частот до 100 МГц.

**Состояние вопроса.** Вопросы конструирования и оптимизации конструкций симметричных кабелей связи в нашей стране рассматривалась в работах А.Б. Цалиовича и К.К. Абрамова. В работе А.Б. Цалиовича оптимизация конструкции кабеля проводится по критерию минимизации его стоимости при заданных электрических характеристиках. В работах К.К. Абрамова рассматриваются вопросы моделирования и расчет обобщенного кабеля.

Что касается электромагнитных влияний (ЭМВ), то они рассматривались многими отечественными учеными: И.И. Гродневым, В.О. Шварцманом, В.А. Андреевым, А.Ю. Цымом и др. Из зарубежных ученых – В. Клейном, Г. Каденом и др. Задача анализа электромагнитных влияний между цепями сводится к решению обобщенной системы телеграфных уравнений, которое получают путем принятия различных ограничений и допущений. Например, в работах В.О. Шварцмана, И.И. Гроднева, В. Клейна решение телеграфных уравнений сделано в предположении слабых связей между отдельными цепями в пучке. При анализе ЭМВ между симметричными цепями не учитывалась асимметрия взаимовлияющих цепей и нагрузок. Также не учитывалось изменение электромагнитных связей по длине кабеля. При выводе уравнений для взаимных влияний в указанных работах принимались допущения, справедливые для диапазона частот аналоговых систем передачи. В работах В.А. Андреева для решения обобщенной системы телеграфных уравнений применен метод последовательных приближений. Предполагалось, что цепи многопроводных линий связи являются слабо нерегулярными, а также слабо связанными. Что касается кабелей с парной скруткой, то они в этих работах рассматривались как нерегулярные по длине. Обусловлено это тем, что в последние несколько десятков лет для кабелей городских телефонных сетей использовалась технология S-Z (разнонаправленной) скрутки, благодаря которой чередуются скрученные и нескрученные участки цепей. Вопросы анализа электромагнитной совместимости при оборудовании цепей многопроводной направляющей системы различными системами передачи рассмотрены А.Ю. Цымом. Им разработана универсальная частотная модель электромагнитной совместимости (ЭМС) цепей многопроводной направляющей системы. Это позволяет решать проблемы ЭМС цепей с применением аппаратуры цифровых и аналоговых систем передачи.

Исследованию электрической прочности изоляции посвящены работы отечественных ученых: Г.Н. Александрова, Э.Т. Лариной, И.Б. Пешкова, С.М. Брагина, К.К. Абрамова, Н.Д. Калинина, Н.С. Лиманского. Исследования электрической прочности изоляции симметричных кабелей связи в основном проводились на кабелях с кордельно-полистирольной изоляцией.

С учетом изложенного, сформулируем цель и основные задачи настоящей диссертационной работы.

**Целью диссертационной работы** является разработка и исследование многопарного кабеля связи с пленко-пористо-пленочной полиэтиленовой изоляцией жил и однонаправленной парной скруткой, который бы отвечал требованиям обеспечения скорости передачи до 100 Мбит/с с применением систем передачи xDSL, а также требованиям СКС в диапазоне частот до 100 МГц.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие **задачи:**

- анализ архитектур построения сетей проводного широкополосного абонентского доступа и требований современных систем передачи xDSL, предъявляемых к кабелям местной связи;

- определение норм на электрические параметры кабеля для широкополосного абонентского доступа, исходя из требований высокоскоростных систем передачи xDSL и требований СКС;

- разработка математической модели электромагнитных влияний между симметричными цепями кабеля парной скрутки с регулярной по длине конструкцией;

- теоретические и экспериментальные исследования параметров взаимного влияния кабеля в диапазоне частот до 100 МГц;

- исследование пробивных напряжений кабеля c пленко-пористо-пленочной изоляцией жил;

- разработка практических рекомендаций по конструированию и технологии изготовления кабеля ШПД, отвечающего требованиям высокоскоростных систем передачи xDSL и требованиям СКС.

**Методы исследования**. Для решения поставленных задач использовалась теория направляющих систем связи в части электромагнитных влияний между цепями, теория вероятностей и математическая статистика. Выводы и рекомендации, сформулированные в работе, основаны на теоретических и экспериментальных исследованиях, и расчетах с использованием аналитических и численных методов, реализованных в среде «MathCAD».

**Научная новизна работы** сводится к следующему:

1. Разработаны математические модели электромагнитных влияний между симметричными цепями кабелей с пленко-пористо-пленочной полиэтиленовой изоляцией и однонаправленной парной скруткой для широкополосного абонентского доступа.
2. Проведен теоретический анализ и выявлены основные закономерности изменения частотных характеристик взаимного влияния на ближнем и дальнем концах для исследуемого типа кабеля.
3. Теоретически показано и экспериментально подтверждено, что в исследуемом кабеле определяющим является непосредственное влияние между цепями, обусловленное регулярной и нерегулярной составляющими электромагнитной связи. Показано, что косвенные влияния через третьи цепи пренебрежимо малы.
4. Впервые проведены исследования пробивных напряжений кабеля с пленко-пористо-пленочной полиэтиленовой изоляцией жил на коротких образцах и на строительной длине. Показано, что минимальные значения пробивных напряжений исследуемого кабеля выше нормируемых значений испытательных напряжений.
5. Обосновано, что для обеспечения востребованной сегодня скорости передачи до 100 Мбит/с на сетях ШПД с использованием архитектур FTTC и FTTB необходимо применение специально разработанного для этой цели кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией при 100% уплотнении всех пар высокоскоростными системами передачи xDSL.

**Практическая ценность работы** заключается в следующем:

1. Разработанные математические модели электромагнитных влияний позволяют анализировать параметры взаимных влияний различных конструкций кабелей связи парной скрутки с регулярными по длине симметричными цепями.

2. Установлены преобладающие составляющие взаимного влияния, позволяющие на этапе конструирования и производства кабеля принимать меры по уменьшению взаимных влияний путем изменения конструктивных параметров кабеля.

3. Определены нормы на параметры взаимного влияния между цепями кабеля на ближнем и дальнем концах в диапазоне частот работы современных высокоскоростных систем передачи xDSL, позволяющие учитывать их при разработке и организации производства кабелей ШПД.

1. Определены величины пробивных напряжений между жилами и между жилами и экраном кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией, которые позволяют учитывать их при разработке и организации производства кабелей ШПД.
2. На базе проведенных теоретических и экспериментальных исследований электромагнитных влияний между регулярными по длине цепями разработаны рекомендации, с точки зрения обеспечения высокой помехозащищенности цепей, по конструированию кабелей ШПД, отвечающих требованиям современных высокоскоростных систем передачи xDSL и требованиям СКС.

**Реализация результатов работы**. Результаты диссертационной работы использованы в ЗАО «Самарская кабельная компания» при разработке и организации производства кабелей ШПД в части разработки конструкций кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией медных жил, нормирования параметров взаимного влияния на основе теоретических и экспериментальных исследований в диапазоне частот до 100 МГц, а также нормирования испытательных напряжений между жилами и между жилами и экраном. Результаты работы внедрены также в ОАО «Башинформсвязь» и в Самарском филиале ОАО «ВолгаТелеком».

**Апробация работы**. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» (г. Уфа, 2003 г.; г. Самара, 2005 г., 2009 г.), на международных научных сессиях, посвященных дню Радио (г. Москва, 2004 г., 2009 г.), на международной конференции «Развитие телекоммуникаций в России» (г. Сочи, 2006 г.), на XVII российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (г. Самара, 2010 г.).

**Публикации**. По теме диссертации опубликовано 18 работ, в том числе 6 работ в изданиях по перечню ВАК.

**Структура и объем работы**. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 139 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков, 8 таблиц, список литературы из 89 наименований, а также приложение на 13 страницах. Общий объем диссертации составляет 161 страницу.