

**АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА, СВЯЗЬ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА,
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

УДК 75.2

Утепбергенов Ирбулат Туремуратович – д.т.н., профессор (Алматы, КазАТК)
Юсупова Гульбахар Мадреймовна – соискатель (Алматы, КазАТК)

**ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН В
СОВРЕМЕННЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ**

Как известно, развитие новых информационных технологий тесно связано с использованием волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), которое находят широкое применение в различных приложениях, как на транспортных сетях связи, так и в сетях передачи данных. При использовании оптического волокна (ОВ) на протяженных (десятки километров) участках очень важно полностью использовать его ресурс. Для этого применяются технологии SDH и ATM, обеспечивающие высокие скорости передачи (155 и 622 Мбит/с, 2,5 Гбит/с) на больших расстояниях.

К базовым принципам построения следует отнести:

- активное применение волоконно-оптических линий связи и радиоканалов;
- возможность интеграции с любыми информационными системами, включая ЛВС, УАТС, системы видеоконференций и кабельного телевидения, АСУТП и т.д.
- обеспечение высокой надежности и безотказности функционирования сетей: использование резервных каналов связи, дублирование основных компонентов системы;
- достаточный «запас прочности», который обеспечил бы дальнейшее развитие системы в течение многих лет.

Кроме того, в среднем, по данным статистики, каждые пять лет состав оборудования систем передачи полностью обновляется, при этом срок службы кабельных линий связи составляет, как минимум, 25 лет. Операторы связи, стремясь к унификации оборудования, находящихся в эксплуатации и работающих в одномодовом режиме ВОСП, сталкиваются с проблемой адаптации многомодовых ОВ ВОСП первого поколения к современным высокоскоростным одномодовым ВОСП. Известны факты подключения аппаратуры ВОСП и линейных ОВ, поддерживающих разные режимы передачи оптического излучения, с последующей организацией каналов связи соответствующей емкости без проведения каких-либо дополнительных мероприятий и изысканий. Однако в большинстве случаев предприятия и организации вынуждены просто отказываться от использования введенных в эксплуатацию ОК с многомодовыми ОВ после неудачной попытки задействовать их при реконструкции и развитии сети связи под современные одномодовые ВОСП. Таким образом, в настоящее время на транспортных сетях связи существует большое количество находящихся в удовлетворительном состоянии незадействованных ВОЛС с ОК и многомодовыми ОВ российского производства, срок эксплуатации которых истекает не ранее, чем через 8, а в большинстве случаев и через 10-15 лет. Вместе с тем многомодовые ОВ по-прежнему продолжают достаточно эффективно использоваться на локальных сетях передачи данных. Это объясняется сравнительно низкой стоимостью оптоэлектронных компонентов многомодовых ВОСП, по сравнению с оборудованием одномодовых ВОСП для одной и той же спецификации заданного стандарта. Благодаря малой протяженности элементарного кабельного участка локальной сети (менее одного километра), сочетание многомодовых ВОСП и многомодовых ОВ

позволяет свести к минимуму суммарные затраты на строительство ВОЛС ведомственных сетей передачи данных. Тем не менее, задача согласования линейных многомодовых ОВ и высокоскоростных ВОСП появилась уже в процессе разработки таких сетевых протоколов, как Gigabit Ethernet, АТМ 622 Мбит/с, АТМ 2,5 Гбит/с, Fiber Channel 1,0625 Гбит/с и им подобных. Указанные спецификации требуют использования когерентных источников оптического излучения – таких, как одномодовые лазерные диоды (ЛД) или лазеры VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Lasers – лазеры поверхностного излучения с вертикальным объемным резонатором). В свою очередь, многомодовые источники – светоизлучающие диоды (СИД) – не поддерживают столь высокую частоту модуляции и, соответственно, не могут применяться в ВОСП, позволяющих передавать данные со скоростью более 622 Мбит/с.

Процесс распространения оптических импульсов, возбуждаемых одномодовым источником оптического излучения, по многомодовому ОВ характеризуется сильным проявлением эффекта дифференциальной модовой задержки (Differential Mode Delay – DMD). Причина – наличие характерного дефекта профиля показателя преломления, связанного с особенностями технологии производства ОВ со сглаженным профилем, известной как модифицированный способ химического осаждения из газовой фазы (Modified Chemical Vapor Deposition – MCVD).

Идеальный профиль показателя преломления многомодовых градиентных ОВ представляет собой параболу, в то время как в центре сердцевины реального MCVD профиля наблюдается “провал” показателя преломления, диаметр которого в отдельных случаях может достигать 12 мкм, который является результатом испарения примесей в процессе диффузии слоев и схлопывания трубки.

Большинство существующих в настоящее время в АО «НК «Қазақстан темір жолы» многомодовых ВОЛС транспортных сетей связи построено на основе российских волокон 50/125 первого поколения, изготовленных по технологии MCVD. Параметры данного дефекта при производстве многомодовых ОВ этого поколения не контролировались, а поскольку строительные длины многомодовых ОВ соответствуют строительной длине многомодового ОК – 2 – 4 км, то для каждой строительной длины параметры указанного дефекта индивидуальны.

В процессе возбуждения многомодового ОВ многомодовым источником оптического излучения эффект DMD обычно не проявляется. Это связано с тем, что диаметр излучающей поверхности СИД равен или незначительно отличается от диаметра сердцевины многомодового ОВ. Поэтому, при возбуждении многомодовых ОВ с помощью СИД, происходит равномерное распределение мощности излучения между всеми направляемыми модами LP_{lm} , распространяющимися в сердцевине ОВ. Количество направляемых мод LP_{lm} , переносящих сигналы в многомодовых ОВ, достигает нескольких сотен. На приемной стороне моды высших порядков появляются с некоторой задержкой относительно мод низших порядков, что приводит к увеличению ширины импульса как результат хорошо изученного явления межмодовой дисперсии. Последняя характеризуется коэффициентом широкополосности ΔF , МГц·км, указываемым в паспортных данных на многомодовое ОВ на соответствующей длине волны (850 и 1300 нм). Напротив, диаметр пятна моды излучения, возбуждаемого одномодовым источником, в несколько раз меньше диаметра пятна моды сердцевины многомодового ОВ. В этом случае в сердцевину последнего вводится одна основная мода LP_{01} , которая, согласно теории связи мод, возбуждает моды только основного азимутального порядка $LP_{0m}(l=0)$. Более того, результаты теоретических и экспериментальных исследований показали [1], что в зависимости от параметров профиля, при одномодовом возбуждении основная часть мощности сигнала переносится 4-6 модами. Величина провала определяет разброс

значений групповой скорости возбуждаемых мод и, соответственно, порядок их поступления на приемную сторону. В свою очередь, условия ввода – вид соединения (оптический разъем, механический соединитель, сварка), а также характеристики стыка (осевое смещение, угловое рассогласование, зазор) – влияют на перераспределение мощности сигнала между возбуждаемыми модами. Поскольку в каждом отдельном случае подключения одномодового ЛД через разъем к линейному многомодовому ОВ параметры провала профиля и условия ввода будут отличаться, то и величина DMD для каждой новой комбинации ЛД – многомодовое ОВ будет разной. При этом полоса пропускания линии передачи не будет совпадать с паспортным значением.

Дифференциальная модовая задержка сильно искажает форму импульса, создавая серьезные проблемы при приеме сигнала. Результатом DMD является фазовый сдвиг между модами, приводящий к нежелательной интерференции на приемной стороне и к значительному росту числа ошибок. В худшем случае, из-за описанного эффекта DMD, передаваемый сигнал может разделиться на несколько составляющих, значительно уменьшая полосу пропускания многомодового ОВ, по сравнению с величиной, указанной в спецификациях на данное ОВ. Известны решения данной проблемы, полученные в результате экспериментальных и теоретических исследований в ходе разработки стандарта IEEE 802.3z. Указанный стандарт утвержден в июле 1998 г. и регламентирует передачу оптических сигналов, возбуждаемых когерентными источниками излучения по многомодовым ОВ со скоростью 1 Гбит/с при использовании специальных согласующих устройств, обеспечивающих смещение точки ввода излучения в сердцевину многомодовых ОВ на 10...16 мкм для волокон 50/125 и 17...23 мкм для волокон 62,5/125. Смещение области ввода излучения относительно центральной оси сердцевины ОВ реализуется либо внутри самого источника, либо с помощью согласующего шнура MCP (Mode Conditioning Patchcord). Благодаря смещенному вводу происходит равномерное возбуждение направляемых мод низшего порядка, в которых сосредоточена большая часть мощности оптического сигнала, распространяющегося по многомодовому ОВ. Уменьшение разброса амплитуд возбуждаемых мод существенно снижает проявление эффекта DMD. В то же время осевое рассогласование приводит к большим потерям на вводе и снижению полосы пропускания за счет увеличения числа распространяющихся мод, что значительно уменьшает протяженность регенерационного участка. В частности, максимально допустимая длина ЭКУ многомодовой ВОЛС Gigabit Ethernet ограничивается расстоянием, не превышающим 550 м.

Сегодня технология смещенного ввода широко используется на современных высокоскоростных LAN (ЛВС). Ее применение регламентировано принятым в 2002 г. стандартом IEEE 802.3ae (10 Gigabit Ethernet) на участках существующих многомодовых ВОЛС, протяженность которых составляет не более 300 м.

Усовершенствована технология производства градиентных световодов, разработаны новые типы многомодовых ОВ, оптимизированных для работы с ЛД и VCSEL: Infinicor Corning, GigaLite Alcatel, MMF YOFC, GigaGuide и LaserWave OFS и др. Профиль показателя преломления таких волокон не содержит дефектов в центральной области сердцевины. Соответственно, современные высокоскоростные многомодовые ВОЛП, использующие новое поколение градиентных ОВ не требуют дополнительных устройств согласования ЛД – линии передачи.

Несмотря на принятые меры, вопрос адаптации существующих многомодовых ВОЛС сетей связи общего пользования по-прежнему не решен окончательно. Основная причина – невозможность использовать рекомендации стандарта IEEE 802.3z непосредственно для транспортных сетей связи, отличающихся большей протяженностью при одновременно жестком ограничении на скорость передачи информации, по

сравнению с LAN. Стандарт не позволяет оптимизировать выбор одномодовой ВОСП для конкретной многомодовой ВОЛС. Как известно, российские ОВ первого поколения, уступают по качеству импортным ОВ. С другой стороны, на сетях связи применялись ОВ с улучшенными параметрами передачи. Поскольку характеристики многомодовых ОВ, связанные с DMD, индивидуальны, то обязательным условием является обследование ВОЛС, направленное на исследование этих характеристик.

Поэтому для обеспечения возможности реконструкции многомодовой ВОЛС для работы с одномодовыми ВОСП рекомендуется следующая методика, основанная на необходимости применения:

- устройства подавления DMD;
- устройства согласования одномодовых и многомодовых ОВ;
- средства измерения параметров широкополосности многомодовых ОВ.

Выводы:

1. Операторы связи, стремясь к унификации оборудования находящихся в эксплуатации и работающих в одномодовом режиме ВОСП, сталкиваются с проблемой адаптации многомодовых ОВ ВОСП первого поколения к современным высокоскоростным одномодовым ВОСП.

2. Вместе с тем, многомодовые ОВ по-прежнему продолжают достаточно эффективно использоваться на локальных сетях передачи данных, что позволяет свести к минимуму суммарные затраты на строительство ВОЛС ведомственных сетей передачи данных.

3. Процесс распространения оптических импульсов, возбуждаемых одномодовым источником оптического излучения, по многомодовому ОВ характеризуется сильным проявлением эффекта дифференциальной модовой задержки (Differential Mode Delay – DMD).

4. Известны решения данной проблемы, полученные в результате экспериментальных и теоретических исследований в ходе разработки стандарта IEEE 802.3z, однако он не позволяет оптимизировать выбор одномодовой ВОСП для конкретной многомодовой ВОЛС.

5. Для обеспечения возможности реконструкции многомодовой ВОЛС для работы с одномодовыми ВОСП предлагается методика, основанная на необходимости применения схемотехнических средств.

ЛИТЕРАТУРА

1.Алексеев Е.Б. Особенности эксплуатации ВОСП и пути повышения качества их функционирования //М., Электросвязь, 1997, № 5, с. 42-46.

УДК 621.315.616.9039.83

Бекмагамбетова Куралай Хамитовна – к.т.н., профессор (Алматы, АИЭС)

ВЫРАВНИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ КАБЕЛЯ С ПОЛИИМИДНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ЁМКОСТНЫМ МЕТОДОМ

Размеры электроизоляционных изделий и их форма предопределяются стойкостью к механическим, электрическим и тепловым воздействиям. Форма изделий во многом предопределяется тем оборудованием, для которого они предназначены. В большинстве