ВОЛС В ЛВС И СИСТЕМАХ СБОРА ИНФОРМАЦИИ: выбор физической среды и активной компонентной базы

Н.Варава, С.Пронин, М.Никоноров,
компания "Оптоэлектронные технологии", info@optotech.ru

Рассматривается использование волоконно-оптических технологий в областях, связанных с созданием современных локальных систем связи и систем сбора информации. Для каждого типа волокна приведены примеры применения приемных и передающих оптических модулей как импортного, так и отечественного производства; представлены результаты практической реализации этих решений.

Основные тенденции

Волоконно-оптические технологии все чаще используются в областях электронной техники, не связанных с передачей больших объемов информации на значительные расстояния. В первую очередь это различные объектовые системы межинтерфейсного обмена, организация управления технологическими процессами, прием и передача статусных сигналов и многие другие применения, в которых использование оптического волокна обеспечивает существенные преимущества по сравнению с традиционными средствами коммуникаций, как проводными, так и беспроводными.

В последнее время средства волоконной оптики все чаще используются в системах сбора информации от удаленных датчиков физических величин. К ним можно отнести охранные системы, основанные на использовании комбинационного рассеяния в волоконно-оптических кабелях, а также устройства для измерений больших значений силы тока и напряжения в электрофизической аппаратуре, используемой в некоторых технологических процессах. В перспективе предполагается возможность создания систем сбора информации, в которых измерение и транспортировка полученных данных осуществляются только оптическими методами. Это позволило бы существенно повысить безопасность технологических процессов в нефтегазовой промышленности, при производстве взрывчатых и химически опасных компонентов. Однако до последнего времени основными средствами измерений остаются традиционные датчики физических величин, а волоконно-оптические технологии решают задачи транспортного обеспечения полученных данных. Необходимость применения линий связи, выполненных с использованием оптических волокон, следует из их основных характеристик:

- низкое собственное затухание и отсутствие внутренних помех;
- широкая полоса частот;
- невосприимчивость к электромагнитным воздействиям и отсутствие собственного излучения;
- диэлектрические свойства волокон и их устойчивость к воздействию различных агрессивных сред;
- относительная сложность несанкционированного доступа;

• относительная простота согласования с активными компонентами оптических кабелей (ОК).

Функционально ВОЛС, являющаяся составной частью системы сбора информации, для рассматриваемых применений состоит из пассивной части и активных компонентов. К пассивной части относятся непосредственно оптические кабели определенной протяженности и с различным типом световедущей жилы. Сюда же относится и весь арсенал сопутствующих компонентов (разъемы, разветвители и др.). Активную часть ВОЛС составляют приемные и передающие устройства, выпускаемые в виде как одиночных экземпляров полупроводниковых светодиодов, лазерных диодов, фотодиодов, так и законченных волоконно-оптических модулей. Последние отличаются друг от друга использованием различных длин волн оптического спектра, выходной оптической мощностью, чувствительностью, быстродействием, форматом обрабатываемых сигналов, принципами обработки сигналов для решения задач конкретных применений.

Необходимо отметить, что для обеспечения связи на большие расстояния существует достаточно много активных компонентов, интегрирующих в своем составе оптические элементы и интегральные схемы, выполняющие функции согласования и сервиса. Рынок таких изделий очень обширен. Он занят несколькими крупными производителями, выпускающими весь спектр необходимых средств. Для решения специализированных задач по сбору информации от датчиков физических величин с применением волоконных технологий требуются, как правило, активные компоненты, способные работать в режимах, отличных от режимов работы компонентов, выпускаемых для решения традиционных задач связи. Эти компоненты могут быть использованы при передаче статусных сигналов и информации в виде отдельных пакетов и других неуравновешенных цифровых последовательностей; возможно их применение для передачи также и аналоговых сигналов.

В настоящее время происходят некоторые изменения в применении ВОЛС в локальных информационных сетях и системах сбора информации. Исторически первыми промышленно выпускаемыми были кварцевые и кварц-полимерные волокна с диаметром световедущей жилы 200, 100, 62,5 и 50 мкм. В этих волокнах возникает при распространении оптического излучения на широко используемых длинах волн (0,63 мкм, 0,85 мкм, 1,3 мкм, 1,55 мкм) многомодовый режим.

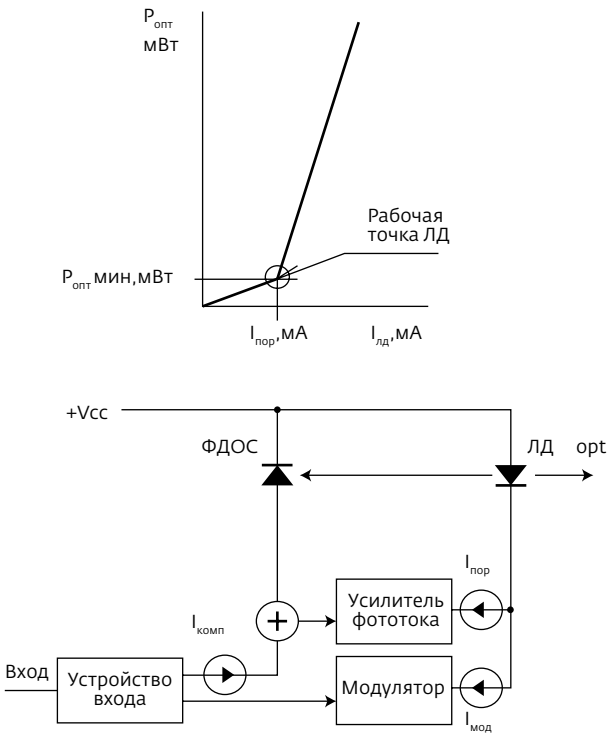

Рис.1. Положение рабочей точки ЛД на ватт-амперной характеристике и упрощенная схема компенсации скважности входного сигнала

Появление волокон с такими размерами световедущей жилы было связано в первую очередь с проблемой эффективного ввода оптического излучения в волокна, в которых возможен одномодовый режим, а также с технологическими проблемами при производстве волокон с диаметром световедущей жилы 3÷10 мкм. По этой причине одномодовые волокна (SMF) были существенно дороже многомодовых (MMF). В настоящее время ситуация в этом вопросе кардинально изменилась. Проблемы ввода оптического излучения в одномодовые волокна были решены с появлением "торцевых" лазерных структур, фоконов и некоторых других элементов нелинейной оптики. В то же время стоимость исходного материала для производства кварцевых многомодовых волоконных кабелей оказалась существенно выше, чем для производства одномодовых. По этой причине в локальных сетях, в которых связь реализуется с помощью оптического волокна, все чаще приоритет отдается именно оптическим кабелям на

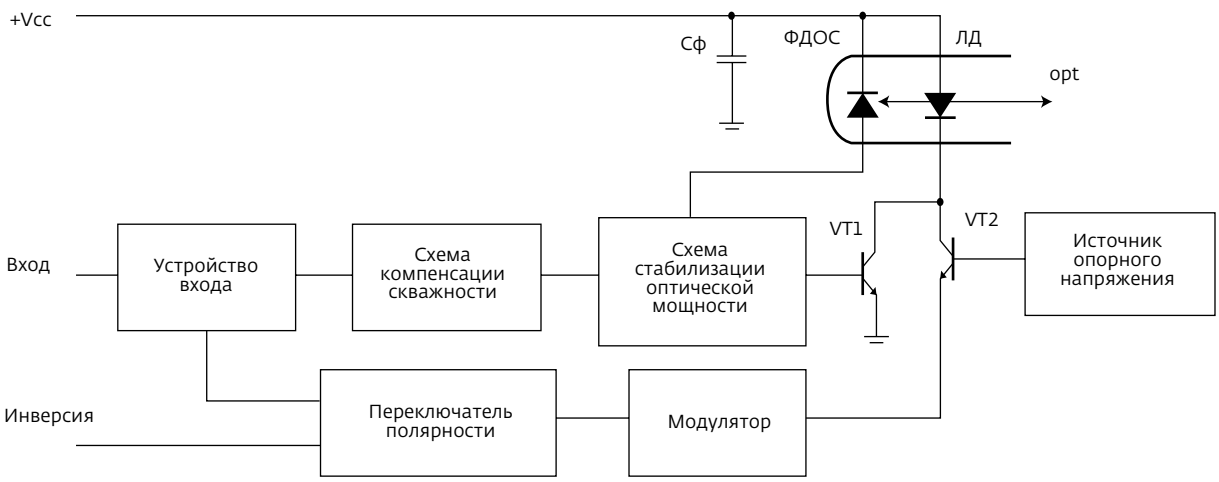

Рис.2. Функциональная схема передающего модуля, использующая ФДОС для стабилизации выходной оптической мощности

основе одномодового волокна. При выборе конкретного типа волокна для применения в качестве физической среды систем сбора информации учитывается также и более высокая широкополосность одномодовых волокон и отсутствие межмодовых комбинационных шумов, что, в свою очередь, дает возможность транслировать сигналы с большим динамическим диапазоном. По нашим наблюдениям, выполненные на одномодовых оптических волокнах ВОЛС все чаще используются при разработке современных локальных сетей и систем сбора информации.

Активные оптические компоненты для локальных информационных сетей, использующих многомодовые оптические кабели, были разработаны более 20 лет назад рядом компаний – Hewlett-Packard, Avago Technologies и др. В настоящее время их использование в современных разработках не является, по нашему мнению, оптимальным. Более того, эти изделия можно считать морально устаревшими. В изделиях вышеуказанных фирм в качестве источника оптического излучения используется светодиод с достаточно большим током (50÷100 мА) накачки для получения оптической мощности в волокне 10÷50 мкВт. В свою очередь, чтобы обеспечить оптический бюджет (отношение выходной мощности оптического передатчика к входной пороговой мощности приемника) в линии связи хотя бы около 10 дБ, столь низкие значения выходной оптической мощности потребовали создания приемника с пороговой чувствительностью 0,1÷0,5 мкВт. Несколько исправляет данное положение появление новых VCSEL-лазерных структур, характеризующихся малыми значениями тока накачки (3÷15 мА) для получения оптической мощности в многомодовом волокне 1÷2 мкВт. В связи с этим появилась возможность создания приемников оптического излучения с низкой чувствительностью, но обладающих высокой помехоустойчивостью и низким потреблением.

Таким образом, можно предположить, что будущее локальных информационных сетей и систем сбора информации связано с использованием в них одномодовых ВОЛС. Это требует и создания базы соответствующих активных волоконно-оптических компонентов для них. На сегодняшний день на рынке практически отсутствуют такие полностью законченные компоненты, в состав которых входят оптические элементы, адаптированные для использования в ВОЛС, и интегральные схемы, обеспечивающие функции стабилизации режимов и сервиса. Сотрудниками НПФ "Оптоэлектронные Технологии" (группа компании ООО "АИБИ") была разработана линейка различных по функциональному назначению приемных и передающих устройств для использования в локальных сетях, системах сбора информации и электрофизической аппаратуре, использующих в качестве физической среды оптические волокна различных типов [1, 2].

Свойства активных компонентов

В рамках данной статьи мы представляем два получивших наибольшую популярность и прошедших успешную апробацию комплекта волоконно-оптических модулей для применения как в системах, использующих в качестве физической среды одномодовое волокно, так и в многомодовых приложениях. Необходимость в последних обусловлена все еще широким их распространением, а также появлением современных VCSEL-лазерных структур с малыми значениями токов накачки (3÷15 мА). Оптическая мощность, вводимая в многомодовое волокно при их использовании, как уже отмечалось, составляет несколько единиц мкВт.

Необходимость создания подобных изделий связана с тем, что задача согласования электрического интерфейса системы связи с одиночными компонентами ВОЛС, такими как светодиоды (LED), лазерные диоды (LD), фотодиоды, интегральные приемники (фотодиод+предусилитель), как правило, выполнялась непосредственно разработчиком в процессе создания системы. А это требовало от него специальных знаний, а также наличия технологических и метрологических средств. Опыт решения многочисленных задач обеспечения связи с использованием ВОЛС внутри ограниченных по протяженности объектов показывает, что при достаточно большой вводимой в волокно оптической мощности от современных источников излучения исчезает необходимость в создании сложных приемных устройств с высокой чувствительностью

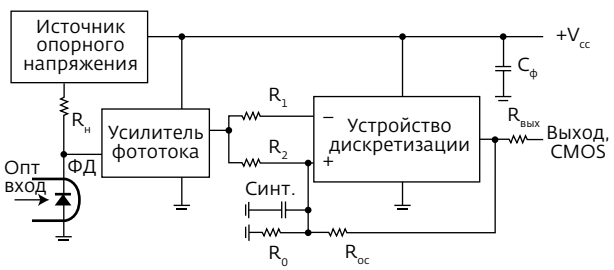

Рис.3. Функциональная схема оптического приемника OMRD-06

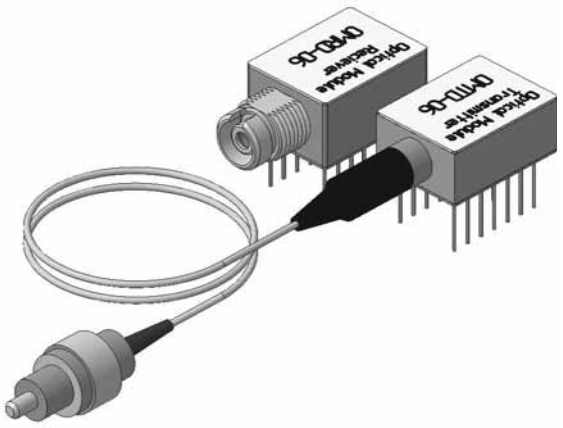

Рис.4. Внешний вид волоконно-оптических модулей для применения в системах, использующих одномодовые (SMF) ВОЛС

и динамическим диапазоном входных сигналов. Это связано с тем, что затухание оптического излучения в современных волокнах в зависимости от типа световедущей жилы и используемой длины волны незначительно и составляет от единиц до десятых долей децибел на километр (дБ/км). Было также установлено, что для большинства существующих объектовых систем вполне достаточен оптический бюджет около 20 дБ.

При определении требований к активным компонентам ВОЛС, разрабатываемым для систем данного класса, необходимо учитывать, что информация в них, как правило, транслируется в виде пакетов, одиночных сигналов и даже потенциальных уровней, то есть имеет неограниченный формат. Нередко в этих системах существует насущная потребность в минимизации собственного потребления, так как часто, особенно в системах сбора информации, датчики физических величин установлены в труднодоступных местах и имеют автономное или периодически возобновляемое питание.

Часто в системах также отсутствуют средства дополнительного кодирования/декодирования транслируемой информации с целью минимизации расходов, габаритов и собственного потребления. Выходные и входные электрические сигналы контроллеров в соответствии со стандартными протоколами обмена (UART, SPI и др.) непосредственно конвертируются в оптические сигналы и наоборот.

Таким образом, функционально законченные активные компоненты ВОЛС для использования их в современных локальных информационных сетях и системах сбора должны обладать набором некоторых специфических свойств, а именно:

- отсутствием ограничения на формат транслируемых сигналов (одиночные, постоянные, пакетные сигналы, инверсные и др.);
- минимальным потреблением по цепям питания при обеспечении необходимой скорости передачи информации;
- согласованием как по электрическим, так и по оптическим стандартным интерфейсам (уровни стандартной логики, длина волны оптического излучения, характеристики оптических кабелей, типы разъемов, динамический диапазон и проч.);
- достаточной стабильностью основных электрооптических параметров активных компонентов в указанных диапазонах эксплуатации;
- минимальными габаритными размерами корпусов компонентов, их коррозийноустойчивостью, высокой степенью электромагнитной защиты, возможностью применения различных типов стандартных оптических разъемов.

Практическая реализация комплектов, состоящих из приемного и передающего модулей для ВОЛС

Комплект для применения в сетях, использующих оптические кабели, выполненные на одномодовом волокне (SMF), в своем составе имеет передающий модуль OMTD-06 и приемный модуль OMRD-06. В передающем устройстве используется высокоэффективный лазерный модуль, состоящий непосредственно из лазерного диода (ЛД) с длиной волны оптического излучения 1,3 мкм и внутреннего фотодиода обратной связи (ФДОС).

Схемотехническое решение при создании передающего волоконно-оптического модуля для целей стабилизации оптических параметров предусматривает использование внутреннего ФДОС. Применение этого элемента позволяет обеспечить высокую стабильность вышеуказанных параметров как в температурном диапазоне, так и во временном интервале (в течение срока службы). Однако вследствие существенного разброса параметров отдельных лазерных модулей (ЛД+ФДОС), поставляемых производителем, требуется их индивидуальная настройка в процессе изготовления. Поскольку используемые решения также должны обеспечивать возможность передачи входных сигналов, имеющих неограниченный формат, в состав схемы входит устройство компенсации изменения

скважности входного сигнала. Рабочая точка лазерного диода выбирается не в середине линейной части ватт-амперной характеристики, а в характерной точке, в которой происходит переход от "суперлюминесцентного" режима в "лазерный". В параметрах лазерных диодов это так называемый пороговый ток. Фототок ФДОС и ток от схемы компенсации скважности суммируются с разными знаками на входе усилителя фототока, который включен в петлю отрицательной обратной связи между фотодиодом и лазерным диодом. Такое решение обеспечивает возможность обработки сигналов любого формата с одновременной стабилизацией положения рабочей точки ЛД на ватт-амперной характеристике. Упрощенная схема компенсации скважности входного сигнала приведена на рис.1. В некоторых модификациях передающего модуля для случаев ответственных решений схема содержит устройства индикации и сервиса. Хотя надежность полупроводниковых лазеров, выпускаемых в настоящее время, характеризуемая временем наработки на отказ, достигла такого уровня, что необходимость в данных устройствах вызывает сомнение.

Функциональная схема волоконно-оптического передающего модуля, соответствующая вышеперечисленным требованиям, приведена на рис.2.

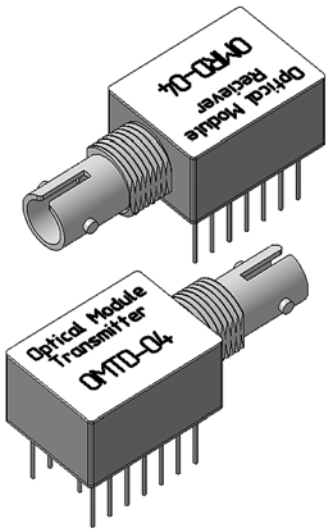

Рис.5. Внешний вид волоконно-оптических модулей для применения в системах, использующих многомодовые (MMF) ВОЛС

При разработке схемы фотоприемного устройства OMRD-06, используемого для обработки оптических сигналов, поступающих из ВОЛС, учитывался тот факт, что приемник является наиболее уязвимым звеном в приемопередающем тракте системы, работающей часто в условиях воздействия внешних электромагнитных помех. Это объясняется в первую очередь необходимостью принимать достаточно слабые сигналы, а также спецификой их последующей обработки при произвольном характере цифровой последовательности. Работа с неограниченным форматом передачи данных определяет требование нахождения приемника в режиме максимальной чувствительности, так как всевозможные системы автоматического регулирования усиления (АРУ) имеют некоторое время реакциии и, следовательно, не позволяют обрабатывать сигналы, имеющие в своем спектре постоянную составляющую. Решить задачу обработки имеющих цифровой характер входных сигналов с относительно высоким быстродействием и чувствительностью, произвольным форматом и получением удовлетворительных выходных параметров достаточно проблематично, да часто и не нужно. В то же время особое внимание при разработке приемных оптических модулей для данного класса задач приходится уделять конструктивным характеристикам, что связано с их эксплуатацией в условиях климатических, механических и электромагнитных воздействий. В настоящее время известны несколько способов обработки сигналов произвольного формата в приемниках для ВОЛС:

- с фиксацией уровня определения логического состояния;
- с определением логического состояния по фронту и спаду входного импульса;
- с применением инверсной кодировки входных сигналов.

Для реализации в приемном модуле OMRD-06 был выбран способ определения логического состояния по фронту и спаду входного цифрового сигнала. Данный тип схемного решения обеспечивает минимально возможное значение уширения выходных сигналов относительно входных, но для этого требуется расширение полосы аналоговой части приемника и отсутствие существенной дисперсии в ВОЛС. Для объектовых систем эти требования выполняются вполне, так как протяженность оптоволоконных линий относительно невелика, и полоса рабочих частот может быть увеличена за счет уменьшения чувствительности. В состав данного типа приемника входит высокочувствительный pin-фотодиод, работающий в спектральной области 1.1÷1.6 мкм, усилитель тока и высокочувствительный триггер Шмидта. Сигнал с усилителя тока дифференцируется, и короткие импульсы управляют работой триггера, который выполнен на базе быстродействующего компаратора, охваченного положительной обратной связью. Функциональная схема оптического приемника OMRD-06 представлена на рис.3.

Конструктивно вышеуказанные модули с целью защиты от внешних электромагнитных воздействий выполнены в металлостеклянных корпусах из специального сплава на стандартном основании 151.15-8 ПАЯ4.880.011-01 и оснащены оптическим разъемом. Приемный модуль OMRD-06 снабжен оптическим разъемом типа FC. Разъемы модулей OMRD-06-pg и OMTD-06 выполнены в виде отрезка волокна, оконцованного вилкой FC ("пигтейл"). Внешний вид модулей данного типа представлен на рис.4.

Комплект оптических модулей для применения в локальных сетях, использующих оптические кабели с многомодовым волокном ø=62,5/125 мкм, состоит из передающего модуля OMTD-04 и приемного модуля OMRD-04. Конструктивно модули размещены в металлостеклянных корпусах на стандартных основаниях и оснащены оптическими разъемами типа ST. Внешний вид модулей данного типа представлен на рис.5.

Модули работают на длине волны 0,85 мкм и по функциональному построению (как схемотехнически, так и конструктивно) ничем не отличаются от комплекта OMTD-06/OMRD-06. Так, к основным электрооптическим параметрам OMTD-06 относятся: оптическая мощность, вводимая в волокно ø=9/125 мкм, – 0 дБм; длительность фронта/спада оптического излучения – 2,5 нс; уровни входных электрических сигналов – ТТЛ, CMOS; длительность входных сигналов – ∞÷10 нс; напряжение питания – 5 В; потребляемый ток – ≤40 мА. Для OMTD-04 это, соответственно, – ø=62,5/125 мкм – +3 дБм; ≤5 нс; ТТЛ, CMOS; ∞÷10 нс; 5 В; ≤15 мА. В состав и того, и другого передающего модуля входит высокоэффективный VCSEL-лазерный диод и фотодиод обратной связи.

Основные электрооптические параметры OMRD-06: пороговая чувствительность составляет –17 дБМ; минимальная длительность обрабатываемых импульсов – 50 нс; динамический диапазон входных сигналов – 20 дБ; уровни выходных электрических сигналов – CMOS; напряжение питания – 5 В; потребляемый ток – ≤10 мА. Для OMRD-04 это, соответственно, –13 дБм; 50 нс; 16 дБ; CMOS; 5 В; ≤10 мА. При этом и в тех, и в других приемных модулях в качестве фотодетектора используется высокочувствительный кремниевый pin-фотодиод, работающий в спектральной области 0,6÷0,9 мкм.

Заключение

Растущая на рынке востребованность активных компонентов для локальных сетей и систем сбора информации, использующих в своем составе ВОЛС, обусловлена появлением новых оптических элементов и тенденциями более широкого применения в них одномодового волокна. Кроме того, условия эксплуатации таких систем усложняются в связи с освоением новых технологических процессов, и расширяется спектр задач, решаемых с их помощью. Для оптимального решения этих задач системы должны использовать устройства связи, имеющие определенные характеристики со стороны как приемной части, так и передающей. Это относится в первую очередь к согласованию их по динамическому диапазону оптических сигналов, рабочей длине волны, типам волокна и оптических разъемов, а также единого конструктивного исполнения. Чтобы получить оптимальные характеристики каналов связи, изделия для них разрабатывались нами в виде комплектов. Комплект состоит из приемного и передающего функционально законченных модулей, которые могут быть использованы и самостоятельно.

Также необходимо отметить, что в представленных разработках используются основополагающие оптические комплектующие, такие как лазерные диоды, фотодиоды, светодиоды и интегральные схемы с самыми высокими значениями оптических и электрических параметров, достигнутыми на сегодняшний день. По этой причине представленные изделия имеют преимущества по соотношению потребляемой мощности к выходной оптической, простоте реализации приемной части, а зачастую и по чувствительности и быстродействию, перед изделиями импортного производства, разработанными ранее и решавшими аналогичные задачи. К плюсам разработанных изделий можно отнести также конструктивное оформление, позволяющее осуществлять стандартное подключение, высокую степень электромагнитной защищенности и стабильность эксплуатационных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Варава Н., Никоноров М., Пронин С.** Активные волоконно-оптические компоненты для ЛВС и специализированных применений. Ч. 1 // Первая миля. 2015. № 3. С.84–91
2. **Варава Н., Пронин С., Никоноров М.** Активные волоконно-оптические компоненты для ЛВС и специализированных применений. Ч. 2 // Первая миля. 2015. № 4. С. 56–61.