

УДК 004.716

Эффективные решения для передачи данных в газотранспортных системах: исследование волоконно-оптических технологий

Елагин В. С., Дудникова М. А.✉

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

Постановка задачи. Организация сети для газотранспортных систем на основе плотного мультиплексирования с разделением длин волн представляет собой важный шаг в контроле и управлении промышленными объектами. В условиях постоянного роста объема передаваемой информации возникает необходимость в разработке новых технологий, особенно в области спектрального мультиплексирования каналов. Это позволит не только увеличить пропускную способность сетей, но и обеспечить более эффективное управление и мониторинг газотранспортных систем. Внедрение таких решений поможет адаптироваться к современным требованиям, а также обеспечит надежность и безопасность работы промышленных объектов. **Целью работы** является рассмотрение некоторых аспектов проектирования волоконно-оптических систем передачи данных для общего понимания технологии в целом и определения технологии для последующего применения. **Элементом новизны** является сравнительный анализ существующих технологий передачи данных, что позволит выявить преимущества и недостатки в построении сети. **Результат:** проведенный анализ особенностей, преимуществ и недостатков волоконно-оптических систем ляжет в основу теоретической части магистерской диссертации. **Теоретическая / Практическая значимость:** результаты исследования могут быть применены для создания сети газотранспортных систем.

Ключевые слова: оптическое волокно, длина волны, мультиплексирование

Введение

В условиях постоянно возрастающих запросов к скоростным показателям и объему пропускной способности сетевых доступов из-за роста популярности мультимедиа и видеоконтента в Интернете оптоволоконные технологии становятся все более востребованными. Традиционное оборудование, построенное на основе технологии SDH (аббр. от англ. Synchronous Digital Hierarchy – синхронная цифровая иерархия), имеет серьезные ограничения возможностей модернизации. В связи с этим становится необходимым переход к более перспективным технологиям более высокого уровня. Использующиеся в сетях SDH системы передач, которые задействуются для организации стандартных цифровых коммуникационных линий и трактов, обеспечивают передачу данных исключительно

Библиографическая ссылка на статью:

Елагин В. С., Дудникова М. А. Эффективные решения для передачи данных в газотранспортных системах: исследование волоконно-оптических технологий // Информационные технологии и телекоммуникации. 2023. Т. 11. № 4. С. 15–23. DOI: 10.31854/2307-1303-2023-11-4-15-23

Reference for citation:

Elagin V., Dudnikova M. Efficient Solutions for Data Transmission in Gas Transportation Systems: Research on Fiber Optic Technologies. *Telecom IT*. 2023. Vol. 11. Iss. 4. PP. 15–23 (in Russian). DOI: 10.31854/2307-1303-2023-11-4-15-23

по оптическим волокнам, создавая тем самым коммуникационные артерии высокой скорости.

Введение технологий для обеспечения широкополосного доступа, таких как xDSL (*аббр. от англ. Digital Subscriber Line* – цифровая абонентская линия; символ *x* здесь означает аббревиатуру названия конкретной технологии), порождает проблемы электромагнитной совместимости, что, в свою очередь, стимулирует отказ от использования традиционного многожильного медного кабеля в пользу оптоволоконного. Актуальной задачей являются поиск и определение принципов разработки фиброоптических систем передачи, способных значительно повышать текущую эффективность сетей и обеспечивать их дальнейшее прогрессивное развитие.

В этой статье рассматриваются ключевые аспекты внедрения данной методики, включая технические преимущества, возможные вызовы и пути их преодоления, а также перспективы дальнейшего развития технологий в контексте газотранспортных систем. Исследование направлено на анализ существующих решений и предложение подходов, способствующих улучшению качества и надежности передачи данных в указанной области.

Преимущества оптического волокна

Использование медных кабелей влечет за собой ограничения по дальности передачи сигнала из-за неминуемых частотных искажений. В противоположность этому волоконно-оптические линии связи демонстрируют значительно превосходящие частотные параметры. Например, затухание сигнала в них сохраняется неизменным и не подвержено влиянию частоты, что актуально в определенном частотном промежутке.

В дополнение к этому оптическому волокну присущ целый ряд преимуществ: оно устойчиво к электромагнитным и радиочастотным помехам; стойкость к воздействию молний и электростатическим воздействиям обеспечивает безопасность прокладки линий связи; информация передается конфиденциально, без частотных искажений и прочих негативных факторов. Передача данных по оптическим волокнам требует меньше энергии по сравнению с медными кабелями, что делает их более экологически чистым вариантом. Оптические волокна поддерживают различные технологии передачи данных, что позволяет передавать множество сигналов по одному волокну.

Эти преимущества делают оптическое волокно привлекательным выбором для обеспечения связи в газотранспортных системах, способствуя повышению их эффективности, надежности и безопасности.

Характеристики оптического волокна

В устройстве передачи источником, выполняющим преобразование, служит лазер или светодиод, причем его необходимо эффективно соединить с волоконно-оптическим трактом, обладающим мелким диаметром внутренней части

(сердечника). От источника требуется обеспечение таких характеристик, как высокая интенсивность светового потока, стабильная работа, компактность в плане габаритов и массы, а также экономичность по стоимостным показателям. Средство контроля обеспечивает преобразование поступившей информации в сигнальный набор подходящей конфигурации, необходимой для регулировки деятельности источника. В сравнении с радиоволновым методом возможности лазерных излучателей для транспортировки данных существенно – в десятки тысяч раз – выше.

Появление потерь в коннекторах проистекает из множества причин: 1) внутренних, связанных с колебаниями параметров волоконно-оптического световода, 2) внешних, связанных с соединительным устройством, и 3) системных, вызванных общими свойствами системы передачи. Задачей разъемов является обеспечение надежного подсоединения и отсоединения с сохранением уровня потерь, который должен оставаться неизменным при многократном использовании. В условиях усиливающейся конкуренции на рынке необходимо гарантировать соответствующее качество обслуживания (QoS, аббр. от англ. Quality of Service). Значительное влияние на работоспособность волоконно-оптических систем передачи оказывают характеристики их оптических компонентов, тогда как качество передаваемого сигнала в этих системах зависит от соотношения уровней средней энергии самого сигнала и средней энергии фоновых шумов, имеющих различное происхождение.

Важна предварительная разведка данных, охватывающая цели, прогнозы развития, условия эксплуатации и размещения системы перед ее созданием. Процесс выбора опции происходит с учетом соотношения затрат и эффективности.

Для разработки волоконно-оптического канала установлены следующие конкретные требования, которые необходимо соблюдать при проектировании [1]:

- определение основных параметров проектируемого канала службы (сервисы, услуги), которые будут предоставляться;
- скорость передачи данных;
- дистанция связи, маршруты кабелей, требуемые рабочие характеристики волоконно-оптических систем передачи и др.;
- расчет ожидаемых рабочих параметров соединения (потерь мощности линии связи).

Волоконно-оптические сети и системы передачи данных

Выбор технологии для волоконно-оптической передачи основан на ряде факторов: дальности передачи, требованиях к скорости, потребностях клиента и пропускной способности. При проектировании таких систем крайне важно принимать в расчет ожидаемое увеличение объемов передачи данных в долгосрочной перспективе (заложить резервы пропускной способности), поскольку дополнительное введение оптических волокон или модернизация уже установленных кабелей влекут за собой значительные затраты.

Модернизация волоконно-оптических сетей для усиления объемов передаваемой информации – задача, легко решаемая путем обновления приемопередающих устройств. Качество используемого оборудования и оптического волокна оказывает значительное влияние на надежность всей системы. В частности, рассматривая ленточные оптические кабели, особо выделяют плотность их конструкции, которая, помимо обеспечения работы сетевых интерфейсов на скорости 40 и 100 Гбит, обуславливает втрое меньший разброс временных задержек по сравнению с кабелями, имеющими в своей конструкции свободно уложенные волокна.

Резервирование канала передачи информации служит увеличению отказоустойчивости волоконно-оптических систем, делая их более защищенными в случаях, когда происходит разрыв волокна либо отказ активных элементов системы. Следовательно, приобретает первостепенное значение выбор эффективного алгоритма работы сети, который включает анализ возможностей дублирования маршрутов и поиск альтернативных путей передачи [1].

Технология FDDI

Выбор конкретной рабочей длины волны, применяемой в системе, определяется функциональными потребностями. Так, для стандарта FDDI (*аббр. от англ. Fiber Distributed Data Interface* – волоконно-оптический распределенный интерфейс передачи данных), который является распределенным интерфейсом передачи данных в оптоволоконных сетях, предусмотрены работы на волне 1300 нм. Рекомендуется применение этой длины волны во всем пространстве сети для предотвращения возможных трудностей совместного функционирования приемного и передающего оборудования, а также для исключения потребности в дублирующих запчастях и специализированном оборудовании для тестирования и технического обслуживания [1].

Создание сети FDDI происходит путем соединения двух кольцевых оптоволоконных путей – основного и альтернативного, – обеспечивающих передачу данных между узлами фиброоптического типа. Для обеспечения надежности подключения узлов оно осуществляется ко всем кольцам сразу. В случае сбоев, таких как разрыв кабеля или отказ узла, происходит интеграция первичного и вторичного колец в единое, что возможно благодаря концентраторам и сетевым адаптерам, способным обрабатывать протокол FDDI.

Функционирование сети, включая ее вместительность, надежное использование и стоимостные характеристики, тесно коррелирует с топологией, представляющей собой физическую конфигурацию маршрутизации оптоволоконного кабеля.

В процессе выбора оборудования для передачи и приема необходимо убедиться, что оно соответствует заложенным в основу проекта показателям для волоконно-оптических систем. В ходе разработки проекта, а также в период установки оборудования осуществляется тщательный контроль и проверка надежности с помощью мониторинга и тестов. Подразделение измерений на 1) системные (осуществляемые с использованием оптического рефлектометра для оценки

сохранности волокна, ошибок при передаче данных и чувствительности) и 2) эксплуатационные позволяет оценить работоспособность сети через такие характеристики, как потери, дисперсия и спектральная ширина лазерного излучения. В случаях, когда волоконно-оптические кабели имеют значительные длины и возникает затухание сигнала, приводящее к снижению его уровня ниже порога чувствительности на приемном конце, используются такие устройства, как повторители или усилители. Они могут быть размещены в пределах любого отрезка кабеля между источником и приемником и устанавливаются там, где мощность сигнала уменьшается до критического минимума.

Кроме того, выбор минимальной рабочей длины волны, обеспечивающей подходящее для задачи расстояние и скорость передачи, всегда является более предпочтительным в силу меньшей стоимости. Преобразования, полностью захватывающие элементную базу систем волоконно-оптической передачи, происходят примерно каждые пять лет.

Организация системы связи

При формировании каналов волоконно-оптической системы передачи производится выбор оборудования (включая оптический кабель, источники и приемные устройства оптического сигнала), обусловленный техническими параметрами проекта (число каналов для разнообразного трафика и критерии качества передачи данных), а также соответствующей или разрабатываемой на данный момент элементной базы в системах передачи данных по оптоволокну.

Организация системы связи осуществляется через ряд шагов: начиная с анализа топологического уклада будущей волоконно-оптической сети и заканчивая определением подходящих маршрутов для трасс волоконно-оптических кабелей. Таким образом, создается общая картина схематического распределения связи.

К процессам, предшествующим созданию волоконно-оптических систем передачи данных, относится определение ряда ключевых параметров линейных трактов. Эти параметры включают в себя величину пропускной способности полосы и необходимое количество ретрансляторов, что обеспечивает эффективное функционирование системы.

Организация системы связи для газотранспортных систем с использованием технологий спектрального разделения каналов может существенно повысить эффективность и надежность передачи данных. В таких системах необходимо учитывать специфические требования к связи, такие как высокая надежность, устойчивость к помехам, передача больших объемов данных и возможность интеграции с существующими системами управления.

В рамках технологических стремлений и с учетом ценообразования уточняется спектр предпочтительных технических параметров для элементов волоконно-оптических систем. Особое внимание уделяется подбору оптического кабеля, что связано со спецификой его прокладки, монтажа и будущей эксплуатации, а также передающих и приемных оптических узлов, иных составляющих

системы. Критически важен выбор оптимального варианта волоконно-оптической системы, базирующийся на тщательном технико-экономическом измерении разнообразных альтернатив и их последующем сравнении [2].

WDM- и DWDM-системы и их преимущества для транспортных технологий

Сейчас технология SDH испытывает замещение новшествами в сфере электрической передачи данных, к которым относятся интернет-провайдер Carrier Ethernet и MPLS-Transport Profile (*аббр. от англ. Multi-Protocol Label Switching – Transport Profile* – технология пакетного транспорта), являющиеся многопротокольной коммутацией с использованием меток. Таким образом, эти технологии набирают популярность в результате их применения для коммутации. Параллельно, на уровне фотонных систем, приходят технологии оптической транспортной иерархии. Они способствуют как кросс-коммутации, так и прозрачной передаче совокупного потока классического TDM (*аббр. от англ. Time Division Multiplexing* – мультиплексирование с временным разделением) и пакетного трафика, сочетая их разнообразные форматы. Эти передовые подходы обеспечивают дальнейшую трансляцию сигнала по системам с разделением каналов по длине волны оптического излучения – WDM (*аббр. от англ. Wavelength-Division Multiplexing* – мультиплексирование с разделением по длине волны), характеризующимся спектральным уплотнением.

Важным преимуществом WDM является возможность расширять пропускную способность систем передачи на основе волоконно-оптических технологий без дополнительной прокладки новых кабелей, путем простого увеличения количества каналов связи, что особенно ценно при возрастании потребностей в передаче данных.

Принцип работы WDM состоит в следующем: световые сигналы с разными длинами волн, генерируемые несколькими оптическими передатчиками, объединяются мультиплексором и вводятся в оптическое волокно линии связи. При больших расстояниях передачи на линии связи устанавливается один или несколько оптических усилителей. На приемном конце линии связи демультиплексор принимает составной сигнал, выделяет из него исходные компоненты с разными длинами волн и направляет их на соответствующие фотоприемники.

Такая система передачи «точка – точка» обеспечивает увеличение пропускной способности линии связи между двумя узлами. Однако возможности и преимущества технологии WDM в еще большей степени раскрываются в сложных насыщенных сетях связи, содержащих много различных узлов. На промежуточных узлах некоторые каналы могут быть добавлены или выделены из составного сигнала посредством мультиплексоров ввода/вывода, а остальные каналы проходят через узел без преобразования в электрический сигнал. В некоторых узлах устройства оптической кросс-коммутации позволяют переводить каналы по новым направлениям. Прежде для достижения необходимой дальности передачи данных использовались такие технологические решения, как усовершенствования оптических и квантовых технологий, направленные на два аспекта:

1) разработку новых разновидностей оптического волокна, характеризующихся затуханием, стремящимся к теоретическому минимуму; 2) улучшение оптических усилителей, которые способствуют значительному увеличению мощности на начальном этапе линии и позволяют компенсировать затухание в оптоволоконных сетях [3].

В настоящее время постоянно происходят изменения в технологиях транспортных сетей из-за резкого возрастания уровня передаваемой информации. Так как скорость передачи информации и территория ее распространения увеличиваются, появилась необходимость создавать новые технологии в области спектрального мультиплексирования каналов, получивших название WDM- и DWDM-технологий (*аббр. от англ. Dense Wavelength Division Multiplexing* – плотное мультиплексирование с разделением длин волн). DWDM-оборудование используется как средство повышения пропускной способности волокна и технология для мультисервисных и мобильных сетей. Оно обеспечивает повышение пропускной способности сети и увеличение числа новых услуг связи.

Выбор конкретной технологии доступа обуславливается многочисленными параметрами, к примерам которых относятся: вид оказываемой услуги, требуемая пропускная способность и уже существующая инфраструктура сетевых подключений. Одним из главных преимуществ DWDM-оборудования является увеличение пропускной емкости оптического волокна с помощью метода наращивания, т. е. от задействования минимального количества длин волн до максимального непрерывного действия связи.

Создание этой технологической сети обусловлено необходимостью иметь единый информационно-телекоммуникационный комплекс, который объединяет объекты между собой для того, чтобы решать производственные задачи, передает диспетчерские команды и технологическую информацию. Проектируемая магистральная сеть основывается на принципах управления, взаимодействия и разработки современных технологий и единых способов нумерации, адресации, синхронизации и сигнализации, а также обеспечения надежного функционирования сетей связи. Преимуществом системы стала возможность использования уже проложенных оптических кабелей.

Для обеспечения работы технологического управления газопроводом на базе DWDM проектируется цифровая транспортная магистраль для передачи информации между компрессорными станциями вдоль газопровода. Исходя из вышперечисленного, можно предположить, что данная работа будет устраивать заказчика, так как данные не противоречат требованиям Международного союза электросвязи.

Выводы

На протяжении всего пути развития волоконно-оптические системы проявили существенное преимущество над кабельными электропроводными решениями, благодаря их широкополосности и дальности передачи сигнала. Обусловлено это в том числе тем, что многочисленные сложности технического харак-

тера, возникающие при разработке современных сетевых интерфейсов с широкими перспективами, оказываются легче преодолимыми на основе оптики, нежели при использовании проводных аналогов. В наши дни волоконно-оптические каналы передачи данных способствуют строительству мощных инфокоммуникационных структур, отличающихся весьма высокими показателями пропускной способности и возможностью передачи на максимальные расстояния.

Литература

1. Стерлинг Д. Дж. Техническое руководство. Волоконная оптика. М.: Лори, 1998. 277 с.
2. Меккель А. М. Нужна ли полностью оптическая транспортная сеть в эпоху NGN // Электросвязь. 2023. № 10. С. 19–22. EDN: JUVZMH
3. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика: теория и практика / Пер. с англ. М.: Кудиц-Образ, 2008. 320 с.

Статья поступила 27 ноября 2023 г.
Одобрена после рецензирования 10 декабря 2023 г.
Принята к публикации 23 декабря 2023 г.

Информация об авторах

Елагин Василий Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, и. о. декана факультета инфокоммуникационных сетей и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: v.elagin@sut.ru

Дудникова Марина Алексеевна – студент 1-го курса магистратуры (группа ИКМ-31з) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: marina.dudnikova@rambler.ru

Efficient Solutions for Data Transmission in Gas Transportation Systems: Research on Fiber Optic Technologies

V. Elagin, M. Dudnikova✉

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Statement of the problem. Organization of a network for gas transportation systems based on dense wavelength division multiplexing is an important step in monitoring and control of industrial facilities. In the conditions of constant growth of the volume of transmitted information, there is a need to develop new technologies, especially in the field of spectral channel multiplexing. This will not only increase the network capacity, but also ensure more efficient management and monitoring of gas transportation systems. Implementation of such solutions will help to adapt to modern requirements and ensure reliability and safety of industrial facilities. **The aim of this paper** is to consider some aspects of designing fiber-optic data transmission systems for a general understanding of the technology as a whole and to determine the technology for subsequent application. **The novelty element** is a comparative analysis of existing data transmission technologies, which will reveal the advantages and disadvantages of building a network. **Result:** the analysis of the features, advantages and disadvantages of fiber-optic systems will form the basis of the theoretical part of the master's thesis. **Theoretical / Practical significance.** The results of the study can be applied to the creation of a network of gas transportation systems.

Key words: optical fiber, wavelength, multiplexing

Information about Authors

Elagin Vasily – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Acting Dean of the Faculty of Infocommunication Networks and Systems (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications).

E-mail: v.elagin@sut.ru

Dudnikova Marina Alekseevna – 1st Year Master's Student (ICM-31z group) (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications).

E-mail: marina.dudnikova@rambler.ru