

УДК 621.391.037.372

**А.М. Белицкий**, директор, Специальный оперативно-технический центр (Москва, Россия)  
(e-mail: matuzalem\_salo@mail.ru)

**Р.Р. Иваненко**, ст. инженер, специальный оперативно-технический центр (Москва, Россия)  
(e-mail: matuzalem\_salo@mail.ru)

**А.В. Беседин**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: besedin.swsu@gmail.com)

**А.Я. Клочков**, канд. техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО "Рязанский государственный радиотехнический университет" (Рязань, Россия) (e-mail: aklochkov@mail.ru)

### **СЕТЬ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ETHERNET FTTH, PON**

*В настоящее время одним из направлений развития инфокоммуникационных сетей является предоставление в кратчайшее время наибольшего количества телекоммуникационных услуг пользователям сети. Сейчас широко распространено подключение абонентов к каналам связи класса xDSL, производимое на телефонных сетях общего пользования (ТФОП). Провайдеры классической телефонии активно используют эти сети, что обусловлено малой стоимостью подключения абонента. Очевидным недостатком такого типа подключения является ограниченная скорость передачи данных. Некоторые из интернет провайдеров активно развивают сети класса ЕТТН (Ethernet To The Home). Преимуществом сетей ЕТТН является адресность предоставления услуг связи абонентам. К числу недостатков следует отнести работу сети на уровне Ethernet со всеми присущими этому протоколу особенностями. Практика построения оптических сетей существует в течение многих лет, однако основной подход к построению оптических сетей основан на применении активного оборудования от узла доступа к пользователю. Архитектура FTTH (Fiber To The Home) на базе PON (Passive Optical Network), как правило, совместима с протоколом Ethernet. В статье показаны преимущества развертывания сетей FTTH на базе PON, в частности – экономия оптоволоконных линий на участке от оптических разветвителей до центральной АТС или точки доступа за счет использования соответствующих портов. В работе раскрывается описание архитектуры сетей доступа при использовании технологий Ethernet FTTH и PON, а также рассматриваются дальнейшие перспективы развития вышеуказанных сетей.*

**Ключевые слова:** архитектура сети, топология, абоненты, технология, оборудование, оптоволоконные линии, Ethernet, FTTH, PON.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2017-21-1-8-15

**Ссылка для цитирования:** Сеть абонентского доступа с использованием технологий Ethernet FTTH, PON / А.М. Белицкий, Р.Р. Иваненко, А.В. Беседин, А.Я. Клочков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. Т. 21, № 1(70). С. 8–15.

\*\*\*

Во всем мире развитие телекоммуникационных систем осуществляется эволюционно, вне зависимости от тех революционных преобразований, которые происходят в научно-технической области.

В конце прошлого столетия было принято решение о необходимости скорейшего перехода на цифровое оборудование, но еще сегодня, например, на телефонных се

тях связи, особенно ведомственных, можно встретить декадно-шаговые, координатные и квазиэлектронные автоматические телефонные станции (АТС). Необходимо отметить, что проводные локальные сети позволяют осуществлять сверхбыстрый обмен данными между вычислительными машинами. Немаловажным является и то, что достаточно хорошо освоены технологии

организации политики безопасности в пространстве локальной компьютерной сети, формирующие эффективную защиту от несанкционированного доступа извне [1].

Тем временем повсеместно начинается активное внедрение так называемых сетей связи следующего поколения (NGN, Next Generation Network), основанных на пакетной передаче всех видов сообщений, распределенной коммутации и использовании единого транспортного ресурса.

Задачи, связанные с развитием сетей связи Вооруженных Сил Российской Федерации, отличаются от соответствующих задач, решаемых другими министерствами и ведомствами. Так, если для телефонной связи во всем мире использовались автоматические коммутируемые сети связи, то сети связи ВС РФ строились на принципах прямых связей с долговременной коммутацией на опорных узлах связи или с применением ручных телефонных станций. В связи с этим назрел вопрос модернизации сетей связи военного назначения, о чем и пойдет речь в данной статье.

В настоящее время одно из основных направлений развития инфокоммуникационных сетей заключается в предоставлении в кратчайшее время наибольшего количества телекоммуникационных услуг пользователям сети. Сейчас широко распространены подключения абонентов к каналам связи класса xDSL (Digital Subscriber Line, цифровая абонентская линия), производимые на телефонной сети общего пользования (ТФОП). Провайдеры классической телефонии активно используют эти сети, что обусловлено в первую очередь малой стоимостью подключения абонента. Очевидным недостатком такого типа подключений явля-

ется ограниченная скорость передачи данных.

Некоторые из интернет-провайдеров активно развивают сети класса ЕТТН (Ethernet To The Home, локальная сеть в дом). На отдельных интервалах провайдеры используют первичные линии связи и сеть кабельной канализации провайдера ТФОП. Преимуществом сетей ЕТТН является адресность предоставления услуг связи абонентам. К числу недостатков следует отнести работу сети на уровне Ethernet со всеми присущими этому протоколу особенностями [2]. Практика построения оптических сетей существует в течение многих лет, однако основной подход к построению оптических сетей основан на применении активного оборудования от узла доступа к пользователю. Архитектура FTTH (Fiber To The Home, оптическое волокно в дом) на базе PON (Passive Optical Network, пассивные оптические сети), как правило, совместима с протоколом Ethernet [3].

В данный момент существует три стандарта сети PON. Параметры полосы пропускания характеризуют совокупную скорость передачи данных в потоке, эта скорость делится между 16, 32, 64 или 128 абонентами.

Стандарт ВРОН (Broadband PON, широкополосная пассивная сеть оптической связи) – традиционная технология, которая в настоящее время еще находит некоторое применение, но стремительно на смену ему приходят другие стандарты, такие, как ЕРОН (Ethernet PON) и ГРОН (Gigabit PON). Если стандарт ЕРОН был разработан с целью снижения стоимости путем использования технологии Gigabit Ethernet, то архитектура ГРОН разрабатывалась для обеспечения более высокой скорости передачи данных, уменьшения

затрат обеспечения, возможности передачи трафика ATM и TDM.

Главным преимуществом развертывания сетей FTTH на базе PON является экономия оптоволоконных линий на участке от оптических разветвителей до центральной АТС или точки доступа. Существенную экономию при этом можно получить за счет использования соответствующих портов на центральной АТС или в точке доступа. Во-первых, в традиционной технологии для каждого абонента используется выделенный оптический интерфейс, что приводит к значительному увеличению стоимости данной архитектуры по сравнению с архитектурой, в которой порты используются совместно большим числом абонентов. Во-вторых, если предположить наличие сервиса FTTH, то для точки присутствия сети на базе PON потребуется объем оборудования на 50% меньший, чем для сети Ethernet FTTH. В-третьих, обслуживание большого числа оптоволоконных линий представляется сложной задачей, если отсутствуют новейшие оптические распределительные стойки, которые позволяют строить точки присутствия с несколькими тысячами оптоволоконных линий, идущих от линейных сооружений. В настоящее время провайдеры развертывают гибридные архитектуры, использующие топологию точка-точка для всех интерактивных услуг, включая IP-телевидение. Данную структуру можно оптимизировать для большего числа абонентов, чем при использовании сети PON для оказания интерактивных услуг. Однако PON-архитектура обладает рядом недостатков. Так, например, при построении пассивной оптической сети полоса пропускания кратно уменьшается в системе оптоволоконных линий сети PON. Однако провайдеры используют та-

кую архитектуру для подключения большего числа абонентов, что позволяет получить прибыль за счет уменьшения затрат на каждого пользователя.

Технология GPON обеспечивает общую пропускную способность нисходящего потока, равную 2,5 Гбит/с, но она не соответствует количеству услуг и требованиям абонентов в ближайшей перспективе, так как потребности в пропускной способности резко увеличиваются. Кроме того, определенную часть полосы пропускания необходимо резервировать для потоковых услуг, что приводит к сокращению общей полосы пропускания [4].

Технология GPON имеет особенность шифрования только нисходящего потока, а использование современного стандарта шифрования позволяет повысить безопасность личной информации пользователей. В результате использования общей передающей среды в пассивных оптических сетях PON каждое конечное устройство вынуждено работать со скоростью, равной совокупной скорости передачи данных. Для такой архитектуры необходима большая мощность лазера, поскольку энергетический потенциал линии связи уменьшается на 3,4 дБ при каждом разветвлении в соотношении 1:2. Следовательно, при разветвлении в соотношении 1:64 энергетический потенциал линии связи уменьшается на 20,4 дБ. Развязывание абонентской линии связи (LLU, Local Loop Unbundling) – метод, в настоящее время применяемый в сетях операторов телефонии для обеспечения доступа альтернативным операторам к абонентским медным линиям связи. Такой подход позволил значительно увеличить предложение на рынке услуг DSL и снизить цены на услуги широкополосного доступа.

Сети PON пока не удовлетворяют требованиям LLU, так как для подключения группы абонентов имеется лишь одна оптоволоконная линия, которая может быть разделена только на логическом, но не на физическом уровне. Эта особенность пассивной оптической сети на базе PON предполагает массовую продажу услуг основного оператора без предоставления услуг абонентского доступа посредством развязывания абонентских линий (LLU) [5].

Как правило, при организации сети FTTH производится одновременное подключение оптоволоконных линий связи для всех потенциальных абонентов в данном районе. При пассивной оптической сети эти оптоволоконные линии подключаются к разветвителям и стягиваются фидерным оптическим кабелем к центральной АТС или точке доступа. Оптические разветвители не могут передавать информацию о неисправностях в центр управления сетью. Поэтому с помощью оптического временного рефлектометра сложно обнаружить неисправность оптоволоконной линии между разветвителем и точкой терминирования оптической сети абонента (ONT, Optical Network Terminal). Это значительно усложняет поиск и устранение неисправностей в сетях PON и повышает затраты на их эксплуатацию.

Оборудование PON необходимо периодически модернизировать за счет использования новых технологий, обеспечивающих увеличение полосы пропускания.

Архитектура Ethernet FTTH имеет большее количество преимуществ по сравнению с архитектурой на базе PON. В первую очередь, это практически неограниченная дискретная полоса пропускания. Оптоволоконная линия может обес-

печить неограниченную полосу пропускания, что позволяет достичь максимальной гибкости при развертывании сервиса в дальнейшем, когда потребность в пропускной способности возрастет.

Архитектура Ethernet FTTH позволяет провайдеру гарантировать каждому абоненту необходимую пропускную способность. Любой пользователь может получить симметричную полосу пропускания необходимой ширины.

В стандартных конфигурациях сетей доступа Ethernet FTTH используются недорогие одноволоконные линии. Для работы на больших расстояниях имеются оптические модули, позволяющие увеличить мощность оптического сигнала, а также оптоволоконные пары с оптическими модулями, которые можно подключить к порту любого Ethernet-оборудования. Имеющиеся архитектуры Ethernet FTTH могут использовать технологию Gigabit Ethernet, которая может стать в скором времени невостребованной. Однако одномодовая оптоволоконная линия является средой, способной поддерживать любую новую технологию передачи. Кроме того, в отдельных случаях для подключения новых абонентов используются оптоволоконные технологии, например SONET/SDH (Synchronous Digital Hierarchy) или FC (Fibre Channel) – семейства протоколов для высокоскоростной передачи данных. Такие технологии могут быть легко развернуты по тем же оптоволоконным линиям, что и Ethernet FTTH, а в ряде случаев и с использованием той же Ethernet-платформы. Так как одномодовые оптоволоконные линии не зависят от используемой технологии и скорости передачи данных, несложно увеличить скорость для одного абонента, не оказывая влияния на работу других. На сегодняшний день выделенная

оптоволоконная линия является наиболее защищенной средой (на физическом уровне), особенно по сравнению с общими передающими средами. Кроме того, коммутаторы Ethernet, используемые в средах сервис-провайдеров, должны обеспечить разделение физического уровня портов и логического уровня абонентов, при этом они имеют большое количество надежных функций защиты.

Архитектура Ethernet FTTH подразумевает применение на территории абонента простых устройств подключения к сети, обладающих достаточной функциональностью для обеспечения связи с сетью доступа и доставки всего спектра услуг каждому абоненту. Для провайдеров, рассматривающих возможность развертывания сетей FTTH, большое значение имеют затраты на эксплуатацию наряду с капитальными затратами на приобретение и развертывание оптоволоконных линий и оборудования. В настоящее время отсутствует достаточное количество данных для непосредственного сравнения архитектур по этому параметру, однако, очевидно, что затраты на эксплуатацию сетей Ethernet FTTH в топологии точка-точка меньше затрат на эксплуатацию сетей с архитектурой PON FTTH [6].

Описанные выше технологии в настоящее время находят применение в рамках реализации программы комплексного оснащения узлов связи Министерства обороны Российской Федерации цифровым телекоммуникационным оборудованием. Архитектура стационарной части объединенной автоматизированной цифровой системы связи Вооруженных Сил Российской Федерации предоставляет набор современных услуг на основе базовой IP-сети. Сеть строится по иерархическому принципу в соответствии с

действующей системой управления ВС РФ. От центрального узла связи МО организованы связи с узлами видов ВС РФ и родов войск, округов и флотов. От них, в свою очередь, к узлам связи подчиненных соединений и частей. Межузловые связи, как правило, организованы неструктурированными потоками E1, в основном арендованными у ПАО «Ростелеком» и АО «Транстелеком», а также организованными силами и средствами МО (в частности, цифровыми РРС «Микран» и станциями спутниковой связи через ретрансляторы гражданского назначения). На крупных узлах связи и в крупных городах арендуются Fast Ethernet (100 Мбит/с) каналы у крупных провайдеров Интернет, как правило, у ПАО «Ростелеком».

Организуемые в настоящее время оптоволоконные сети доступа основываются на различных архитектурах и технологиях. Тщательно продуманные стандарты для этих технологий и доступность необходимого оборудования обуславливают развертывание сетей провайдеров без значительного риска. Успешность деятельности интернет-провайдеров является ускорителем для быстрого развития этой области. Можно предположить, что конкурентное давление со стороны сетей такого типа будет стимулировать крупных операторов связи инвестировать средства в оптоволоконные сети доступа.

Среди внедряемых архитектур можно выделить SDN (Software Defined Networking) сети, среди преимуществ которых можно выделить: глубокую интеграцию, уменьшение стоимости развертывания сетей, использование упрощенных алгоритмов, возможность разработки и развития сетевых программных модулей, открытость протокола OpenFlow [7].

Большинство крупных операторов внедряют технологии PON, что, как правило, обусловлено уже существующей инфраструктурой, консолидацией, потенциальным сокращением количества точек присутствия и прогнозируемым большим процентом подписки абонентов на многие сервисы. В Европе в основном используются конфигурации на базе Ethernet FTTH по топологии точка-точка, а также небольшое количество более ранних конфигураций Ethernet-сервисов с топологией «кольцо». В настоящее время архитектуры на базе PON получили незначительное распространение в Европе, поскольку большая часть европейских проектов FTTH осуществляется коммунальными службами и жилищными кооперативами. Основными преимуществами большинства конфигураций Ethernet FTTH являются гибкость бизнес-модели и способность поддерживать будущие сервисы.

Повысить эффективность рассматриваемых сетей возможно с применением адаптивных алгоритмов корреляционной обработки сигналов на однородных вычислительных средах с введением канальных цепей обратной связи [8]. Кроме того, в целях минимизации длительности обслуживания потока данных или информационных потерь представляется целесообразным производить анализ обработки конкретной реализуемой сетью сообщений с различными приоритетом и потоками обмена данными с соответствующим центром сбора и обработки данных [9].

Необходимо отметить, что применение архитектуры Ethernet FTTH, в том числе и с использованием PON, будет эффективным не только в инфокоммуникационных сетях военного назначения, но

и в гражданских сетях, например, городских [10].

Все чаще и чаще возникают тенденции к персонализации получения данных для пользователей широкополосных сетей связи и повышению надежности таких сетей, в том числе и сетей связи военного назначения. В связи с этим расширяется сфера использования сетей Ethernet FTTH, PON. Данные архитектуры, несмотря на указанные в статье недостатки, представляют большой интерес для сервис-провайдеров и имеют перспективы развития, так как позволяют персонализировать услуги и предоставляют широкие возможности по расширению полосы пропускания и доставке всевозможной информации, включая передачу голоса и трансляцию видеоконтента высокого качества, а также организацию интерактивных управляемых услуг, что особенно актуально в настоящее время.

#### Список литературы

1. Калущий И.В., Липунов А.А., Савенкова Е.С. Безопасные технологии беспроводных компьютерных сетей // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2012. – №2, Ч.1. – С.87-91.
2. ГОСТ РВ 5819. Профиль объединенной автоматизированной цифровой системы связи ВС РФ. – М.: ОАО «Эталон», 2008.
3. Performance Characterization of PON Technologies [Электронный ресурс] / Alex Vukovic, Khaled Maamoun, Heng Hua, Michel Savoie. – URL: [http://www.hit.bme.hu/~jakab/edu/litr/Access/PON/PN\\_07\\_PON\\_Technologies.pdf](http://www.hit.bme.hu/~jakab/edu/litr/Access/PON/PN_07_PON_Technologies.pdf) (дата обращения 10.12.2016).

4. Система обмена информацией в электронном виде ВС РФ. Часть 1. Общие положения по построению системы обмена информацией в электронном виде ВС РФ. – СПб.: ВАС, 2011.

5. Новые сетевые технологии в системах управления военного назначения / под ред. С.М. Одоевского. – СПб.: ВАС, 2010. – 432 с.

6. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.

7. Иваненко Р.Р., Иваненко Ю.Р. Программно-конфигурируемые сети с использованием протокола Open Flow // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2015. – №4 (17). – С.56-62.

8. Адаптивный алгоритм корреляционной обработки сигналов в многоканаль-

ных вычислительных средах / А.А. Бурмака, И.А. Ключиков, Ю.В. Цыплаков, Ф.А. Старков // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 1 (40), Ч. 1. – С.99-102.

9. Терехова О.А. Обслуживание информационных потоков в известительной и управляющей сети территориально распределенной информационно-измерительной системы // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 2 (41), Ч. 1. – С.60-64.

10. Маклаков Е. С., Гуламов А. А. Применение технологии FTTH в современных городских сетях доступа // Инфокоммуникации и информационная безопасность: состояние, проблемы и пути решения: материалы I Всероссийской научно-практической конференции. – Курск, 2014. – С.206-210.

*Поступила в редакцию 26.12.16*

UDC 621.391.037.372

**A.M. Belitsky**, Director, Special Operating-Technical Center (Moscow, Russia)  
(e-mail: matuzalem\_salo@mail.ru)

**R.R. Ivanenko**, Senior Engineer, Special Operating-Technical Center (Moscow, Russia)  
(e-mail: matuzalem\_salo@mail.ru)

**A.V. Besedin**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: besedin.swsu@gmail.com)

**A.Y. Klochkov**, Candidate of Engineering Sciences, Professor, Ryazan State Radio Engineering University (Ryazan, Russia) (e-mail: aklochkov@mail.ru)

## **CUSTOMER ACCESS NETWORKING ON THE BASIS OF ETHERNET FTTH, PON TECHNOLOGIES**

*Nowadays, one of the trends of information and communication networks development is the provision within the shortest time of a larger number of telecommunication services to network users. Currently, connection of subscribers to xDSL communication channels provided by public switched telephone networks (PSTN) is widespread. Providers of classic telephony make active use of these networks due to the low cost of the connection of a subscriber. An obvious disadvantage of this connection type is the limited data transfer rate. Some Internet providers rapidly develop ETTH (Ethernet To The Home) networks. The advantage of ETTH networks is the targeting of the delivery of communication services to subscribers. One of the disadvantages is the operation of a network at the Ethernet level with all typical for this protocol features. The practice of optical networking has existed for many years; however, the basic approach to optical networking is based on the use of active equipment from the access node to users. PON-based (Passive Optical Network) FTTH architecture (Fiber To The Home) is as a rule, compatible with the Ethernet Protocol. The article shows the advantages of the deployment of PON-based FTTH networks, in particular, saving of fiber-optic lines in the area from the optical splitters to the Central telephone exchange or access*

point by using relevant ports. The article provides the description of access networks architecture applying Ethernet FTTH and PON technologies, and also discusses the prospects for further development of the above mentioned networks.

**Key words:** network architecture, topology, subscribers, technology, equipment, fiber optic lines, Ethernet, FTTH, PON.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2017-21-1-8-15

**For citation:** Belitsky A.M., Ivanenko R.R., Besedin A.V., Klochkov A.Y. Customer Access Networking on the Basis of Ethernet FTTH, PON Technologies, Proceeding of Southwest State University, 2017, vol. 21, no. 1(70), pp. 8-15 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Kaluckij I.V., Lipunov A.A., Savenkova E.S. Bezopasnye tehnologii besprovodnyh komp'yuternyh setej // *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie. – 2012. – №2, Ch.1. – S.87-91.

2. GOST RV 5819. Profil' ob#edinennoj avtomatizirovannoj cifrovoj sistemy svjazi VS RF. – M.: OAO «Jetalon», 2008.

3. Performance Characterization of PON Technologies [Jelektronnyj resurs] / Alex Vukovic, Khaled Maamoun, Heng Hua, Michel Savoie. – URL: [http://www.hit.bme.hu/~jakab/edu/litr/Access/PON/PN\\_07\\_PON\\_Technologies.pdf](http://www.hit.bme.hu/~jakab/edu/litr/Access/PON/PN_07_PON_Technologies.pdf) (data obrashhenija 10.12.2016).

4. Sistema obmena informaciej v jelektronnom vide VS RF. Chast' 1. Ob-shhie polozhenija po postroeniju sistemy obmena informaciej v jelektronnom vide VS RF. – SPb.: VAS, 2011.

5. Novye setevye tehnologii v si-stemah upravlenija voennogo naznachenija / pod red. S.M. Odoevskogo. – SPb.: VAS, 2010. – 432 s.

6. Olifer V.G., Olifer N.A. Komp'juternye seti. Principy, tehnologii, protokoly. – SPb.: Piter, 2010. – 944 s.

7. Ivanenko R.R., Ivanenko Ju.R. Programmno-konfiguriruemye seti s ispol'zovaniem protokola Open Flow // *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie. – 2015. – №4 (17). – S.56-62.

8. Adaptivnyj algoritm korrelyacionnoj obrabotki signalov v mnogokanal'nyh vychislitel'nyh sredah / A.A. Burmaka, I.A. Kljuchikov, Ju.V. Cyplakov, F.A. Starkov // *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2012. – № 1 (40), Ch. 1. – S.99-102.

9. Terehova O.A. Obsluzhivanie informacionnyh potokov v izvestitel'noj i upravljajushhej seti territorial'no raspredelennoj informacionno-izmeritel'noj sistemy // *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2012. – № 2 (41), Ch. 1. – S.60-64.

10. Maklakov E. S., Gulamov A. A. Primenenie tehnologii FTTH v sovremennyh gorodskih setjah dostupa // *Infokommunikacii i informacionnaja bezopasnost': sostojanie, problemy i puti reshenija: materialy I Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. – Kursk, 2014. – S.206-210.