

# ЭВОЛЮЦИЯ СЕТЕЙ ДОСТУПА

## Три аспекта

Н. Соколов, д.т.н., технический директор компании "ПРОТЕЙ СпецТехника"

Обсуждаются аспекты модернизации сетей доступа, построенных операторами местных телефонных сетей. Основное внимание уделяется тенденциям роста скорости обмена данными через сеть доступа, сценариям применения кабелей с оптическими волокнами и экономическим оценкам.

Используемые в статье статистические данные основаны, в основном, на информации, которая ежедневно публикуется компанией TeleGeography на своем сайте – <http://www.telegeography.com>.

### Роль сети доступа в телекоммуникационной системе

Для обсуждения роли сети доступа в современной телекоммуникационной системе можно воспользоваться моделью, приведенной в рекомендации ITU-T Y.110 [1]. Фрагмент этой модели показан на рис.1. Пунктирные и штрих-пунктирные стрелки между смежными блоками модели указывают направления основных движущих сил, изменяющих функции управления и обмена данными соответственно. Интерфейсы  $I_{СП}$  и  $I_{БС}$  определяют принципы взаимодействия сети доступа со смежными сегментами модели.

Функции управления определяются процессами, свойственными верхним уровням иерархии телекоммуникационной системы. Требования к сети доступа, сформулированные, например, в рекомендации ITU-T Q.833.1 [2], сравнительно просты. По этой причине алгоритмы управления, используемые в эксплуатируемых сетях доступа, также нельзя считать сложными. Сущностные требования к перспективным сетям доступа, судя по тексту рекомендации G.9801 [3], меняются мало. По всей видимости, качественных изменений в составе функций управления, используемых в сетях доступа, не ожидается.

Функции обмена данными меняются, в основном, в соответствии с требованиями пользователей. Эти

требования можно разделить на две группы. Первая группа отражает объективно формирующиеся запросы пользователей. Вторая группа включает требования, умело навязанные рекламными акциями. При выборе сценария развития сети доступа следует учитывать требования обеих групп. Функции обмена данными в сети доступа основаны на двух положениях. Во-первых, должны обеспечиваться все установленные показатели качества предоставления услуг [4]. Во-вторых, должна поддерживаться скорость обмена данными, установленная договором между абонентом и оператором связи.

Задачи управления на уровне сети доступа можно рассматривать как процессы, направленные на поддержку установленных показателей качества предоставления услуг. Такой подход позволяет ввести простое определение для роли сети доступа

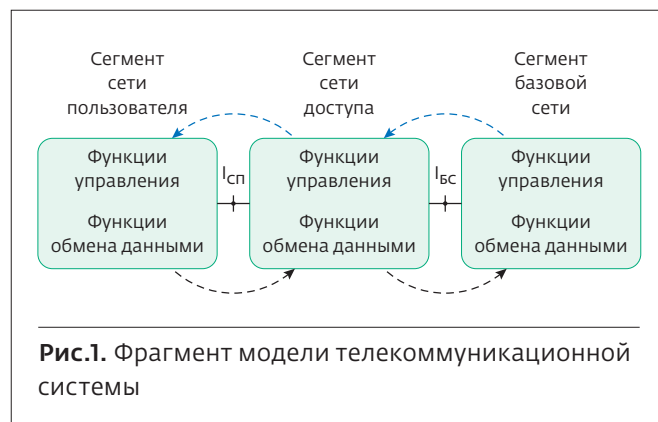


Рис.1. Фрагмент модели телекоммуникационной системы

в телекоммуникационной системе: обмен данными между интерфейсами  $I_{СП}$  и  $I_{БС}$  в соответствии с установленными показателями качества предоставления услуг и с номиналами скоростей, согласованными в договоре между пользователем и оператором связи. Если ресурсы доступа используются исключительно для телефонной связи с применением аналоговых технологий, то конец определения, начиная со слов "и с номиналами...", уместно убрать. В этом случае подразумевается, что пропускная способность канала тональной частоты остается неизменной.

### ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ОБМЕНА ДАННЫМИ ЧЕРЕЗ СЕТЬ ДОСТУПА

Статистические данные и прогностические оценки свидетельствуют об устойчивом характере двух основных тенденций в изменении скорости обмена данными через сеть доступа. Первая тенденция – повышение номиналов скоростей в обоих направлениях передачи данных (Download и Upload) между интерфейсами  $I_{СП}$  и  $I_{БС}$ . Вторая тенденция – уменьшение различия в номиналах скоростей между направлениями передачи данных.

Рост скорости обмена данными продолжается. Планы некоторых операторов связи выглядят, на первый взгляд, чрезмерно амбициозными. В 2014 году были опубликованы сообщения, в которых для направления от интерфейса  $I_{БС}$  к интерфейсу  $I_{СП}$  (Download) фигурировали номиналы скорости передачи –  $V_D$  от 50 Мбит/с до 1 Гбит/с. Разобраться в столь значительных колебаниях исследуемой величины не так просто. Доступная информация позволяет сделать такой вывод: все операторы связи учитывают объективно существующие требования, но по-разному оценивают долгосрочные перспективы развития телекоммуникационной системы, вероятные риски и необходимые инвестиции.

В подобных ситуациях продуктивен сценарный подход [5], позволяющий проанализировать возможные изменения рассматриваемых процессов в широком диапазоне. Сценарный подход был использован австралийскими специалистами при разработке проекта NBN (National Broadband Network) – национальной широкополосной сети [6]. Одним из важных результатов стали прогностические оценки, которые подразумевают следующее повышение скорости передачи данных  $V_D$ : 100 Мбит/с к 2023 году, 250 Мбит/с к 2028 году и 1 Гбит/с к 2030 году.

Будут ли действительно нужны такие скорости обмена данными? Или их следует рассматривать

как усилия тех игроков инфокоммуникационного рынка, которые стараются сформировать "ненасытного потребителя"? В настоящее время невозможно ответить на этот вопрос.

Ожидаемый рост скорости обмена данными объясняется рядом факторов, которые хорошо известны [7], а также новыми направлениями развития телекоммуникационных и информационных систем, среди которых следует выделить технологию M2M [8]. Данная аббревиатура образована из словосочетания machine-to-machine. Технология M2M предназначена для обмена информацией между устройствами (машинами), которые могут функционировать без участия человека. Сферы применения решений M2M весьма обширны – от простейших телематических датчиков до сложнейших систем когнитивной медицины.

Прогностические оценки количества устройств класса M2M предполагают, что в обозримой перспективе их будет существенно больше, чем людей, населяющих нашу планету. Следует учитывать и тот факт, что некоторые терминалы M2M будут передавать видеoinформацию. По всей видимости, подобные соображения послужили причиной столь оптимистического прогноза для трафика, порождаемого информацией M2M (рис.2.). Правда, данный прогноз отражает только качественный характер изменений трафика: ни на одной из осей графика не указаны численные значения параметров.

Технология M2M, помимо роста требований к скорости обмена данными, стимулирует еще один важный процесс – нивелирование различия между номиналами скоростей обмена данными в обоих направлениях связи. Изучение этого процесса – предмет отдельного исследования, результаты которого имеют существенную практическую ценность.

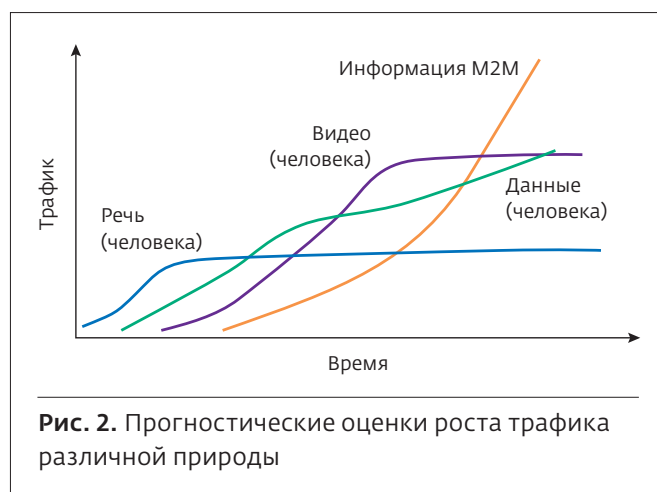


Рис. 2. Прогностические оценки роста трафика различной природы

Следует отметить, что прогностические оценки относительно повышения скорости передачи данных  $V_D$ , полученные для концепции NBN [6], хорошо согласуются с результатами, опубликованными более десяти лет назад [9]. В упомянутой статье был приведен график, иллюстрирующий ожидаемый рост пропускной способности сети доступа на период до 2025 года. Правда, в [9] скорость передачи данных  $V_D$ , равная 100 Мбит/с, рассматривалась как уровень насыщения, но авторы соответствующего прогноза влияния технологии M2M естественно не учитывали.

Следует подчеркнуть, что рост скорости обмена данными предусмотрен планами администраций связи ряда стран и для домохозяйств в сельской местности, включая удаленные населенные пункты. В частности, в Новой Зеландии предполагается довести скорость потока  $V_D$  до 10 Мбит/с за счет использования системы спутниковой связи. Более амбициозный план принят в Ирландии: к 2020 году скорость потока  $V_D$  для каждого дома в сельской местности будет составлять не менее 30 Мбит/с.

## СЦЕНАРИИ ПРИМЕНЕНИЯ КАБЕЛЕЙ С ОВ

В технической литературе обсуждаются различные подходы к модернизации сетей доступа за счет использования кабелей с оптическими волокнами (ОВ). Возможные решения известны по аббревиатуре FTTx (Fiber To The "x") – доведение волокна до точки "x". В качестве буквы "x" фигурирует не менее десяти различных названий, иногда мало чем отличающихся друг от друга. В этом разделе рассматриваются три сценария применения кабелей с ОВ, что позволяет проанализировать основные стратегии развития сетей доступа (без учета применения беспроводных технологий):

- FTTC – волокно до распределительного шкафа (C – curb);
- FTTP – волокно до входа в помещение пользователя (P – premises);
- FTTD – волокно до рабочего места пользователя (D – desk).

Эти сценарии показаны на рис. 3 для трех фрагментов гипотетической сети доступа. Предполагается, что из кросса узла коммутации выходят три магистральные кабели с ОВ. Они заменяют многопарные кабели с медными проводниками, которые были проложены между кроссом узла коммутации и тремя распределительными шкафами (РШ). Далее для каждого фрагмента выбран свой сценарий модернизации, меняющий принципы построения распределительных участков сети доступа.

При выборе сценария FTTC кабель с ОВ заканчивается в первом РШ. На месте размещения РШ1

устанавливается оборудование преобразования оптического сигнала в электрический, обозначенное символом "o/e". Обычно оно входит в состав активной системы, типичным примером которой служит мультисервисный абонентский концентратор [7]. Распределительный участок сети доступа не модернизируется. На рис. 3 показано K направлений прокладки распределительного кабеля. Каждый такой кабель включается в распределительную коробку (РК).

Сценарий FTTP предусматривает использование кабеля с ОВ и на распределительном участке сети доступа. На месте размещения РШ2 устанавливается мультиплексор ввода/вывода каналов, который более известен по аббревиатуре ADM – Add/Drop Multiplexer. Он позволяет без преобразования "o/e" распределить транспортные ресурсы по L направлениям. Преобразователи "o/e" устанавливаются в местах размещения всех РК, численность которых равна L.

Переход к сценарию FTTD означает, что преобразователи "o/e" устанавливаются либо рядом с терминальным оборудованием пользователя, либо в самом оконечном устройстве. В любом случае длиной кабеля с медными проводниками можно пренебречь. Использование технологий класса xDSL (цифровая абонентская линия до точки "x") для сценария FTTD, в отличие от альтернативных решений, не предусматривается.

При реализации сценариев FTTC и FTTP для пользователей, заинтересованных в услугах, которые не могут поддерживаться каналом тональной частоты (например, двухпроводной физической цепью), обычно предусматривается применение технологий xDSL. Публикации последних лет свидетельствуют, что предпочтение отдается оборудованию VDSL2 [10].

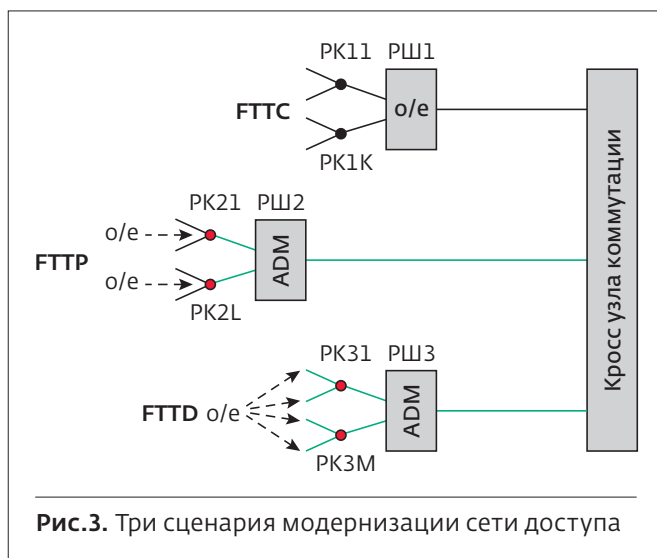


Рис. 3. Три сценария модернизации сети доступа

Спецификация технологии VDSL2 (Very-high data rate Digital Subscriber Line 2) – сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия 2 – приведена в рекомендации ITU-T G.993.2 [11]. Интересной особенностью спецификации VDSL2 стала возможность обмениваться симметричным (по скорости передачи битов) трафиком.

Выбор сценария применения технологии FTТх – сложная технико-экономическая задача. Каждому из возможных сценариев присущи и плюсы, и минусы. Формализовать задачу выбора сценария практически невозможно. Предпочтительный сценарий может быть выбран при помощи методов теории принятия решений [12].

Информация, которая может помочь принять рациональное решение [13] для долгосрочной эволюции сети доступа, в значительной мере, основана на экономических оценках. В следующем разделе статьи обсуждаются два вида таких оценок – необходимые инвестиции и тарифы на инфокоммуникационные услуги.

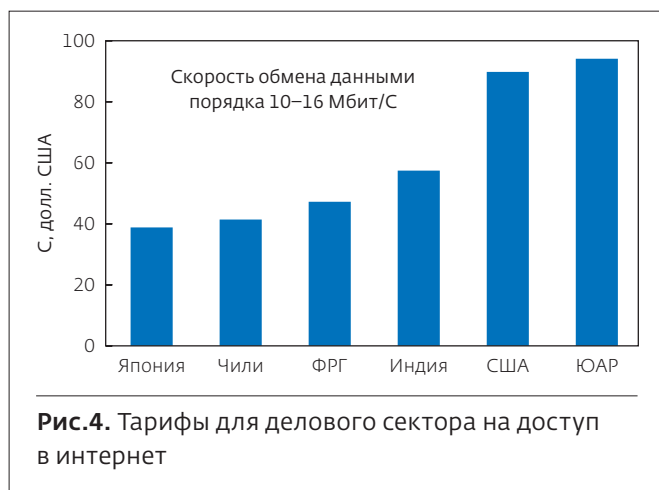
### **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ**

Модернизируемые сети доступа (а в некоторых случаях – даже их фрагменты) находятся на разном уровне развития. Различаются также планы

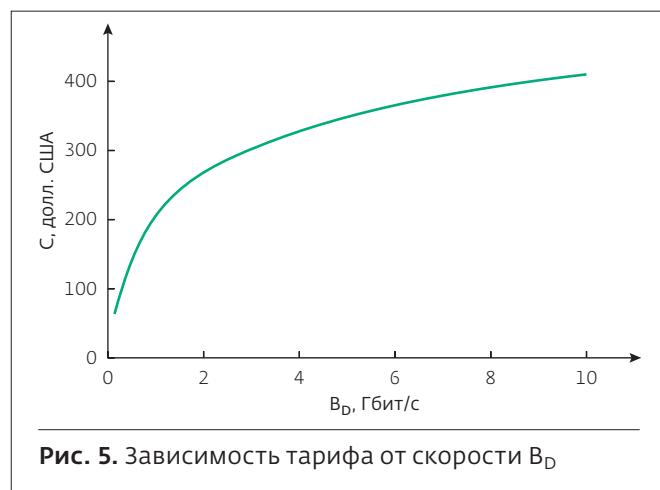
операторов связи по модернизации сетей доступа и стоимостные характеристики выбранных технических средств. По этим причинам необходимые инвестиции, рассчитанные, например, на одно домохозяйство, различаются весьма существенно. В информационных материалах, опубликованных компанией TeleGeography в 2014 году, можно найти следующие величины инвестиций в расчете на одно домохозяйство на схожие проекты, которые основаны на сценариях класса FTТС: 445 долл., 465 долл., 520 долл. и 540 долл.

Среднее значение инвестиций составляет 492,5 долл. при низком коэффициенте вариации – примерно 0,091. Такое значение коэффициента вариации свидетельствует о небольшом разбросе значений инвестиций, рассчитанных на одно домохозяйство. Полученная величина 492,5 долл. хорошо коррелируется с оценкой, приведенной в статье [14]. В этой работе, опубликованной в 2007 году, прогнозировалось снижение инвестиций после 2010 года при использовании сценария FTТС до уровня 500 долл.

Тем не менее, в материалах компании TeleGeography и в других источниках упоминаются проекты модернизации сетей доступа с затратами на одно домохозяйство свыше 1000 долл. Обычно



**Рис. 4.** Тарифы для делового сектора на доступ в интернет



**Рис. 5.** Зависимость тарифа от скорости  $V_D$

эти проекты подразумевают реализацию сценариев класса FTTD и/или прокладку кабелей с ОВ между узлами коммутации. По этой причине оценку 492,5 долл., как среднюю величину необходимых инвестиций на одно домохозяйство, следует использовать с большой осторожностью.

Последний постулат уместно прокомментировать, используя определения Greenfield и Brownfield. Проект вида Greenfield (дословно – *зеленое поле*) подразумевает создание нового объекта, в качестве которого можно рассматривать сеть доступа. Для гипотетической модели вновь создаваемой сети доступа несложно получить устойчивые стоимостные оценки. К сожалению, они плохо применимы для проекта модернизации уже существующей сети. Соответствующий проект, относящийся к виду Brownfield (дословно – *коричневое поле*), требует паспортизации эксплуатируемых средств и ранее созданных компонентов инфраструктуры. Результаты последующего анализа заметно влияют на стоимостные оценки. В ряде случаев расхождение оценок с величиной, полученной для схожего проекта вида Greenfield, становится очень большим.

Для обсуждения экономических оценок, касающихся тарифной политики, уместно рассмотреть диаграмму, показанную на рис.4. Она иллюстрирует различие между шестью странами в тарифах на доступ в интернет. Величина тарифов, установленных для делового сектора, указана за месяц. Скорость обмена данными находится в диапазоне от 10 до 16 Мбит/с.

Любопытна ощутимая разница в тарифах между США и Японией. Она – формально! – противоречит ключевым экономическим положениям, основанным на величине душевого валового внутреннего продукта [15]. По всей видимости, в данном случае уместно сослаться на другой закон: "Каждый товар

(услуга) стоит столько, сколько за него (за нее) готов заплатить покупатель".

Статистика по тарифам для пользователей квартирного сектора также демонстрирует наличие заметных различий для стран со схожими значениями душевого валового внутреннего продукта. Правда, в ряде случаев сравнение тарифов усложняется несовпадением перечня предоставляемых услуг.

При возрастании скорости передачи  $V_D$  до величины порядка 200 Мбит/с планируется введение месячной платы в диапазоне от 54 до 70 долл. Подобные тарифы предполагают получение значительной части информационных ресурсов и развлекательных программ бесплатно. Если рассматриваемая скорость доступа возрастет до 500 Мбит/с, то пользователю придется платить примерно 115 долл. в месяц. Наконец, для номинала скорости  $V_D$ , достигающего уровня 1 Гбит/с, предлагается установить месячный тариф в размере 250 долл. Более того, опубликована также оценка ежемесячной платы за доступ на скорости 10 Гбит/с – 399 долл.

Конечно, достоверность значений, приведенных выше величин не столь велика. Они интересны с точки зрения зависимости предполагаемого значения тарифа от скорости доступа. На рис.5 показана кривая, отображающая эту зависимость.

Нелинейный характер рассматриваемой функции отражает интуитивно понятную зависимость. Тарифы  $C$  должны расти медленнее скорости  $V_D$ .

## PLUS ULTRA

В одной статье невозможно изложить все аспекты модернизации сетей доступа. Это обстоятельство объясняет выбор названия для последнего раздела статьи, которое, в переводе с латинского языка, означает "еще дальше". И всех задач

модернизации сетей доступа, которые не упоминались в предыдущих разделах, пожалуй, одной из важнейших становится оптимизация применения проводных (wire) и беспроводных (wireless) технологий. Они могут конкурировать между собой и дополнять друг друга. Решение соответствующей оптимизационной задачи представляется актуальной темой для научно-исследовательской работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ITU-T. Recommendation Y.110 "Global Information Infrastructure principles and framework architecture". - Geneva, 1998.
2. ITU-T. Recommendation Q.833.1 "Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) - Network element management: CMIP Model". - Geneva, 2001.
3. ITU-T. Recommendation Q.833.1 "Ethernet passive optical networks using OMCI". - Geneva, 2013.
4. ITU-T. Recommendation E.800 "Definitions of terms related to quality of service" - Geneva, 2008.
5. Линдгрэн М., Бандхольд Х. Сценарное планирование. Связь между будущим и стратегией. - М.: Олимп-Бизнес, 2009.
6. National Broadband Network. Strategic Review. - NBN Co Limited, North Sydney, 2013.
7. Соколов Н.А. Семь аспектов развития сетей доступа // Технологии и средства связи. Специальный выпуск "Системы абонентского доступа". 2005.
8. Boswarthick D., Hersent O., Elloumi O. M2M Communications. - Wiley, 2012.
9. Crawford M., Verheye D. Residential Service Aggregation in the Second Mile // Alcatel Telecommunications Review. 2nd Quarter 2003.
10. Спрайт П., Ванхастел С. Повышение скорости передачи в линиях VDSL2 методом векторизации // Первая миля. 2014. № 5.
11. ITU-T. Recommendation G.993.2 "Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)". - Geneva, 2015.
12. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. - М.: Логос, 2002.
13. Sokolov A., Sokolov N. Rational solutions for development of telecommunications networks // T-Comm. 2014. Том 8. № 6.
14. Barthold J. U.S. telcos bet on video quality // Telecommunications International. August 2007.
15. Варакин Л.Е. Распределение доходов, технологий и услуг. - М.: МАС, 2002.