

## СЕМЬ АСПЕКТОВ РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ ДОСТУПА

---

*Ведущий научный сотрудник ЛОНИИС,  
к.т.н., профессор  
Н.А. Соколов*

**В этой статье рассматриваются семь аспектов развития сетей доступа, существенных с точки зрения развития инфокоммуникационной системы в целом. Сначала анализируется история развития сетей доступа, что позволяет сформулировать ответ на первый из традиционных российских вопросов: "Кто виноват?". В следующих разделах изложены соображения автора, которые будут полезны читателям, пытающимся найти ответ на следующий традиционный вопрос: "Что делать?"**

История публикаций, посвященных сетям доступа, примечательна одним фактом. С середины тридцатых годов XX века проводились серьезные исследования принципов оптимального построения сетей доступа. Основные результаты можно найти в статьях и монографиях, изданных до середины семидесятых годов. Специалистам, интересующимся процессами появления и эволюции идей развития сетей доступа, будут полезны публикации [1] и [2]. Впоследствии поток интересных работ, отличающихся оригинальными идеями по построению сетей доступа, методам их расчета, применению современных технологий, стал заметно скромнее. В чем заключалась основная причина? И почему период "молчания" сменился обильным потоком публикаций, содержащих, правда, многочисленные повторы? Ответы на эти вопросы не так просты, как может показаться на первый взгляд.

### **Первый аспект.**

#### **Немного истории**

Первые сети телефонной связи создавались в городах. О междугородной и тем более международной связи могли рассуждать либо полные дилетанты, либо очень дальновидные ученые. В городах обычно устанавливалась одна телефонная станция. Это означает, что первые городские телефонные сети (ГТС) были нерайонированными [2]. Система связи состояла из трех элементов: терминал, сеть доступа и коммутатор, работа которого была невозможна без участия человека.

Сеть доступа представляла собой совокупность абонентских линий (АЛ).

Первые АЛ были созданы на базе воздушных линий связи. В [3] приводятся интересные сведения о строительстве телефонной сети в Санкт-Петербурге: "...вся сеть

проектировалась на столбах по однопроводной схеме с использованием гальванизированной проволоки диаметром 2,2 мм". Подобный подход был типичен для конца XIX века и для начала прошлого столетия. Провода обычно подвешивались на столбах. Подведение проводов к телефонной станции осуществлялось через специальные стойки. Суммарное число проводов, которые должны были подключаться к коммутаторам, исчислялось десятками и даже сотнями. Высота соответствующих стоек достигала на некоторых телефонных станциях 13 метров [4].

С 1886 г. в российских ГТС стали использоваться двухпроводные АЛ. Это стимулировало переход к двухпроводной коммутации. Переход воздушных линий связи к кабельным начался со второй попытки. Подземный телефонный кабель был впервые проложен в России в 1885 г. при строительстве Нижегородской телефонной сети [4]. Длина десятижильного кабеля составляла около одного километра. Его прокладка стоила дорого, а при эксплуатации возникли весьма сложные проблемы. Поэтому дальнейшее развитие сетей доступа осуществлялось за счет воздушных линий или кабелей, подвешиваемых на столбах. Необходимость в создании кабельной канализации стала очевидной после стихийного бедствия 21 ноября 1902 года, практически парализовавшего работу телефонной сети в столице Российской империи [3]. Сильное обледенение привело к тому, что почти четыре тысячи проводов были оборваны и перепутаны. В следующем году из-за обледенения произошло 28367 обрывов. Огромная величина для ГТС, обслуживающей чуть более пяти тысяч абонентов. Историю развития сети доступа можно проиллюстрировать с помощью графика, который приведен в верхней части рис. 1. Нижний график отражает основные вехи эволюции систем коммутации.

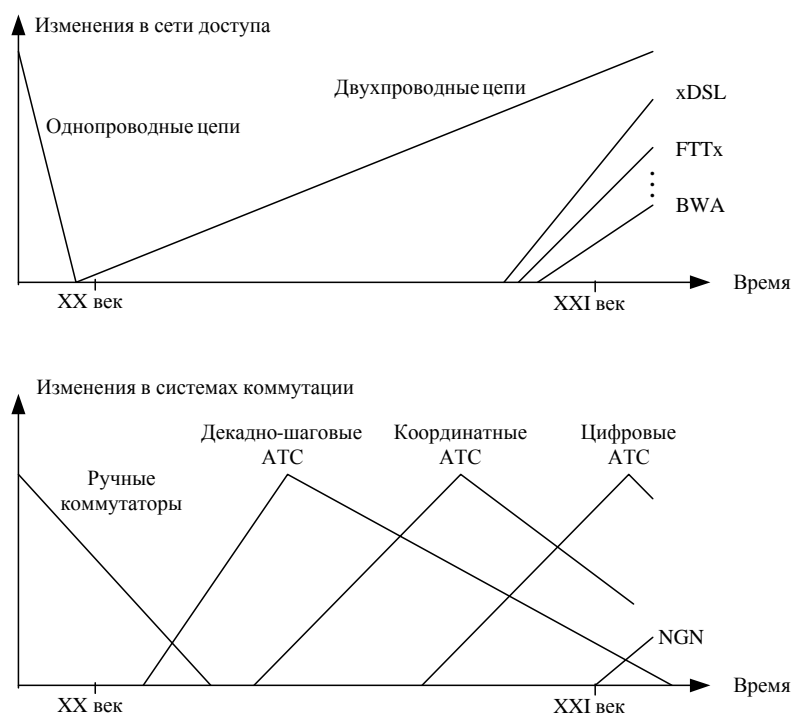


Рис. 1. Основные этапы развития сетей доступа и систем коммутации

Начнем с нижнего графика. Ручные коммутаторы, установленные в ГТС, стали основой телефонной сети общего пользования (ТФОП). Позже они были вытеснены автоматическими телефонными станциями (АТС). На рисунке показаны три типа АТС: декадно-шаговые, координатные и цифровые. В разное время они занимали лидирующее положение на рынке оборудования коммутации. Кроме того, в телефонных сетях применялись также машинные АТС. Между координатными и цифровыми АТС на телекоммуникационном рынке - в небольших объемах - появилось квазиэлектронное коммутационное оборудование. Цифровые системы коммутации, по всей видимости, - последнее поколение АТС. Им на смену придут системы распределения информации, отвечающие требованиям сети нового поколения, которая известна по аббревиатуре NGN.

Можно утверждать, что за более чем столетний период в системах коммутации периодически происходили заметные изменения. Развитию сетей доступа свойственны иные законы. После появления двухпроводных АЛ начался период, который можно считать стагнацией. Двухпроводные физические цепи надолго стали практически единственным средством построения сетей доступа. Хорошо известно [5, 6], что такой способ построения сети доступа экономически неэффективен, но приемлемого решения никто не нашел.

Можно выделить две группы причин сложившейся ситуации. Во-первых, высокие цены на оборудование передачи и коммутации не позволяли эффективно строить сети доступа за счет установки выносных концентраторов. Во-вторых, услуги, востребованные абонентами, могли предоставляться за счет пропускной способности канала тональной частоты (0,3-3,4 кГц), который был специфицирован для ТФОП. Эти услуги не всегда имели отношение к трафику речи. Сеть доступа использовалась для телеграфной связи, передачи данных с низкой и средней скоростями, а также для охранной сигнализации.

За два последних десятилетия XX века существенно снизились цены на цифровые системы передачи [7]. Были разработаны цифровые системы коммутации, содержащие в составе комплекса аппаратно-программных средств выносные концентраторы [8]. В результате появилась возможность снизить затраты на построение сети доступа даже при неизменном перечне услуг, предлагаемых абонентам ТФОП.

Затем начал формироваться платежеспособный спрос на услуги, поддержка которых потребовала существенного расширения полосы пропускания сети доступа. Эти услуги в конечном счете можно отнести к функциональным возможностям "triple-play

services", которые подразумевают возможность обмена информацией в трех видах: речь, данные и видео [9]. Успехи телекоммуникационных технологий позволили разработать ряд новых вариантов модернизации сетей доступа. В некоторых случаях полностью или частично использовались эксплуатируемые многопарные кабели. Другие решения опирались на иные среды распространения сигналов.

Период стагнации сменился почти одновременным появлением множества решений, среди которых на верхнем графике (см. рис. 1) выделены только три крупных направления:

- xDSL - совокупность технологий, позволяющих организовать цифровой тракт по физическим цепям;
- FTTx - ряд решений, подразумевающих доведение кабеля с оптическими волокнами до некоторой точки "x", после которой информация передается с использованием другой среды распространения сигналов;
- WWA - широкополосные беспроводные средства доступа, ориентированные на подключение терминалов без использования кабелей связи.

Выбор оптимального решения для модернизации сети доступа зависит от многих факторов. В первую очередь следует уяснить те требования инфокоммуникационной системы, которые предъявляются к перспективным сетям доступа.

## **Второй аспект.**

### **Требования инфокоммуникационной системы**

Термин "инфокоммуникации" появился в технической литературе недавно [10]. Обычно он используется в тех случаях, когда необходимо подчеркнуть, что для системы, сети, услуги или технологии существенно влияние, которое оказывают друг на друга вычислительная техника, информатика и связь. Для сети доступа среди множества процессов, которые свойственны развитию инфокоммуникационной системы, особый интерес представляют следующие тенденции:

- рост (иногда очень существенный) пропускной способности трактов обмена информацией;
- ужесточение требований некоторых пользователей к показателям качества обслуживания;
- поддержка функций мобильности терминала [И] для ряда приложений, включая функциональные возможности "triple-play services";
- снижение затрат, необходимых для создания и дальнейшего развития всех элементов инфокоммуникационной системы.

Рост пропускной способности трактов обмена информацией подтверждается рядом прогностических оценок [12, 13], которые показаны на рис. 2. Прогноз был составлен компанией Technology Future Inc. для пользователей квартирного сектора в США. Существенно то, что на оси ординат показана доля жилищ (например, квартир или индивидуальных домов), а не пользователей. Телефонную плотность для фиксированной сети в последнее время чаще оценивают на 100 жилищ, а не на 100 жителей. Этот подход основан на разумном предположении, что если жилище (постоянное или временное) подключено к телефонной сети, то всем членам семьи, независимо от ее численности, обеспечен доступ к ТФОП.

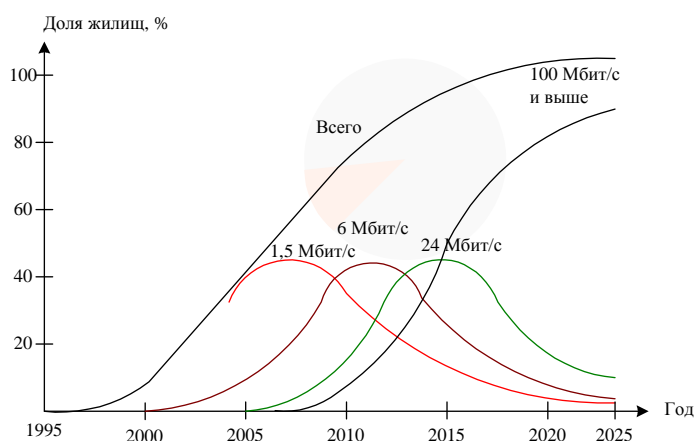


Рис. 2. Изменение требований к полосе пропускания сети доступа

Столь существенный рост пропускной способности обусловлен, в основном, двумя тенденциями:

- развитие системы телевидения высокой четкости, для которого необходимы широкополосные каналы;
- повышение скорости обмена данными в Интернете для предоставления информационных услуг и новых видов игровых приложений.

Следует отметить, что скорость 100 Мбит/с (верхний предел для последней кривой) совпадает с максимальной пропускной способностью для перспективных сетей мобильной связи [14]. Хотя такая скорость представляется более чем достаточной, некоторые специалисты считают, что определенной группе пользователей потребуются ресурсы доступа порядка 200 Мбит/с [15].

Рост требований к качеству обслуживания - естественное явление. В последние годы чаще других обсуждаются аспекты повышения надежности инфокоммуникационной системы. В технической литературе появилось новое словосочетание: "Пять девяток".

Речь идет о величине коэффициента готовности между двумя терминалами пользователей, через которые происходит обмен информацией.

На рис. 3 показано распределение причин, по которым абоненты ТФОП не могут обмениваться информацией. Эти оценки были получены ISO (Международной организацией по стандартизации) в результате обработки статистической информации, предоставленной несколькими операторами из разных стран [16].

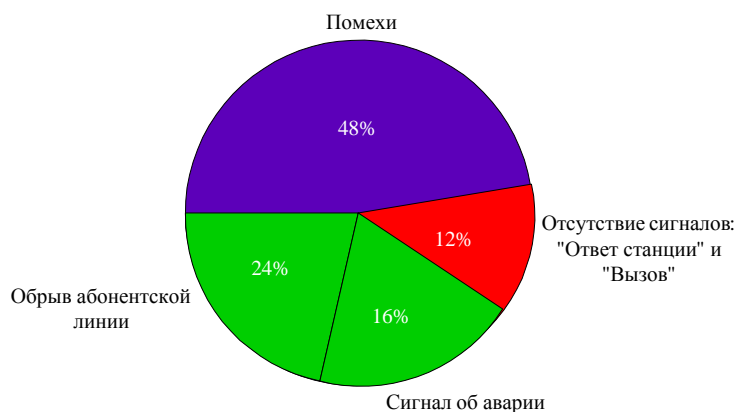


Рис. 3. Причины отказа в обслуживании абонентов ТФОП

Практически четверть отказов в обслуживании обусловлена обрывом АЛ - основной сети доступа. Для коэффициента готовности, равного 0,99999, длительность простоя в течение года не должна превышать 5,3 минуты. Без улучшения характеристик надежности сети доступа выполнить это требование не представляется возможным.

Мобильность – одно из важнейших направлений развития инфокоммуникационной системы [17]. Несколько сложных задач, касающихся поддержки мобильности терминала, приходится решать на уровне доступа. Более того, если бы инфокоммуникационная система до начала формирования массового спроса на услуги мобильной связи отвечала ряду требований (в частности, стопроцентная цифровизация и полноценная реализация системы общеканальной сигнализации), то почти все задачи оператора ограничились бы модернизацией сети доступа и коммутационных станций.

Сети мобильной связи изначально создавались для обслуживания трафика речи. Их дальнейшая эволюция связана с функциональными возможностями "triple-play services". С этой точки зрения сети фиксированной и мобильной связи можно рассматривать как конвергентные. Тем более что некоторые функции мобильности доступны в современных сетях фиксированной связи [11, 18].

#### Распределение затрат оператора на построение ТФОП

Статьи затрат	Доля затрат, %
Линейные сооружения местной сети	- 31

Коммуникационное оборудование	- 31
Междугородные и международные каналы	- 26
Здания и земля	- 12

Одно из основных экономических требований инфокоммуникационной системы - снижение затрат на построение сети доступа. Для оценки доли затрат, приходящихся на эксплуатируемые сети доступа в ТФОП, целесообразно воспользоваться данными МСЭ, которые были собраны по шестнадцати странам [5]. Из этих данных следует исключить стоимость терминального оборудования, которая из-за новых функциональных возможностей (например, в случае применения беспроводного терминала стандарта DECT с цифровым автоответчиком) может достигать внушительных величин. Пересчитанные результаты приведены в таблице.

Статья затрат "Линейные сооружения местной сети" относится к двум компонентам: сеть доступа и межстанционные соединительные линии. Оценка длин этих двух типов линий позволяет провести распределение затрат, которые составляют в сумме 31% от общего объема инвестиций, необходимых для построения ТФОП. В частности, в [2] для городской телефонной сети емкостью 40 000 номеров, в которой функционируют пять коммутационных станций, получена такая оценка: 80% суммарной длины всех линий (физических цепей) приходится на сеть доступа. Это означает, что затраты на сеть доступа можно оценить на уровне 25% инвестиций, требуемых для создания ТФОП.

Полученная величина близка к оценкам из ряда публикаций, в которых исследовались затраты на сеть доступа. В [19] эта доля затрат оценивается в 30% от суммарных инвестиций оператора, а в [20] определен такой диапазон ее изменений: от 19,6 до 30,34%. Статистика МСЭ [5], кроме доли суммарных затрат на сеть доступа и межстанционные линии, содержит также оценку диапазона исследуемой величины: от 14 до 48%. Очевидно, случайной величине - доле затрат на сеть доступа - свойственна весьма существенная дисперсия. Особенно велики отклонения от среднего значения в сельских телефонных сетях [21].

Приведенные оценки касаются сетей доступа, построенных в виде совокупности физических цепей. Эти цепи, как правило, создавались за счет прокладки многопарного кабеля с медными жилами. Медь, как известно, дорожает. В то же время новое поколение систем коммутации и передачи позволяет снизить соответствующие затраты (3-я и 4-я строки в таблице). Поэтому стоимость сети доступа, построенной за счет прокладки многопарных кабелей с медными жилами, постепенно растет.

### **Третий аспект.**

#### **Диверсификация пользователей**

Очевидно, что требования поддержки широкополосных услуг, мобильности и ряд других подразумевают достаточно высокие тарифы на инфокоммуникационные услуги. Оплачивать такие услуги готовы не все пользователи. Для операторов и поставщиков услуг интересен анализ потенциальной клиентской базы, который позволяет выделить характерные группы с идентичным уровнем платежеспособного спроса.

Графики, изображенные на рис. 2, свидетельствуют о предстоящем появлении пользователей, для которых необходимы скорости обмена данными в десятки мегабит в секунду. Доля пользователей, заинтересованных в максимальных скоростях обмена информацией и готовых оплачивать соответствующие услуги, вряд ли будет заметной. Правда, доходы оператора, которые принесут эти пользователи, могут стать весьма существенными.

Значительная группа пользователей по различным причинам (например, уровень коммуникативных потребностей и финансовые возможности) ограничится ресурсами канала тональной частоты. В цифровой телефонии это эквивалентно обмену информацией со скоростью 64 кбит/с. Таким образом, различие в скорости обмена информацией будет измеряться несколькими порядками.

Кроме скорости обмена информацией различия между пользователями - с точки зрения оператора – будут заключаться в уровне оплачиваемого трафика. Существенны как виды устанавливаемых соединений (местные, междугородные, международные), так и их длительность. Важен также спектр используемых услуг. В последнее время большое внимание уделяют информационным и развлекательным услугам [22, 23].

Пользователей сначала делили на две группы: деловая (business) и квартирная (residential). Такой подход был приемлем на определенном этапе развития ТФОП. Затем потребовалось ранжирование абонентов деловой группы. В качестве классификационного признака была выбрана численность обслуживаемых пользователей. Очевидно, что для современной инфокоммуникационной системы необходимы принципы ранжирования, основанные на экономических показателях.

Для ранжирования пользователей может применяться метод, базирующийся на формуле Стерджеса [24]. В последнее время получил распространение подход, который иллюстрируется с помощью рис. 4. Как правило, достаточно выделить пять групп потенциальных пользователей.



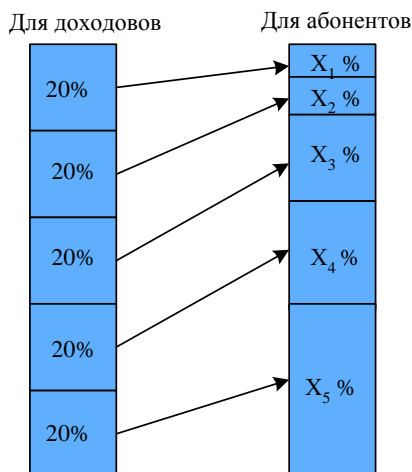


Рис. 4. Выделение пяти групп потенциальных пользователей

По записям, хранящимся в базе данных обслуженного трафика, легко определяются минимальные ( $D_{\text{MIN}}$ ) и максимальные ( $D_{\text{MAX}}$ ) доходы оператора. Следует отметить, что величина минимальных доходов может быть отрицательной. Разницу  $D = D_{\text{MAX}} - D_{\text{MIN}}$  необходимо разделить на количество выделенных групп. Для каждой группы элементарно определяется доля потенциальных пользователей ( $X_i$ ). Для среднестатистической сети справедливо такое неравенство:  $X_1 < X_2 < X_3 < X_4 < X_5$ .

Оператор очень заинтересован в удержании пользователей, входящих в группы  $X_1$  и  $X_2$ . Основные усилия конкурентов направлены на переключение в их сети клиентов, принадлежащих к этим же группам.

Сложность практического анализа заключается в том, что все пять величин  $X_i$  зависят от времени. Практический пример такой зависимости - строительство комплекса элитных жилых домов в границах пристанционного участка коммутационной станции ТФОП. В подобных случаях велика вероятность заметного роста величин  $X_1$  и  $X_2$ . Соответственно снижаются доли  $X_3$ ,  $X_4$  и  $X_5$ .

Диверсификация пользователей существенно усложняет принципы планирования сети доступа, разработанные для ТФОП, в которой не предполагались ни ощутимые различия между абонентами, ни изменения их требований к сети. При планировании сетей доступа в современной инфокоммуникационной системе необходимо учитывать процессы диверсификации пользователей. Сети доступа должны адаптироваться к меняющимся требованиям с минимальными затратами.

#### Четвертый аспект.

#### Поддерживаемые услуги

Для изложения соображений, касающихся сети доступа и поддерживаемых услуг, целесообразно воспользоваться моделью инфокоммуникационной системы, которая предложена МСЭ в рекомендациях серии Y.100. Она приведена на рис. 5. Над каждым элементом системы приведено название на русском языке. Те же названия на английском языке, используемые МСЭ, помещены снизу. Термин "Базовая сеть" был введен МСЭ недавно. Ранее этот элемент инфокоммуникационной системы назывался транспортной (Transport Network) или транзитной (Transit Network) сетью.

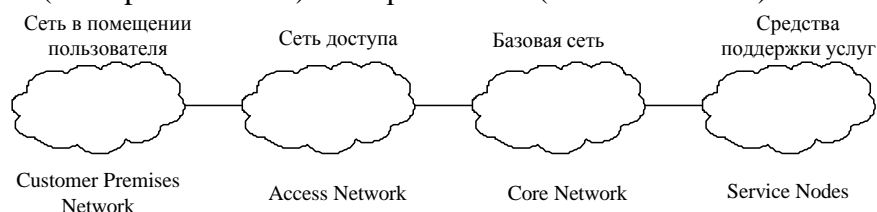


Рис 5. Модель инфокоммуникационной системы, предложенная МСЭ

Услуги, предоставляемые или поддерживаемые инфокоммуникационной системой, принято описывать с помощью атрибутов. Термин "атрибут" стал активно использоваться МСЭ при разработке рекомендаций по цифровой сети интегрального обслуживания. В отличие привычных для многих специалистов технических характеристик, атрибут может содержать утверждения в виде текста.

Из перечня атрибутов любой инфокоммуникационной услуги для сети доступа существенно некоторое подмножество, которое определяет пропускную способность, параметры тракта для обмена информацией и ряд других характеристик. Логика услуги важна для базовой сети и сети в помещении пользователей. Информация, относящаяся к логике услуги, сетью доступа не обрабатывается, что следует из текста рекомендации МСЭ G.902 [25].

Это свойство сети доступа можно рассматривать как своего рода "прозрачность" по отношению к процессам, специфицированным для верхних уровней модели взаимодействия открытых систем. Поэтому все изменения версий программного обеспечения, необходимые для расширения функциональных возможностей коммутационного оборудования, не будут приводить к росту стоимости сети доступа. Это утверждение справедливо и для новых версий программного обеспечения в оборудовании, расположенном в левой части модели инфокоммуникационной системы - сети в помещении пользователя.

Такое свойство сети доступа объясняет принятую большинством операторов зарубежных ТФОП практику использования АТС большой емкости [26]. Снижение общей численности коммутационных станций позволяет уменьшить расходы на модернизацию версий программного обеспечения.

Инвариантность сети доступа к логике поддерживаемых услуг, по всей видимости, сохранится и при переходе KNGN.

## Пятый аспект.

### Технологии доступа

Для модернизации сетей доступа разработано множество новых технологий, но по очевидным экономическим соображениям операторы ТФОП не спешат с заменой двухпроводных физических цепей. Новые технологии доступа можно классифицировать различными способами. Один из таких способов - деление технологий на две группы. Первая группа включает технологии, которые используют (полностью или частично) двухпроводные физические цепи. Технологии второй группы такой возможности не предусматривают. Предлагаемая классификация новых технологий доступа показана на рис. 6.

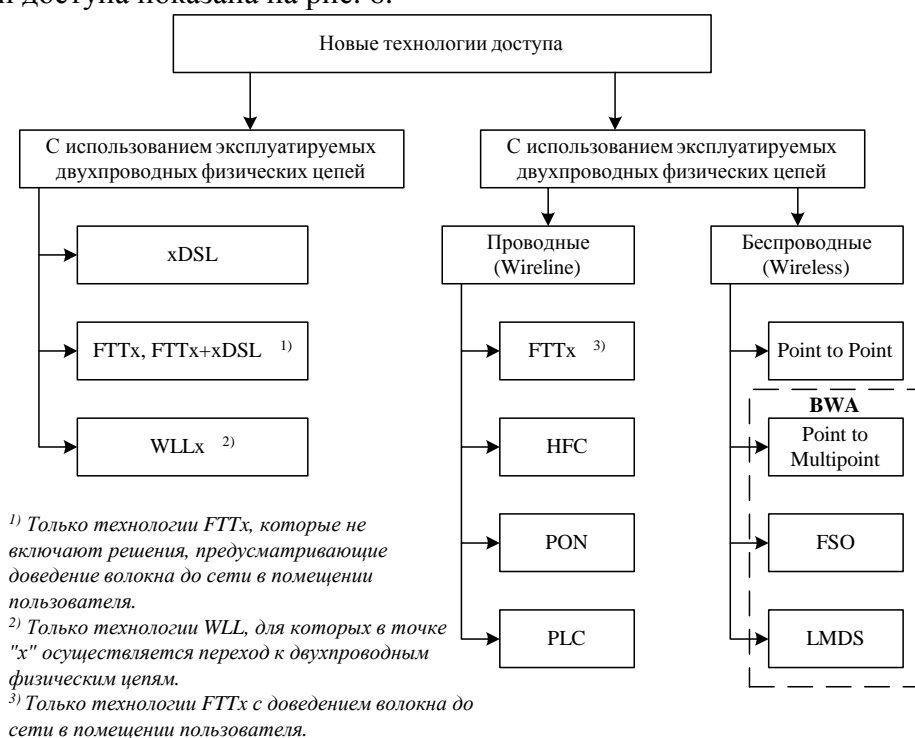


Рис. 6. Классификация технологий доступа

Технологии, образующие первую группу, интересны, по крайней мере, с двух точек зрения. Во-первых, они обеспечивают поддержку ряда новых Инфокоммуникационных услуг. Во-вторых, эти технологии позволяют снизить затраты

на модернизацию сети доступа, даже если платежеспособный спрос на новые услуги отсутствует.

Вопросы практического использования технологий, входящих в семейство xDSL [27], активно обсуждаются в российской и зарубежной технической литературе, а также на Интернет-сайтах. В настоящее время более популярны асимметричные цифровые тракты, создаваемые оборудованием ADSL, что объясняется основной областью применения рассматриваемого семейства технологий: доступ в Интернет. Ожидается, что в перспективе будут более активно использоваться симметричные тракты, создаваемые, в частности, оборудованием SHDSL [28]. Типичный пример их применения - объединение разнесенных офисов одной компании в единую сеть.

Технологии FTTx подразумевают доведение кабеля с оптическим волокном до некоторой точки "x", после которой информация передается с использованием иной среды распространения сигналов. Для первой группы технологий интересны те решения FTTx, для которых после точки "x" используется физическая двухпроводная цепь. Такой способ построения сети доступа может оказаться экономически выгодным, если в точке "x" устанавливается выносной концентратор цифровой коммутационной станции. Если некоторым пользователям необходим широкополосный доступ, то такая возможность может обеспечиваться сочетанием технологий FTTx и xDSL.

В некоторых случаях (чаще всего в сельской местности) применяются технологии беспроводных абонентских линий (WLL) в сочетании с физическими цепями. Существует несколько разновидностей технологий WLL, которые различаются способом разделения каналов (частотный, временной и кодовый), а также иными характеристиками.

Технологии, входящие во вторую группу, в свою очередь, делятся на два вида: проводные (wireline) и беспроводные (wireless). Для технологий первого вида на рис. 6 приведены четыре примера:

- подмножество FTTx, которое предназначено для доведения оптического волокна до сети, расположенной в помещении пользователя;
- комбинированная среда "волокно-коаксиал", известная по аббревиатуре HFC (способ, который был разработан и апробирован операторами кабельного телевидения);
- пассивная оптическая сеть PON, обеспечивающая широкополосные услуги для нескольких групп потенциальных клиентов;
- технология PLC, которая использует линии электропитания в качестве среды передачи сигналов через сеть доступа.

Технологии второго вида также представлены четырьмя примерами. Три последних примера образуют общее подмножество технологий BWA, которое ориентировано на поддержку широкополосных услуг.

Оборудование, использующее конфигурацию связи "Point to Point", применяется для организации тракта между двумя приемопередатчиками. Первое поколение оборудования "Point to Point" предназначалось для включения телефонного аппарата в абонентский комплект коммутационной станции. Среди специалистов такое оборудование получило название "радиоудлинитель".

Конфигурация "Point to Multipoint" обеспечивает подключение терминалов или выносных модулей, расположенных в зоне обслуживания соответствующей базовой станции. Первые системы "Point to Multipoint" были предназначены исключительно для телефонной связи. Широкополосные услуги ими не поддерживались. В настоящее время в большинстве систем, использующих конфигурацию "Point to Multipoint", предусмотрена поддержка широкополосных услуг. Характерным примером такого решения считается оборудование, соответствующее семейству стандартов IEEE802.16. Оно более известно по аббревиатуре WiMAX [29].

Следующий пример технологий беспроводного широкополосного доступа - системы лазерной связи, более известные по аббревиатуре FSO. Удачно отражает смысл этой технологии название статьи [30]: "Fiber Optics Without Fiber" - оптическое волокно без волокна. Для передачи сигналов используется лазер, луч которого распространяется в открытом пространстве.

Завершает перечень примеров беспроводного доступа технология LMDS (LMCS). Эта технология изначально была предназначена для подачи телевизионных программ. Из поддерживаемых услуг следует выделить "видео по заказу", которая в последние годы становится все популярнее. Функциональные возможности технологии LMDS позволяют обеспечить все виды связи, среди которых важная роль отводится высокоскоростному доступу в Интернет.

Появление новых технологий не означает, что подключение телефонных аппаратов по двухпроводным физическим цепям не будет применяться операторами ТФОП. Для тех абонентов, которым необходимы только услуги телефонной связи, такой вариант организации сети доступа вполне приемлем, если он экономически оправдан.

Термин "технология" был использован в этом разделе применительно к функциям по обмену информацией. Не менее интересны технологические аспекты, прямо или косвенно связанные с системами передачи и коммутации. Реализация концепции NGN

предполагает смену технологий коммутации. Это обстоятельство, в свою очередь, существенно влияет на выбор технологии передачи.

Большинство специалистов отдают предпочтение технологии Ethernet [31]. В ряде случаев оборудование Ethernet будет использовать цифровые тракты систем передачи синхронной иерархии (SDH). Образующаяся связка технологий получила название EoSDH (Ethernet over SDH). В новом поколении оборудования SDH предусмотрен порт Ethernet. Интерес к использованию сети SDH объясняется давно апробированными решениями, касающимися управления транспортными ресурсами и восстановления связи в случае отказов. Выбор технологии Ethernet обусловлен рядом причин, среди которых решающее значение отводится ожидаемому переходу к коммутации пакетов.

### **Шестой аспект.**

#### **Структура сети доступа**

Сети доступа, созданные операторами ТФОП в городах, основаны на типовых решениях, которые предусматривают выделение зоны прямого питания и нескольких шкафных районов [2, 32]. Структуры сетей доступа в городах очень похожи. Для сельской местности характерно большее число типовых решений по построению сетей доступа вследствие географических и демографических различий.

Интеграция всегда была свойственна сетям доступа [32]. Она породила изменение ряда базовых принципов, которые определяли построение сетей доступа. Переход к NGN стал катализатором этого процесса. Данное утверждение иллюстрирует рис. 7, на котором изображена модель перспективной сети доступа. Основным элементом модели - мультисервисный абонентский концентратор (МАК), поддерживающий подключение всех видов терминального оборудования. Он также обеспечивает выход в базовую сеть. Аббревиатура FTTR (R – remote) используется для обозначения тех способов применения технологии FTTx, когда кабель с оптическими волокнами прокладывается от опорного коммутатора базовой сети к удаленному модулю. В данном случае функции такого модуля выполняет МАК.

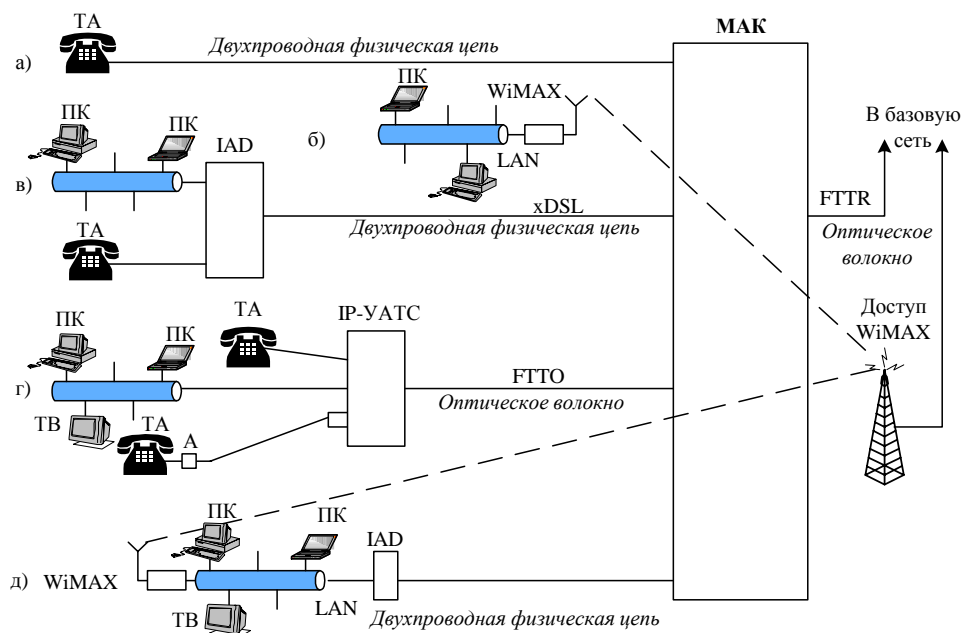


Рис. 7. Модель перспективной сети доступа

В верхней части модели показано включение обычного телефонного аппарата (ТА) по двухпроводной физической цепи. Такое решение будет вполне приемлемым для тех пользователей, которым необходима только телефонная связь.

Вариант (б) иллюстрирует одну из типичных ситуаций. Новая компания создает сеть в помещении пользователя на основе локальной сети (LAN), а линейно-кабельные сооружения для подключения к МАК отсутствуют. Тогда можно воспользоваться услугами другого оператора. Для выбранной модели показана возможность использования сети беспроводного широкополосного доступа, для которой выбран стандарт WiMAX.

Некоторые компании стали использовать устройства интегрированного доступа (IAD), обеспечивающие подключение различных видов терминального оборудования. Для варианта (в) показано включение одного телефонного аппарата и локальной сети, которая обеспечивает связь для персональных компьютеров (ПК). Связь IAD с концентратором осуществляется за счет оборудования xDSL, которое работает по физической цепи. Ряд стандартов позволяет улучшить характеристики качества передаваемой информации за счет использования нескольких физических цепей.

Вариант (г) основан на использовании учрежденческой АТС, которая базируется на IP-технологии (IP-УАТС). Телефонные аппараты в эту станцию подключаются двумя способами:

- по обычной двухпроводной физической цепи;

- через адаптеры (А), которые позволяют передавать информацию по линиям электропроводки (технология PLC).

В локальной сети показано устройство обмена телевизионными сигналами (ТВ). До концентратора предусмотрено использование кабеля с оптическим волокном. Буква "О" (Office) на последней позиции в аббревиатуре FTTO указывает на тот факт, что кабель с оптическим волокном проложен до офиса, то есть до границы с сетью в помещении пользователя.

В нижней части модели показано решение, которое можно считать комбинацией вариантов (б) и (в). Всем пользователям обеспечивается два независимых пути обмена информацией с базовой сетью:

- по цифровому тракту, образованному оборудованием xDSL, и далее через МАК;
- по цифровому тракту, созданному системой беспроводного широкополосного доступа, и далее через базовую станцию WiMAX.

Такое решение было предложено в [33] для обеспечения высокой надежности связи тем пользователям, которые готовы заключить с оператором соглашение об уровне обслуживания (SLA). Эти соглашения предусматривают повышение тарифов, но гарантируют пользователям более высокие показатели качества обслуживания, нарушение которых оператором оценивается заранее оговоренными денежными компенсациями.

Симбиоз проводных (wireline) и беспроводных (wireless) технологий, который для краткости можно назвать "W+W", позволяет повысить надежность связи. Это решение подчеркивает эффективность взаимного дополнения двух видов доступа. Обычно проводные и беспроводные технологии рассматриваются как конкурирующие решения.

Модель сети доступа, показанная на рис. 7, позволяет рассматривать различные варианты подключения терминального оборудования в МАК. Для иллюстрации различных структур, позволяющих реализовывать сети доступа, лучше использовать другие модели. Они обычно состоят из двух плоскостей. В нижней плоскости обычно изображаются принципы организации транспортных ресурсов. Верхняя плоскость содержит схему связи между центром сети доступа, функции которого в ТФОП выполняет АТС, и выносными концентраторами.

На рис. 8 показана двухплоскостная модель сети доступа, в которой транспортные ресурсы образуются за счет организации четырех колец, пронумерованных римскими цифрами. Каждое кольцо объединяет несколько мультиплексоров выделения каналов



(МВК). Семнадцатый МВК не входит ни в одно из колец; такая ситуация может быть обусловлена рядом причин экономического и организационного порядка. Каждый МВК расположен на одной площадке с выносным концентратором (К). Их номера в обеих плоскостях совпадают. Сетевой узел (СУ) находится в одном здании с АТС.

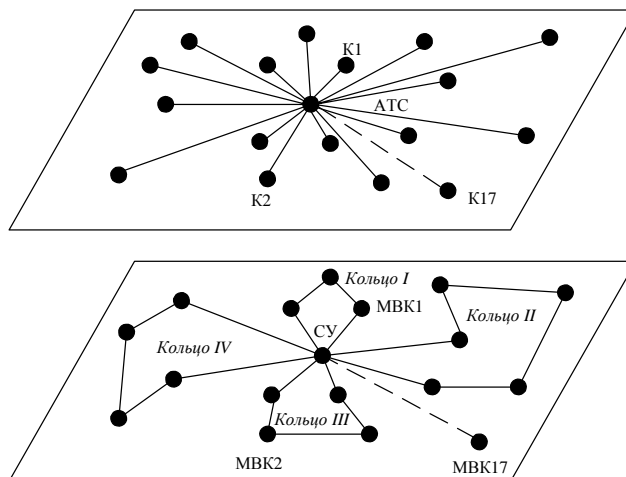


Рис. 8. Модель сети доступа с четырьмя кольцами для создания транспортных ресурсов

За счет полупостоянных соединений в коммутационных матрицах МВК могут быть сформированы различные структуры для связи АТС с концентраторами [7]. Обычно реализуется топология "звезда" [2, 7], которая показана в верхней плоскости рис. 8. Между каждым концентратором (кроме семнадцатого) и АТС существуют два пути обмена информацией, которые независимы с точки зрения теории надежности. На рис. 9 эти пути обозначены буквами "а" и "б".

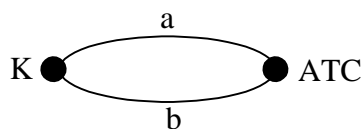


Рис. 9. Связь АТС с концентратором

Для первого концентратора, расположенного на одной площадке с МВК1, путь "а" не содержит транзитных участков в транспортной сети (полупостоянных соединений в коммутационных матрицах других МВК). Путь "б" проходит через два транзитных МВК. Для второго концентратора оба пути к АТС содержат транзитные МВК - один и два соответственно. Самая низкая надежность связи с АТС свойственна концентратору под семнадцатым номером (соответствующее направление показано штрихпунктирной линией в обеих плоскостях). На рис. 10 представлена другая двухплоскостная модель сети доступа, в которой транспортные ресурсы образуются за счет организации двух

колец - внутреннего и внешнего. Предполагается, что семнадцатый МВК, как и в предыдущей модели, не входит ни в одно из колец.

Связь СУ с каждым из колец показана пунктирными линиями. Таких связей может быть две (как показано в нижней плоскости предложенной модели) или более, что определяется требуемой надежностью связи между концентраторами и опорной АТС.

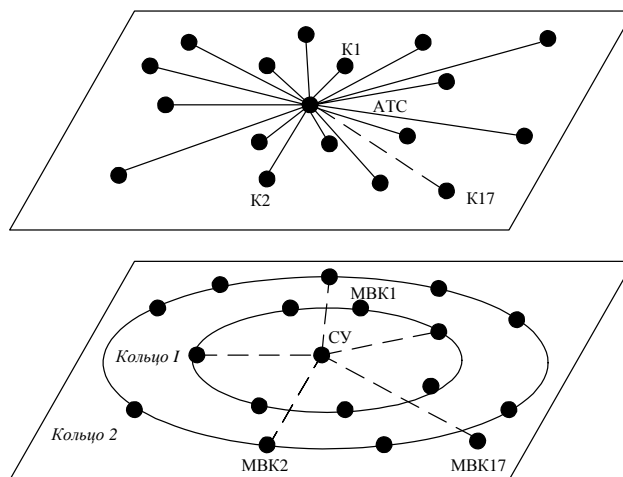


Рис.10. Модель сети доступа с внутренним и внешним кольцами для создания транспортных ресурсов

Граф с двумя вершинами и двумя ребрами, показанный на рис. 9, можно считать универсальной моделью для оценки надежности связи между концентратором и АТС. Выделение независимых путей "а" и "б" для модели сети доступа с внутренним и внешним кольцами осуществляется аналогично. Отличие заключается в численности транзитных МВК. В модели с внутренним и внешним кольцами численность транзитных МВК может быть весьма существенной, что в ряде случаев требует дополнительных связей для обеспечения заданной надежности сети доступа.

Обе модели сети доступа, которые представлены на рис. 8 и 10, инвариантны к технологиям передачи и коммутации. Правда, оптимальная структура сети доступа для различных технологий передачи и коммутации может содержать неодинаковое количество выносных концентраторов.

### Седьмой аспект.

#### Географические особенности сетей доступа

Сети доступа, созданные в ГТС, имеют различия, которые определяются многими факторами. Среди этих факторов заметную роль играли градостроительные принципы, численность обслуживаемых абонентов и проектные решения. Тем не менее большинство сетей доступа, эксплуатируемых в российских городах, имеют много общего.

Для сельских телефонных сетей (СТС) подобное утверждение трансформируется следующим образом: можно выделить совокупность типичных схем построения сетей доступа. Каждая из этих схем мало похожа на другие. На рис. 11 показаны четыре варианта распределения потенциальных абонентов СТС, которых необходимо подключить к оконечной станции (ОС). Для всех вариантов территория пристанционного участка идентична.

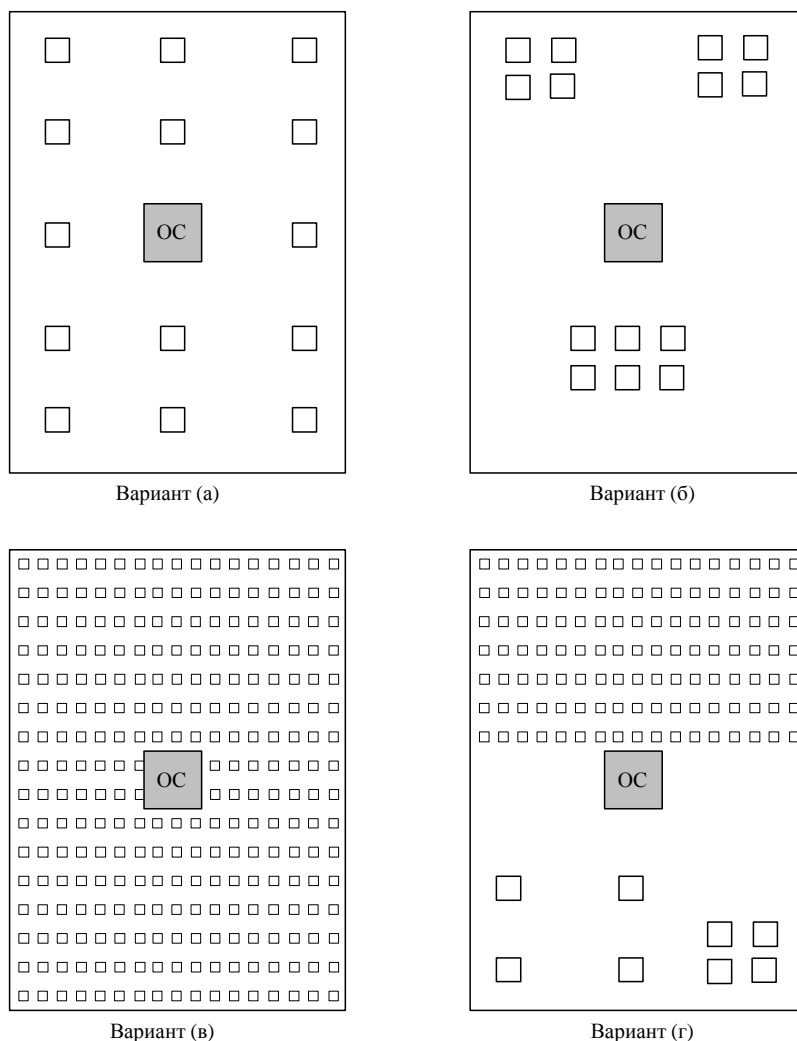


Рис. 11 Четыре варианта распределения потенциальных абонентов

Варианты (а) и (б) часто встречаются в тех субъектах Российской Федерации, где доминируют сравнительно большие населенные пункты. Распределение этих населенных пунктов по территории пристанционного участка для вариантов (а) и (б) различно. Как правило, для пристанционных участков, модель которых соответствует варианту (б), затраты на сеть доступа ниже.

Вариант (в) соответствует сельским районам с преобладанием малочисленных пунктов. Их телефонизация с использованием проводных средств связи требует больших затрат.

Очевидно, что для варианта (в) большой интерес представляют различные сценарии применения технологий беспроводного доступа.

Часто в границах одного пристанционного участка можно выделить все три вида распределений потенциальных абонентов, рассмотренных выше. Вариант (г) - типичный пример именно такой ситуации. Разработка оптимальных решений по построению сетей доступа для варианта (г), как правило, представляет собой самую сложную задачу.

Сложность проектирования сетей доступа для СТС заключается еще и в том, что предлагаемые решения плохо "масштабируются". Оптимальные проектные решения для идентичных распределений потенциальных абонентов, различающихся только площадью (даже не формой) пристанционного участка, зачастую не совпадают.

Изучение влияния географических факторов представляется весьма продуктивным, так как затраты на сеть доступа в сельской местности очень существенны. Это можно проиллюстрировать с помощью двух кривых, приведенных на рис. 12. Эти кривые позволяют оценить область эффективного применения различных систем доступа в зависимости от поверхностной плотности размещения абонентов ( $\sigma$ ). Результаты были получены специалистами из университета штата Кентукки в процессе проведения исследований по программе развития сельской связи [34].

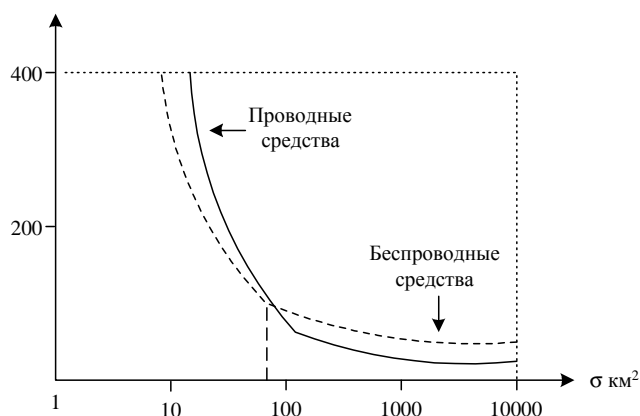


Рис. 12. Влияние поверхностной плотности распределения потенциальных абонентов на стоимость сети доступа

Поверхностная плотность населения в России составляет в среднем 8,6 человека на один квадратный километр. Более того, ни в одном федеральном округе эта величина не превосходит значения  $\sigma_0$ , свыше которого средства проводной связи становятся более эффективными с точки зрения удельных затрат на подключение абонента.

Ход обеих кривых в области очень Низких значений поверхностной плотности размещения потенциальных абонентов свидетельствует о том, что для отдаленных пунктов в сельской местности стоимость сети доступа достигает огромных величин. В отчете МСЭ [35] проведено изучение различных аспектов организации связи в отдаленных пунктах. Эффективными решениями в [35] были названы беспроводные IP-технологии. Заметная роль отводится и системам спутниковой связи.

## Резюме

Перечень актуальных задач, прямо или косвенно относящихся к тематике "Сети доступа", обширен. Большинство из этих задач - применительно к новым тенденциям развития инфокоммуникационной системы - можно отнести к нерешенным. Если в семи разделах этой статьи читатель, склонный к исследовательской работе, найдет пищу для размышлений, то цель, которую поставил перед собой автор, будет достигнута.

## Литература

1. Мархай Е.В. Основы технико-экономического проектирования городских телефонных сетей. - М.: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1953.
2. Жданов И.М., Кучерявый Е.И. Построение городских телефонных сетей. - М.: Связь, 1972.
3. От мастерских до акционерного общества. АО "Лентелефонстрой". -СПб.: Концерн "Связьстрой", 1994.
4. Развитие связи в СССР. Под редакцией Н.Д. Псурцева. - М.: Связь, 1967.
5. CCITT manual "Local Network Planning". - ITU, Geneva, 1979.
6. ITU-TS. Introduction of New Technologies in Local Networks. - Geneva, 1993.
7. Соколов Н.А. Телекоммуникационные сети. Глава 2. - М.: Альварес Пабблишинг, 2003.
8. Гольдштейн Б.С. Системы коммутации. - СПб.: БХВ, 2003.
9. Пинчук А.В., Соколов Н.А. Мультисервисные абонентские концентраторы для функциональных возможностей "Triple-Play Services"/Вестник связи. 2005. № 6.
10. Варакин Л.Е. Введение к книге "Связь России в XXI веке". - М.: Международная академия связи, 1999.
11. Варакин Л.Е., Соколов Н.А. Универсальная персональная связь//Электросвязь. 1993. № 7.
12. Crawford M., Verheye D. Residential Service Aggregation in the Second Mile//Alcatel Telecommunications Review, 2nd Quarter 2003.
13. Vanston L.K., Hodges R.L. Technology forecasting for telecommunications//Elektronikk. 2004. Volume 100. No. 4.

14. Афанасьев В.В., Горностаев Ю.М. Эволюция мобильных сетей. -М.: "Связь и бизнес", 2001.
15. Даанс Л., Масколо В., Фонтана М. Конвергентные транспортные сети//Технологии и средства связи. 2005. № 1.
16. ISO Standards Compendium "ISO 9000 Quality Management, Sixth Edition", 1996.
17. Karlson B., Bria A., Lind J., Lonnqvist P., Norlin C. Wireless Fores-ighf. - Wiley, England, 2003.
18. Соколов Н.А. Телекоммуникационные сети. Глава 4. - М.: Альварес Пабблишинг, 2004.
19. Haidar M. Wireless Local Loop and the Techno-Economic Considerations in its Implementation//INTER COMM ® 97. Congress Proceedings.
20. Yilmaz G., Durusoy G. Studies on Application Possibility of Local Telephone Cables for 2 Mbit/s ISDN Tran-smission//ITC'96 Conference Record, Vol. 1, Istanbul-Tiirkiye, April 1996.
21. Дмитриева С.А., Соколов Н.А. Структурные характеристики сельских сетей//Сборник научных трудов ЦНИ-ИС "Сети с интеграцией служб". 1990.
22. Hedfors B. The future is now//Proceedings "Global Communications Asia 2001".
23. Van Doorselaer B., Coppens T. Broadband Gaming: It Is a Serious Business//Alcatel Telecommunications Review. 2<sup>nd</sup> Quarter 2003.
24. Scott D.W. Multivariate Density Estimation. Theory, Practice, and Visualization. - Wiley, 1992.
25. ITU-T. Framework Recommendation on functional access networks. Architecture and functions, access types, management and service node aspects. Recommendation G.902 - Geneva. 1995.
26. Перспективные телекоммуникационные технологии. Потенциальные возможности. - Под редакцией Л.Д. Реймана, Л.Е. Варакина. - М.: МАС, 2001.
27. Горальски В. Технологии ADSL и DSL. - М.: Издательство "Лори", 2000.
28. Угрюмов В.В., Сметанин С.Б. Новейшая технология передачи данных и телефонии по одной медной паре//Вестник связи. 2003. № 6.
29. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети.- М.: Издательский дом "Вильяме", 2003.
30. Willebrand H.A., Ghuman B.S. Fiber Optics Without Fiber//IEEE Spectrum. August 2001.
31. Нойман П., Пискалар В. Доступ по Ethernet на подходе//Журнал сетевых решений LAN. 2005. Февраль.
32. Соколов Н.А. Сети абонентского доступа. Принципы построения. - Пермь: "Энтерпрофи", 1999.
33. Sokolov N., Alter A. Broadband Wireless Access and Communications Reliability Provision//Proceedings of the Moscow International Conference "Broadband Russia & CIS Summit", Moscow, 2004.
34. Egan B.L. Improving Rural Telecommunications Infrastructure. - Paper prepared for TVA Rural Studies University of Kentucky.
35. ITU-D. New Technologies for Rural Applications. - Final Report of ITU-D Focus Group 7, 2000.