

Лабораторная работа № 7

Нагрузка сетей доступа

Одной из самых проблемных и динамично развивающейся частей современных сетей связи является доступ пользователей и абонентов к узлам связи транспортных сетей для предоставления телекоммуникационных услуг. При этом наблюдаются следующие тенденции развития доступа:

- использование существующей инфраструктуры низкочастотных медных линий для предоставления доступа к узкополосным и широкополосным услугам средствами модемов цифровых абонентских линий xDSL (Digital Subscriber Line) в разновидностях симметричных, асимметричных и высокоскоростных линий (HDSL, ADSL, VDSL), в которых могут передаваться сигналы на скоростях от десятков кбит/с до десятков Мбит/с (64 кбит/с – 50 Мбит/с) на относительно небольших расстояниях от десятков и сотен метров до нескольких километров;

- использование технологий: «волокну в дом», «волокну в распределительный шкаф», «волокну в офис» и т. д., обозначаемых FTTx (Fiber To The Home, ...), например, пассивной оптической сети PON (Passive Optical Network), основанных на сети волоконно-оптических линий, для организации доступа к любым видам услуг;

- использование технологий радиодоступа RLL (Radio Local Loop) для фиксированного и мобильного, узкополосного и широкополосного доступа с разделением радиочастотных ресурсов по спектру частот, по времени, кодовым разделением, пакетной передачей; пример последнего – технология WiMAX.

Плоскость пользовательских услуг отражает все известные и востребованные услуги электросвязи, к которым относятся:

- телефония с коммутацией каналов и IP-телефония (Voice),
- видеосвязь, видеоконференции,
- Интернет, электронная почта,
- звуковое вещание,
- цифровое телевидение,
- и т.д.

Для реализации услуг необходимы различные терминалы для пользователей. Это и обычные телефонные аппараты, теле- и радиоприемники, терминалы сетевых подключений цифровых сетей с интеграцией услуг (ЦСИУ) или служб (ЦСИС) – ISDN (Integrated Services Digital Network), персональные компьютеры и т. д.

В связи с качественными изменениями, происходящими в развитии современных телекоммуникационных сетей (ТКС), и в частности с созданием мультисервисных сетей, осуществляется внедрение современных технологий и на абонентских сетях доступа. Новые концептуальные подходы к их построению приводят к тому, что понятие "абонентская линия" уже не отражает самой сути элемента сети электросвязи между терминалом пользователя и коммутационной станцией. Поэтому появился новый, принятый уже в международных стандартах и рекомендациях термин **"Access Network"** – **"сеть доступа"**. В отечественных концепциях ТКС чаще используется словосочетание **"сеть пользовательского (абонентского) доступа" (САД)**, что дает более четкое

представление о соответствующем фрагменте телекоммуникационной системы. На рис. 1 показан фрагмент телекоммуникационной сети с выделенными типовыми элементами САД [20, 21].

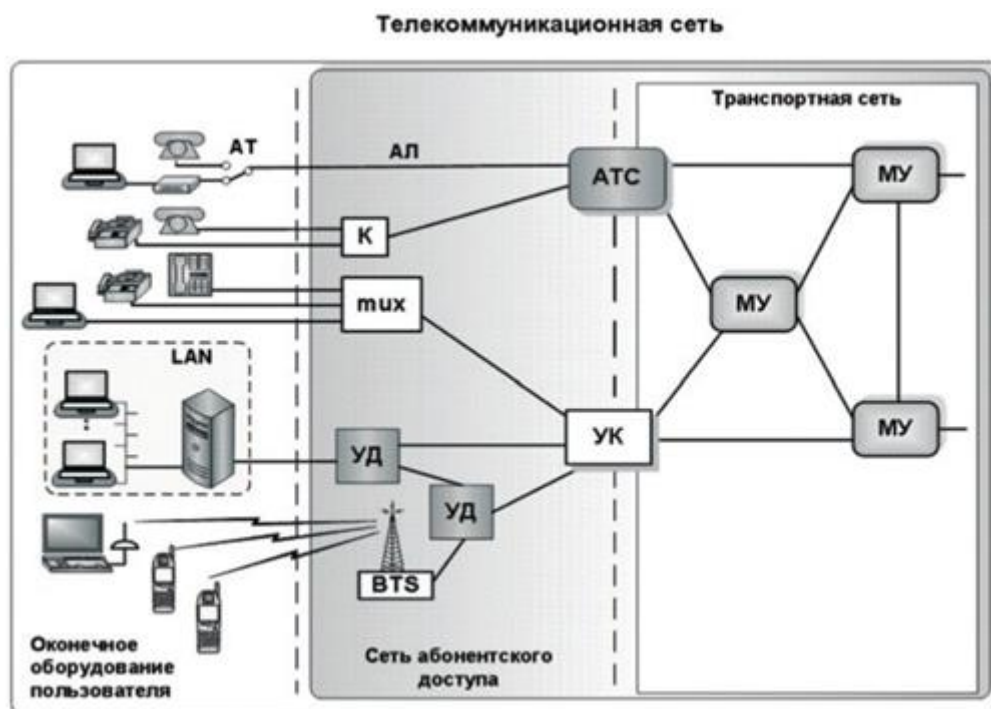


Рисунок 1 - Типовая структура и состав сетей абонентского доступа

Абонентская сеть в простейшем случае состоит из трех основных элементов:

- абонентского (пользовательского) терминала (АТ);
- абонентской (пользовательской) линии (АЛ);
- узла коммутации (УК).

В общем случае под сетями пользовательского (абонентского) доступа понимается совокупность линий, конечных и промежуточных узлов, включаемых в коммутационное оборудование транспортной сети непосредственно или через выносной модуль (концентратор, мультиплексор) [20, 21].

Структурно САД располагается между оборудованием, помещающемся непосредственно в месте расположения абонентов (пользователей), и транспортной сетью. Границей между САД и терминальным оборудованием может быть распределительная коробка или розетка, к которой подключается АТ. Граница между САД и транспортной сетью проходит в месте установки УК, в абонентские комплекты которого входят подключаемые АЛ [20].

На рис. 2 представлена модель САД, основанная на новых подходах к ее построению. В соответствии с этой моделью, САД состоит из двух узловых элементов. Первый представляет собой совокупность подсетей АЛ, образующих сеть АЛ, а второй – непосредственно подсеть доступа (именуемую еще базовой сетью, распределительной сетью или сетью переноса). Каждая подсеть АЛ обеспечивает подключение абонентов (пользователей) к узлу доступа (УД) или УК непосредственно или через мультиплексор [20].

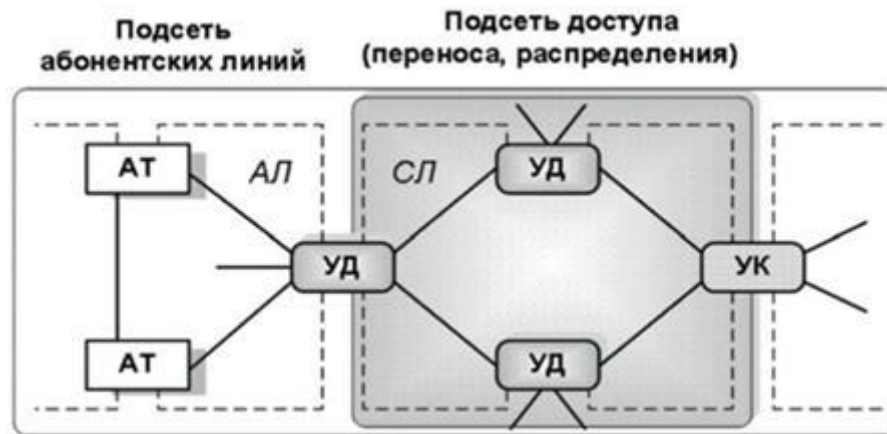


Рисунок 2 - Модель сети абонентского доступа

Проблема «последней мили»

Проблемные вопросы абонентского доступа

Проблему абонентского доступа к услугам телекоммуникационной сети на участке «абонентский терминал – узел доступа» с тем же качеством, что и непосредственно в телекоммуникационной сети, принято называть проблемой «последней мили» [20].

Сети абонентского доступа с малой пропускной способностью (низкой скоростью передачи информации и соответственно с узкой полосой пропускания – «узким горлышком бутылки») в настоящее время перестали обеспечивать растущие потребности пользователей. Поэтому во многих странах мира построение высокоскоростных, то есть широкополосных, сетей доступа стало приоритетным направлением их развития.

Различные концептуальные решения по этому направлению разрабатывались в международных организациях. Так, например, в отчете МСЭ-Т за 2001 г. **широкополосный доступ** (ШПД) определяется как возможность передачи с достаточной полосой пропускания, позволяющей предоставлять услуги голосовой связи, передачи данных и видео в одном потоке. Более точные требования к полосе пропускания определяются используемыми абонентом приложениями: такими как электронная почта, просмотр Web-страниц, загрузка аудио- и видеоклипов, игры on-line (infotainment – информация и развлечения), видеоконференции, интерактивное телевидение, доступ к дискуссионным группам и базам данных и т.п.

Исследователями и разработчиками международных организаций и промышленных компаний в последние годы формировались различные концептуальные положения по решению проблемы «последней мили». Эти положения базируются на ряде технологий, физической основой для которых способны стать как проводные, так и радиосреды передачи [20].

Специальные технологии абонентского доступа прежде всего нацелены на образование цифровых каналов на основе доступной физической среды, разновидности которой можно разделить на две группы [20].

1. Физические среды проводного доступа [20]:

- оптическое волокно;
- коаксиальный медный кабель;
- витая пара (тоже медный кабель).

2. Физические среды беспроводного доступа [20]:

- оптические электромагнитные волны;

- радиоволны (тоже электромагнитные);
- звуковые (акустические) волны (неэлектромагнитные).

Перспективные концепции построения САД ориентируются, в основном, на физические среды, позволяющие передавать высокоскоростные потоки информации, то есть, прежде всего – на оптоволокно.

Направления решения проблемы «последней мили»

Главной движущей силой развития технологий абонентского доступа становятся новые информационные потребности абонентов (пользователей) в услугах электросвязи. При этом с одной стороны (со стороны сети) появились службы, готовые удовлетворить данные потребности (в основном, в виде соединений с заданным качеством отдельных абонентов и в виде предоставления доступа к общим информационным ресурсам), а с другой стороны (со стороны абонентов) остались преимущественно старые физические линии доступа, не способные реализовать новые потребности.

Выделяют три направления удовлетворения новых информационных потребностей пользователей за счет развития технологий абонентского доступа [20]:

1. увеличение скорости передачи и предоставление новых услуг тем абонентам, которые уже имели доступ к сети, и в тех точках доступа, которые уже существовали ранее;
2. подключение новых абонентов в тех местах, где прежде не было точек подключения, с предоставлением полного набора современных услуг;
3. подключение подвижных абонентов и предоставление им сервисов, соизмеримых по качеству с услугами, которые предоставляются фиксированным абонентам.

Если первые два направления не исключают «персональную мобильность абонентов», перемещающихся между фиксированными точками доступа (подключения), то третье направление призвано обеспечить «мобильность терминалов». В целом же от сети абонентского доступа требуется гарантировать персональный доступ к любым информационным и телекоммуникационным услугам любым абонентам – независимо от их местонахождения, то есть обеспечить персональную глобальную связь по принципу «всегда и везде».

В настоящее время наметились четыре наиболее характерных пути решения проблемы «последней мили» [20].

1. **Строительство ВОЛС на абонентском участке.** Строительство волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) на участке «последней мили» имеет ряд очевидных достоинств и соответствует перспективным концепциям. Стоимость оптического кабеля (ОК) неуклонно снижается, причем оптические АЛ служат достаточно долго и не требуют особого внимания. Однако для прокладки кабеля необходимы трудовые и временные затраты специально подготовленных работников, а также недешевое окончное оборудование приема/передачи и мультиплексирования, что увеличивает стоимость АЛ.
2. **Прокладка медно-кабельных абонентских линий.** Это традиционное решение имеет ряд положительных моментов: простое проектирование,

наличие опытного персонала по строительству и эксплуатации, приемлемая стоимость. Основные недостатки: дорогое обслуживание и ограниченная – по сравнению с ВОЛС – пропускная способность при тех же трудовых и временных затратах на строительные работы. В последнее время отмечается еще один "специфический" недостаток – привлекательность медных кабелей для сборщиков металлолома.

3. Уплотнение существующих (медно-кабельных) абонентских линий. Идея уплотнения АЛ родилась давно. Аналоговое оборудование высокочастотного уплотнения широко используется в телекоммуникационных сетях до сих пор. Однако своим подлинным развитием данное решение обязано появлению цифровых абонентских линий ЦАЛ (DSL – Digital Subscriber Loop или Line). Технологии xDSL (где x является обобщенным символом различных аббревиатур, соответствующих различным вариантам DSL) позволили организовать высокоскоростную цифровую передачу по существующим АЛ.

Технологии DSL открыли новые возможности для предоставления коммуникационных услуг, так как полоса пропускания абонентского шлейфа теперь не ограничивается 4 кГц, как это было в традиционной аналоговой телефонии. Расширить полосу пропускания оказалось реальным с помощью специальных линейных кодов и техники цифровых сигнальных процессоров. Технологии DSL используют различные схемы линейного кодирования: CAP, 2B1Q, PAM и др. Линейное кодирование – это алгоритм преобразования сигнала, предназначенный для надежной помехоустойчивости передачи данных по медному проводу. Например, новая технология линейного кодирования Trellis Coded – PAM (TC-PAM), лежащая в основе нового перспективного стандарта SHDSL, уменьшает мощность сигнала, увеличивает дальность передачи и позволяет кодировать больше данных внутри частотного спектра [20, 22].

Допустимая длина ЦАЛ, как правило, составляет не более 5-6 км (в случае диаметра жилы кабеля 0,4-0,5 мм). Используя регенераторы, несложно увеличить допустимую длину ЦАЛ. "Допустимой" обычно считается длина, при которой вероятность ошибки на бит не превышает 10^{-7} . Существуют и более строгие международные и российские ведомственные нормативы, разработанные для цифровых первичных сетей, которые часто применяют для оценки пригодности ЦАЛ.

Дополнительным резервом построения САД на базе существующих проводных «абонентских линий» служат [20]:

- проводная разводка радиоточек;
- линии электропередач (например, известны технологии X.10 и DPL – Digital Power line, которая позволяет передавать данные по электропроводке со скоростью до 1 Мбит/с и др.);
- сети кабельного телевидения (во многих городах уже применяются для доступа в Интернет).

4. Использование технологий беспроводного абонентского доступа. В последнее время значительно возрос интерес к технологиям беспроводного абонентского доступа, именуемым WLL-технологиями (Wireless Local Loop). Более распространенные технологии радиодоступа (в отличие от технологий оптического беспроводного доступа) сокращенно называют RLL (Radio Local Loop) [20].

Технологии беспроводного абонентского доступа имеют бесспорное преимущество перед проводными решениями [20]:

- применение в местах отсутствия кабельной инфраструктуры, а также в труднодоступных и малонаселенных районах;
- быстрое развертывание и ввод в эксплуатацию,
- организация доступа в любом месте (в пределах зон покрытия),
- поддержание связи при движении абонентов.

Главные недостатки WLL – ограниченная пропускная способность и относительно высокая стоимость в расчете на одного абонента, а также традиционные для радиосвязи проблемы «открытости» к внешним воздействиям.

В настоящее время существует огромное множество WLL-технологий, которые условно разделяются на две большие группы [20]:

- фиксированной связи,
- подвижной связи.

Традиционно аббревиатуру WLL применяют в узком смысле для обозначения первой группы технологий – фиксированного беспроводного абонентского доступа. Технологии же подвижной, или иначе мобильной, связи обычно рассматривают как самостоятельную группу технологий, среди которых принято различать технологии сотовой, транкинговой, пейджинговой и спутниковой связи.

Очевидно, что подвижную связь всегда можно использовать как фиксированную. Обратное же не всегда приемлемо. С другой стороны, фиксированная связь позволяет обеспечить предоставление широкополосных услуг с качеством, соизмеримым с качеством услуг, предоставляемых проводными технологиями, что пока не в состоянии позволить себе подвижная связь.

Технологии решения проблемы «последней мили»

Технологии обеспечения доступа к транспортным сетям можно разделить на три категории, в зависимости от того, какая физическая среда используется для передачи данных [23]:

- витая пара телефонных проводов;
- оптико-волоконные кабели (к этой категории также следует отнести системы, в которых вместе с оптико-волоконными кабелями используются также и коаксиальные кабели);
- беспроводные системы (например, системы сотовой, радиорелейной или спутниковой связи).

Рассмотрим все три категории более подробно, причем начнем в обратном порядке.

1. Беспроводные системы доступа. Развитие беспроводных систем доступа идет в двух основных направлениях [23]:

- системы персональной сотовой связи, которые позволяют обеспечить доступ мобильных пользователей (рисунок 4),
- наземные радиорелейные системы на СВЧ,
- спутниковые системы (рисунок 5).

2. Системы доступа основанные на новых и уже существующих оптоволоконных и коаксиальных кабелях [23]:

- оптоволоконные системы передачи,
- сети кабельного телевидения,
- телефонные сети связи на витой медной паре.



Рисунок 4 - Доступ в транспортную сеть может быть организован посредством существующей системы сотовой связи



Рисунок 5 - Спутниковая система связи с асимметричным каналом связи



Рисунок 6 - Гибридная система кабельного телевидения, построенная на комбинации оптоволоконных и коаксиальных кабелей

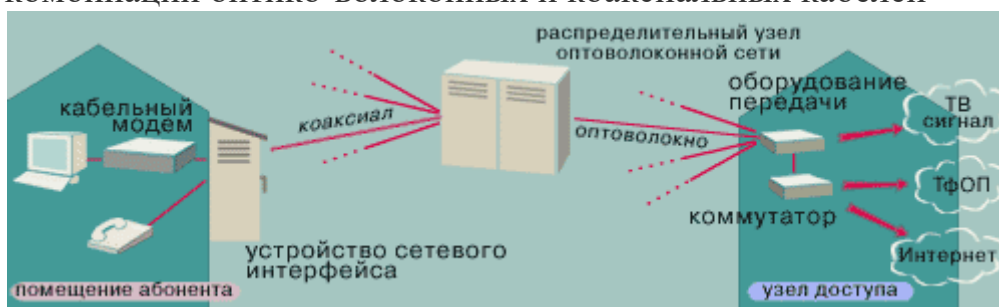


Рисунок 7 - Система кабельного телевидения, позволяющая организовать высокоскоростную передачу данных в обоих направлениях

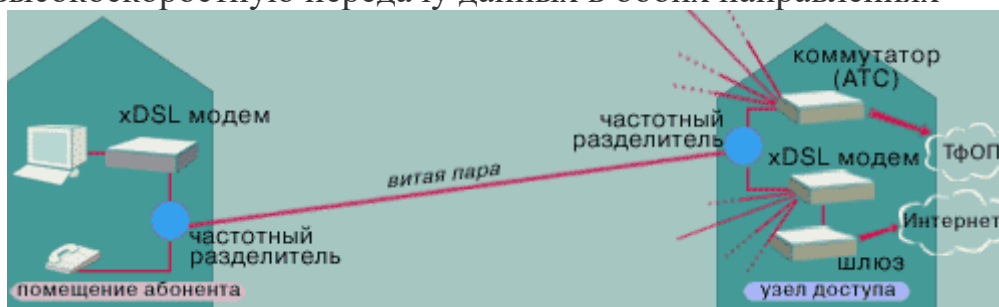


Рисунок 8 - Организация доступа по существующим телефонным проводам по технологии xDSL

Классификация и краткая характеристика технологий проводного абонентского доступа

В соответствии с работой [24] технологии проводного абонентского доступа можно разбить на пять основных групп по критерию среды передачи и категориям пользователей (рис. 9).

- **LAN (Local Area Network)** – технологии предоставления корпоративным пользователям услуг доступа к ресурсам локальных вычислительных сетей и использующих в качестве среды передачи структурированные кабельные системы категорий 3, 4 и 5, коаксиальный кабель и оптоволоконный кабель.

- **DSL (Digital Subscriber Line)** – технологии предоставления пользователям ТфОП услуг мультимедиа и использующих в качестве среды передачи существующую инфраструктуру ТфОП.

- **Кабельное телевидение (КТВ)** – технологии, предоставления пользователям сетей КТВ мультимедийных услуг (за счет организации обратного канала) и использующих в качестве среды передачи оптоволоконный и коаксиальный кабели.

- **Optical Access Networks (OAN)** – технологии предоставления пользователям широкополосных услуг, линии доступа к мультимедийным услугам и использующих в качестве среды передачи оптоволоконный кабель.

- **Сети коллективного доступа (СКД)** – гибридные технологии для организации сетей доступа в многоквартирных домах; в качестве среды передачи используется существующая в домах инфраструктура ТфОП, радиотрансляционных сетей и сетей электропитания.

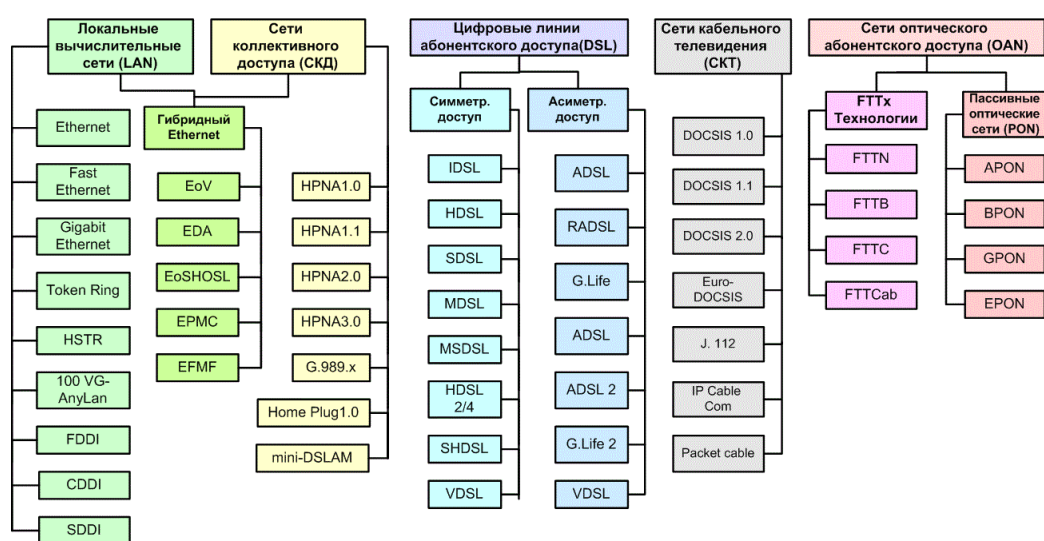


Рисунок 9 - Классификация технологий проводного доступа

Абонентские мультиплексоры и концентраторы входят в номенклатуру оборудования практически каждой из цифровых АТС, рассмотренных в главах 5 и 6, а индивидуальные особенности этих АТС не противоречат упрощенной структуре, приведенной на рис. 7.2, которая в одинаковой степени соответствует как концентратору, так и мультиплексору.

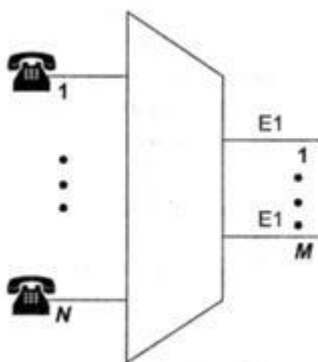


Рис 72 Цифровой абонентский концентратор $N=30M$

Различие определяется тем, как соотносятся числа M и N . Когда то речь идет о мультиплексоре, т.е. нентский концентратор/ концентрация нагрузки отсутствует, мультиплексорпотери из-за отсутствия свободных каналов исключены, поскольку число абонентских терминалов равно числу используемых временных каналов, а экономический эффект достигается за счет уменьшения затрат на линейно-кабельные сооружения. Когда же $L > 30M$, речь идет о концентрации нагрузки. Концентратор дает еще большую экономию на линейно-кабельных сооружениях, к этому добавляется и экономия коммутационного оборудования, но на участке сети абонентского доступа допускаются потери вызовов. Отношение $30M$ к L называется коэффициентом концентрации, который может иметь, например, значения 4:1 или 8:1.

В качестве примера упомянем абонентские цифровые концентраторы АЦК-1000, почти 10 лет выпускавшиеся заводом «Красная Заря» для станций ДХ-200 и АТСЦ-90, а затем рассмотрим последнюю отечественную разработку следующего поколения - мульти-сервисные абонентские концентраторы МАК.

Абонентские концентраторы устанавливаются в помещении опорной АТС, а также в жилых домах, в помещениях других АТС, в специальных помещениях или в перевозимых контейнерах. Максимальная емкость АЦК-1000, в частности, составляет до 1024 абонентских линии, а МАК - до 4320 абонентских линий на один статив. Эти мультисервисные концентраторы МАК следующего поколения выполняют все функции АЦК-1000, позволяя также работать с современными цифровыми АТС любых типов, имеющими интерфейсы V5.2 или PRI, взаимодействовать с IP-сетями и поддерживать про-водный, беспроводный и оптический доступ в любых сочетаниях.

Применение МАК в сельских и городских телефонных сетях традиционных операторов ТфОП с подключением его к опорным цифровым АТС через стандартный интерфейс V5.2 позволяет снизить затраты на абонентскую кабельную сеть за счет концентрации абонентской нагрузки. В мультисервисных сетях следующего поколения подключение МАК к Softswitch выполняется по протоколам MGCP, MEGACO/H.248, а также SIP о чем будет сказано в следующей главе.

Оборудование МАК работает с терминалами следующих типов:

- аналоговые телефонные аппараты, а также аппараты факсимильной связи и модемы;
- терминалы ISDN;
- интегрированные устройства доступа IAD на основе технологии SHDSL, предусматривающие предоставление услуг как симметричной высокоскоростной передачи данных (до 2 Мбит/с), так и телефонии (VoDSL); электропитание таких устройств может быть как местным так и дистанционным, что обеспечивает более высокую надежность.

Общей проблемой любых концентраторов является их техническое обслуживание, осуществляемое по очевидным технико-экономическим причинам из единого центра эксплуатационного управления. Интерфейс оператора технической эксплуатации современной сети доступа выполнен на основе Web-технологий, что позволяет использовать для доступа к функциям технической эксплуатации любой компьютер с установленным на нем Web-браузером, расположенный в любой точке земного шара. С помощью этого компьютера возможны: обнаружение отказов; обработка сообщений о несанкционированном доступе, пожаре и других чрезвычайных ситуациях; измерение параметров абонентских линий и параметров импульсного номеронабирателя в телефонном аппарате пользователя; испытание таксофонных линий и таксофонов; тестирование оборудования самого концентратора и т.п. Важно, что каждый абонентский интерфейс имеет встроенные функции измерителя, что дает, например, возможность одновременно измерять электрические характеристики любого количества абонентских линий, экономя рабочее время обслуживающего персонала.

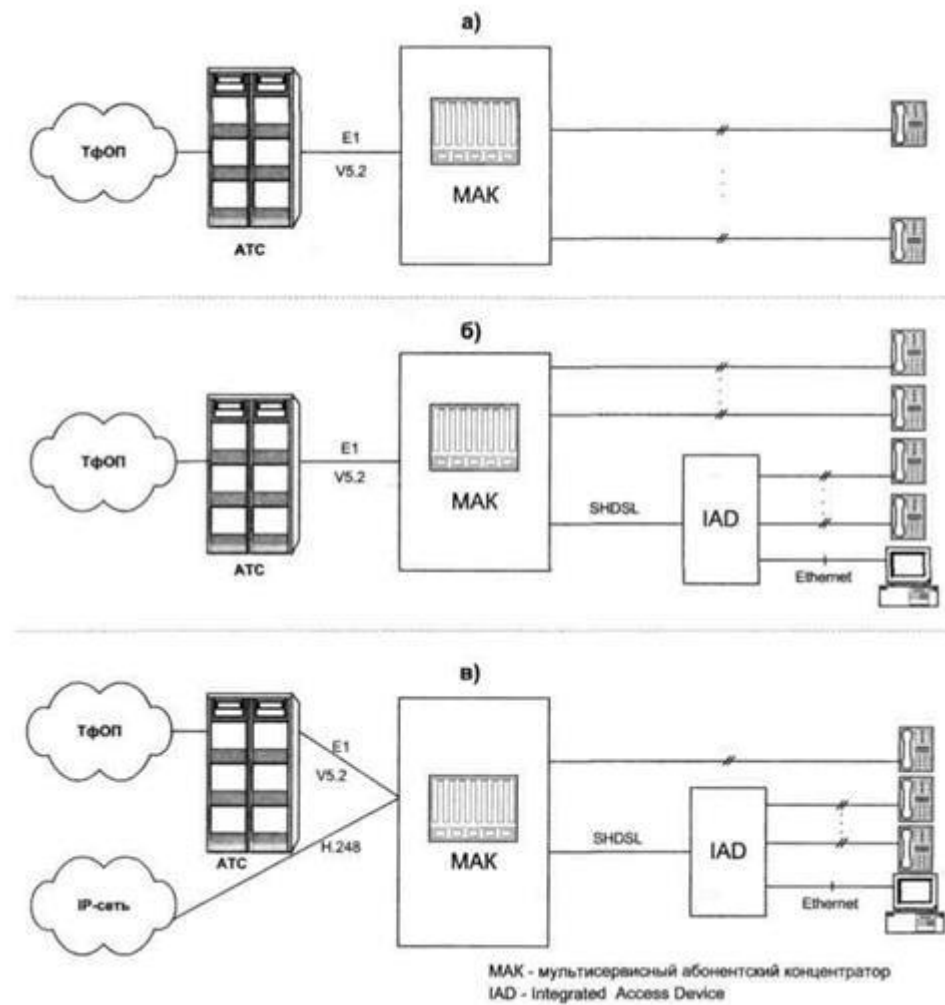
Рассмотрим возможные варианты организации связи при использовании МАК в качестве примера.

Первый (простейший) вариант включения МАК представлен на рис. 7.3, а. Через интерфейс V5.2 концентратор подключается к опорной АТС, а с абонентской стороны в каждую кассету включается до 570 аналоговых абонентских линий.

Второй вариант организации связи с помощью МАК иллюстрирует рис. 7.3, б. Как и в первом варианте, через интерфейс V5.2 концентратор подключается к опорной АТС, а с другой его стороны, через интерфейс SHDSL, подключаются интегрированные абонентские устройства IAD, в которые, в свою очередь, могут включаться до 8 аналоговых телефонных аппаратов, а также и персональные компьютеры по Ethernet.

Последний вариант на рис. 7.3, в, демонстрирует полный спектр возможностей МАК. Кроме названных ранее, показана возможность подключения концентратора к Softswitch по протоколу MGCP. При этом услуги телефонии для абонентских терминалов всех типов предоставляются,

независимо от технологии доступа, с использованием единого плана



нумерации.

Рис. 7.3. Варианты включения мультисервисного абонентского Концентратора МАК

Контрольные вопросы

1. Беспроводные абонентские линии. Преимущества и недостатки.
2. В чем заключается специфика технологий FTTx?
3. В чем особенность асимметричных технологий ADSL?
4. Для чего нужны сплиттеры в технологиях ADSL?
5. Как работает оптический сплиттер в прямом и обратном направлении?
6. Какое оборудование используется в сетях FTTx?
7. Оптические системы доступа. FTTx
8. Почему сеть PON называется пассивной? В чем ее отличие от сетей FTTx?
9. Почему технологии xDSL не имеют стратегических перспектив?
10. Сравните характеристики наиболее распространенных технологий xDSL

Исходные данные

Расчет трафика с учетом разделения на профили

Каждый студент выполняет работу в одном варианте. Номер варианта определяется двумя последними цифрами студенческого билета и одной последней цифрой текущего года. Исходные данные для выбора варианта представлены в таблицах 1 – 2.

Таблица 1 – Исходные данные для выбора количества пользователей

Вариант	0 или 5	1 или 6	2 или 7	3 или 8	4 или 9
Количество пользователей (тыс. номеров)	6	5	9	7	8

Таблица 2 – Доля пользователей, использующих различные тарифные планы

Последняя цифра года				
1 или 0	2 или 9	3 или 6	4 или 7	8 или 5
5/15/20/25/35	10/10/20/30/30	5/10/20/30/35	10/15/20/25/30	5/20/20/25/30

В таблице 2 представлены процентные соотношения пользователей широкополосным доступом. Имеются пять профилей UBR (unspecified bit rate, неопределенная битовая скорость):

- профиль 1 UBR+ (скорость доступа не более 100 Мбит/с);
- профиль 2 UBR+ (скорость доступа не более 50 Мбит/с);
- профиль 3 UBR+ (скорость доступа не более 30 Мбит/с);
- профиль 4 UBR+ (скорость доступа не более 10 Мбит/с);

- профиль 5 UBR+ (скорость доступа не более 1 Мбит/с).

При расчете необходимой пропускной способности ШПД необходимо исходить из того, что в зависимости от класса обслуживания, подключаемым абонентам может предоставляться либо гарантированная полоса пропускания (CBR), либо негарантированная (UBR).

Сервис CBR (constant bit rate, сервис с постоянной битовой скоростью) представляет собой наиболее простой класс сервиса. Когда сетевое приложение устанавливает соединение CBR, оно заказывает пиковую скорость трафика, которая является максимальной скоростью, которое может поддерживать соединение без риска потерять пакет. Затем данные передаются по этому соединению с запрошенной скоростью – не более и, в большинстве случаев, не менее. Сервис CBR предназначен специально для передачи голоса и видео в реальном масштабе времени.

В отличие от CBR, сервис UBR (unspecified bit rate, неопределенная битовая скорость) не определяет ни битовую скорость, ни параметры трафика, ни качество сервиса. Сервис UBR предлагает только доставку "по возможности", без гарантий по утере пакетов, задержке пакетов или границам изменения задержки. Разработанный специально для возможности превышения полосы пропускания, сервис UBR представляет собой адекватное решение для тех непредсказуемых "взрывных" приложений, которые не готовы согласиться с фиксацией параметров трафика. Вместе с тем, UBR позволяет обеспечить максимальную пропускную способность в том, случае, когда происходит сложение нескольких потоков данных, имеющих разнесенные во времени пики нагрузки.

Современные мультиплексоры могут устанавливать различные профили по нескольким параметрам. Для более точного расчета пропускной способности проектируемой сети доступа необходимо разделить трафик на профили.

Одним из способов обеспечения качества обслуживания пользователя является ограничение скорости доступа для безлимитных тарифных планов.

Профили «UBR+» (условно назовем их «1 UBR+», «2 UBR+», «3 UBR+», «4 UBR+», «5 UBR+») выберем для безлимитных тарифов. Для каждого профиля устанавливается максимальная скорость передачи данных, заданная в исходных данных на проектирование.

Для пользователей, имеющих лимит трафика, входящего в оплату, доступ в сеть ограничивается тем, что за каждый превышенный Мбайт придется заплатить. Для этих тарифных планов оговаривается, что скорость доступа определяется техническими возможностями узла, к которому осуществляется подключение. На эту скорость влияет:

- развитие транспортной сети;
- состояние абонентской пары;
- удаленность абонента от узла связи;

Количество пользователей для каждого профиля вычислим по формуле:

$$n_i = \frac{N \cdot a_i}{100},$$

где n_i – количество пользователей профиля;

N – общее количество пользователей;

a_i – количество пользователей i -го профиля, выраженное в процентах

Скорость для всех пользователей одного профиля рассчитываем по формуле:

$$UBR_i = n_i \cdot v_i$$

где UBR_i – скорость доступа для всех пользователей одного профиля;

v_i – скорость доступа для каждого профиля.

Суммируя потоки каждого из профилей, можно вычислить необходимую пропускную способность.

Далее необходимо, ввести изменения в скорость одного профиля «UBR+», и сделать вывод об изменении требуемой пропускной способности оператора.

