

**В.С. МАРЧУК<sup>1</sup>, А.И. БАБЕНКО<sup>1</sup>, В.И. ДОДА<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Харьковский институт Военно-Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Украина*

*<sup>2</sup>Научный центр боевого применения Военно-Воздушных Сил, Украина*

## **ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ**

Дан анализ возможностей использования технологий xDSL, PDH, SDH, FR, ATM, AON, VSS при модернизации авиационных систем связи. Представлена база данных с наиболее важными качественными показателями современных технологий. Даны рекомендации по модернизации аналоговых сетей в цифровые сети для передачи данных

**авиационные системы связи, база данных, передача данных, обработка сигналов, телекоммуникационные технологии, радиосигнал**

### **Постановка проблемы**

Развитие систем связи идет по пути цифровизации на всех этапах от формирования и передачи до приема и обработки сигналов.

Внедрение современных технологий, как правило, осуществляется при наличии в сети старых и новых технологий, причем, новые технологии могут существенно отличаться своими протоколами, более того, в рамках одной технологии используется аппаратура различных поколений с разными возможностями и интерфейсами.

### **Анализ известных достижений**

Имеется большое число публикаций по современным технологиям, например, [1-6]. Однако большой объем имеющейся информации и отсутствие в ней учета специфики авиационных систем связи затрудняет принятие решения на этапе разработки общих подходов к модернизации существующей сети.

### **Цель работы**

Создать базу данных с наиболее важными качественными показателями современных технологий для разработки стратегий модернизации существующих сетей наземного обеспечения авиации.

### **Основной материал**

Проанализируем наряду с классической цифровой технологией PDH перспективные технологии SDH, FR, ATM, AON, VSS. Особое внимание уделим технологии модернизации аналоговых сетей xDSL. Эта технология позволяет достаточно быстро и с небольшими затратами развернуть цифровые сети передачи данных при сохранении функций существующей аналоговой сети.

Технологии цифровой передачи xDSL, использующие полосу частот выше 4 кГц в существующих аналоговых линиях и базирующиеся на многоуровневых кодах, в настоящее время имеют ряд разновидностей: HDSL, SDSL, G.shdsl, ADSL, RADSL и другие.

Для участка абонент – узел коммутации можно использовать xDSL модемы со скоростями 64 и 128 кбит/с, а на участках между узлами коммутации – скоростные xDSL модемы для передачи данных со скоростями 2,048 Мбит/с.

Схема организации межстанционной связи между аналоговыми узлами коммутации представлена на рис. 1, между аналоговым и цифровым узлом – на рис. 2, абонентский вынос – на рис. 3.

Оборудование состоит из одиночного модема HDSL с портом передачи данных V.35 или интерфейсом G.703/704 канала E1. Последовательный

интерфейс V.35 используется для подключения маршрутизаторов или другого оборудования передачи данных, а интерфейсы G.703/704 предназначены для подключения АТС, мультиплексоров ИКМ (PDH) или другого каналообразующего оборудования.

Оборудование стандарта SDSL и G.shdsl удешевляет предоставление каналов E1 благодаря использованию одной медной пары вместо двух для HDSL.

В сравнении с цифровым оборудованием ИКМ xDSL позволяет увеличить дальность и сэкономить средства на регенерационном оборудовании.

Следует обратить внимание на то, что симметричные кабели с толстыми жилами обеспечивают в технологии xDSL большую дальность связи, а пупиновские катушки являются препятствием для развертывания xDSL сети и их необходимо удалить.

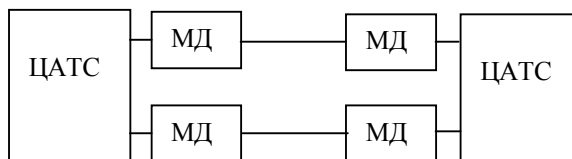
Технология xDSL имеет следующие качественные показатели:

- возможность организации цифровой сети передачи данных со скоростью до 2 Мбит/с по симметричным парам с сохранением функций аналоговой сети;
- расположение НУП аналоговой аппаратуры и НРП цифровой аппаратуры xDSL можно совместить для удешевления развертывания сети передачи данных;
- имеется возможность обеспечить несимметричную по скорости передачу цифровой информации в прямом и обратном направлении (для передачи массивов данных по запросу);
- возможно автоматическое изменение скорости передачи при ухудшении параметров аналоговой линии для сохранения качества передачи цифровой информации.

Технология ATM включает все семь уровней взаимодействия OSI и имеет следующие показатели:

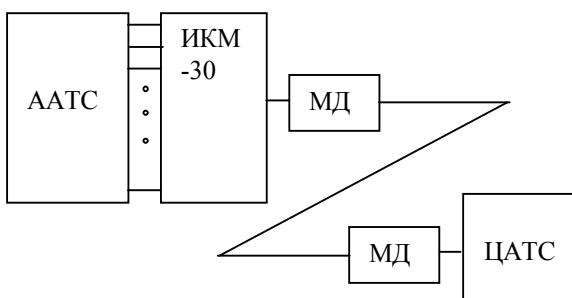
- специально разработана для передачи смешанного широкополосного трафика (тональных

сигналов, видеосигналов, сигналов изображения, данных);



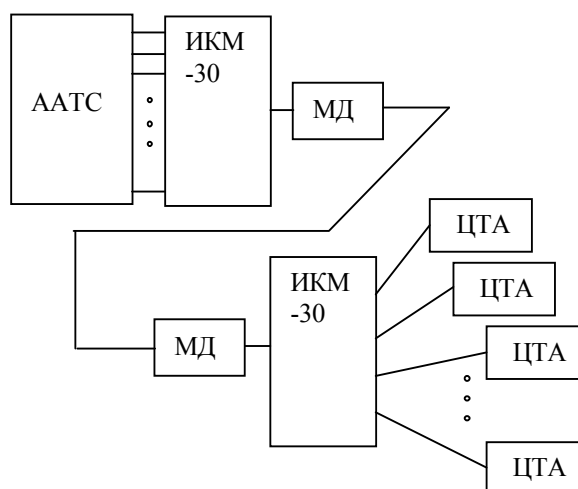
ЦАТС – цифровая АТС; МД – модем HDSL

Рис.1 Схема организации межстанционной связи между аналоговыми узлами коммутации



ААТС – аналоговая АТС

Рис.2 Схема организации межстанционной связи между аналоговым и цифровым узлом коммутации



ЦТА – цифровой телефонный аппарат

Рис.3 Схема организации абонентского выноса

- может объединять различные типы трафика и различные требования к его передаче, причем, возможно динамическое перераспределение трафика в процессе передачи;

- асинхронное мультиплексирование обеспечивает более гибкое использование полосы, поскольку предусматривает загрузку данных по мере

их поступления от источника;

- используется пакетная коммутация;
- пакеты (ячейки) фиксированной длины, достаточно короткие (всего 53 байта), что позволяет уменьшить задержки при передаче голоса и видео (в большинстве других технологий пакеты имеют переменную длину и, как правило, очень велики, что обеспечивает качественную работу СПД, но приводит к появлению задержек);

- ATM менее эффективна и экономна для передачи данных, чем классические технологии, например, Frame Relay (для блоков данных в 32 байта эффективность ATM порядка 34% и только для больших массивов в 4900 байт эффективность 89% в сравнении с FR);

- сложная архитектура внутренних протоколов, охватывающих различные уровни OSI и интерфейсы взаимодействия (в отличие от большей части технологий, работающих не выше третьего уровня, ATM занимает все семь уровней);

- ATM объединяет все существующие и перспективные технологии в едином протоколе, что определяет достаточно сложную и разветвленную архитектуру ATM;

- возможно применение в любых по размеру сетях (в локальных LAN-сетях из-за своей сложности при низких трафиках применение не всегда оправдано);

- прозрачность сети ATM для других технологий, которая обеспечивается за счет применения двух протоколов: VC-мультиплексирования, при котором трафик от разных протоколов передается по различным виртуальным каналам, и многопротокольной инкапсуляции (вложения) LLC, причем, в обоих случаях протоколы передачи данных, например, TCP/IP, переносятся в поле информационной нагрузки уровня CPCS PDV;

- возможна организация удаленного доступа к LAN-сетям через ATM-сети с помощью специальных протоколов LANE (LUNI и LENNI), реализуе-

мых в шлюзах ATM/LAN, которые со стороны LAN выступают как устройства типа моста маршрутизатора, а также с помощью трехуровневого протокола MPOA для передачи трафиков от роутеров.

Frame Relay – наиболее распространенная технология магистральных систем передачи данных имеет следующие показатели:

- упрощенный в сравнении с X.25 протокол без обнаружения и исправления ошибок, обладающий низкой протокольной избыточностью;

- более высокая в сравнении с X.25 скорость передачи данных (кадры в коммутаторах не подвергаются преобразованиям и не передаются квитанции подтверждения между коммутаторами на каждый кадр);

- приспособленность к передаче трафика с пульсациями;

- обязательно наличие высококачественной линии связи, как правило, на основе оптического кабеля;

- способность гарантировать ряд параметров качества является ключевым достоинством FR;

- вместо установления приоритетов для трафика используется процедура заказа качества обслуживания при установлении соединения, отсутствующая в сетях X.25 и появившаяся в сетях TCP/IP в форме протокола RSVP, еще не поддерживаемого поставщиками услуг Internet;

- пользователь может заключить соглашение на предоставление при установлении виртуального соединения гарантированной скорости CIR, заданной пропускной способности порта  $B_c$  (гарантия качества, если предоставляется возможность пропустить дополнительную информацию), а также на дополнительный объем информации без гарантии качества  $B_c$  сверх  $B_c$ ;

- пользователь может заключить соглашение на QoS не только по формуле  $(CIR + B_c + B_e)$ , но и  $(CIR + B_e)$ , когда в сети без перегрузок кадры доходят до конечного узла даже, если пользователь постоянно

но нарушает соглашение, а также по формуле  $B_c(CIR=0)$ , когда максимальная скорость обеспечивается без гарантии качества;

- пользователь платит не за пропускную способность, а за заказанные CIR,  $B_c$ ,  $B_c$ ;
- параметры качества обслуживания могут быть различными для разных направлений виртуального канала;
- FR могут представлять постоянные PVC и коммутируемые виртуальные каналы SVC;
- сумма CIR-виртуальных каналов не должна превышать пропускную способность порта коммутатора, для PVC это решает оператор сети, для SVC – программное обеспечение коммутатора;
- гарантий по задержке кадра FR не дает, что сдерживает применение FR для передачи голоса, а для видео кроме того недостаточна скорость доступа в 2 Мбит/с;
- при переходе в ATM-сеть вся служебная информация в информационных полях кадра FR преобразуется в информационные ячейки ATM.

В классической цифровой технологии PDH можно выделить один главный показатель – наличие плезиохронного мультиплексирования с выравниванием тактовых частот входящих сигналов методом стаффинга, из-за этого PDH имеет серьезный недостаток - при демультиплексировании требуется пошаговое восстановление исходных каналов, а это в свою очередь делает невозможным непосредственно выделять требуемый канал без установки всего комплекса оконечного оборудования.

Современная скоростная цифровая технология SDH характеризуется следующими показателями:

- синхронное мультиплексирование входных цифровых потоков (трибов) позволяет идентифицировать и выделять сразу любой триб без последовательной разборки в отличие от PDH;
- могут загружаться и выгружаться трибы как PDH, так и SDH различных уровней иерархии и стандартов;

- входные трибы инкапсулируются (вкладываются) в синхронные контейнеры с соответствующими указателями и заголовками, причем, предусматривается наличие контейнеров различного объема, которые организуются по принципу: малый в большом, а большой в еще большем, что позволяет в зависимости от скорости триба загружать его в контейнеры соответствующего размера;

- иерархия базовых контейнеров-модулей STM стандартизирована (от STM-1 до STM-64 со скоростью от 155 Мбит/с до 10 Гбит/с);

- синхронное мультиплексирование намного сложнее плезиохронного, соответственно возросли требования к системе синхронизации, качеству среды передачи и параметрам системы передачи, увеличилось число параметров, существенных для работы сети;

- оборудование SDH имеет стандартные оптические и электрические интерфейсы, что обеспечивает совместимость оборудования различных производителей;

- имеется система самодиагностики первичной сети;

- большое количество сигналов о неисправностях, передаваемых по сети SDH, позволило создать эффективную систему управления на основе платформы TMN, которая обеспечивает управление сколь угодно разветвленной первичной сети из одного центра;

- сеть имеет высокую надежность за счет физического дублирования выходных потоков синхронных мультиплексоров (две оптические линии на выходе) и позволяет организовать резервированные по схемам 1+1 и 1:1, а также резервирование на уровне виртуальных контейнеров VC, распределенное по сегментам сети;

- в силу модульной конструкции SDH мультиплексоры SMUX, кроме мультиплексирования, могут за счет подбора модулей и системы управления выполнять задачи коммутации, концентрации и

регенерации.

AON-технология полностью оптических сетей. Она является транспортной сетью, а ATM, SDH, PDH, Gigabit Ethernet и др. для AON –сетевые приложения.

AON технология имеет следующие качественные показатели:

- при коммутации, мультиплексировании, ретрансляции, обработке сигналов главную роль играют оптические технологии и, как правило, операции с сигналами выполняются только в оптическом диапазоне без преобразования в электрический;
- практически полная защита от электромагнитных влияний на линии, сложность несанкционированного доступа к передаваемой информации, электромагнитная совместимость с системами радиодиапазона;
- не требуется защита линий от влияний атмосферного электричества, высоковольтных линий;
- отсутствуют токи проводимости в оптических линиях, не требуется электрическая изоляция, линии могут находиться в воде и других проводящих средах;
- сложность организации дистанционного питания промежуточного оборудования (необходимость использования оптических кабелей с проводящими жилами или другие способы);
- сверхбольшие полосы пропускания и сверхбольшие скорости передачи цифровой информации, особенно в случае использования плотного волнового мультиплексирования DWDM (оптическое ЧРК с плотным расположением большого числа оптических несущих, для которого по ИТУ-Т установлена сетка частот с интервалом 100 или 50 ГГц, например, 40 каналов STM-64 обеспечивают при шаге 100 ГГц скорость 400 Гбит/с на одно оптическое волокно);
- возможность организации оптической коммутации каналов и пакетов и соответственно –

оптической маршрутизации как пассивной, так и активной;

- динамическая волновая оптическая маршрутизация с коммутацией каналов на основе волновой конверсии, т.е. смены оптической несущей после прохождения конвертора, обеспечивает большую гибкость сети и повышает эффективность использования ограниченного числа оптических каналов;
- электронное управление извлечением из общего оптического потока и добавлением в него оптических цифровых потоков на заданном программным образом множестве оптических несущих  $\lambda_i$ ;
- возможность использования оптической управляемой волновой конверсии для организации систем резервирования по аналогии с использованием виртуальных контейнеров SDH;
- прозрачность технологии для ATM, SDH, PDH, Gigabit Ethernet и других технологий низшего уровня.

В табл. 1-5 приведены базовые скорости передачи информации различных технологий. В современных LAN-сетях (табл. 1) могут использоваться скорости передачи от 2,5 до 1000 Мбит/с. В цифровых MAN и WAN-сетях наблюдается тенденция роста скоростей передачи (табл. 2-4). В традиционных технологиях, технологиях X.25 и Frame Relay скорости достаточно низкие (табл.2), в плездохронной технологии PDH европейского стандарта скорости достигают 564,992 Мбит/с (табл.3), в синхронной технологии SDH скорости еще выше – до 9953,28 Мбит/с (табл.4). В оптических сетях скорости могут достигать 400 Гбит/с (табл.5).

Одночастотные радиосигналы, приходящие от нескольких источников в точку приема, характеризуются неодинаково ориентированными векторами **E** и **H** и создают разные амплитудно-фазовые распределения ЭДС на выходах **N** канальной антенной системы. При наличии опорного (пилот) сигнала

Таблица 1

## Скорости передачи информации в LAN-сетях

Технология	Arcnet	Token Ring		Fast Token Ring	Fast Ethernet, 100-VG-AnyLAN, FDDI	Gigabit Ethernet
Скорость, Мбит/с	2,5	4	10	16	100	1000

Таблица 2

## Скорости передачи информации в традиционных технологиях, технологиях X.25 и Frame Relay

Технология	Традиционные	X.25	FR
Скорость, Кбит/с	От 7,4 до 9,6	9,6; 19,2; 56	64; 128; 252; 384; 512; 768; 1024; 1536; 2048

Таблица 3

## Скорости передачи информации в плейзиохронной технологии PDH европейского стандарта

Уровень	E1	E2	E3	E4	E5
Скорость, Мбит/с	2,048	8,448	34,368	139,264	564,992

Таблица 4

## Скорости передачи информации в синхронной технологии SDH

Уровень	Sub-STM-1 (STM-0)	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64
Скорость, Мбит/с	51,84	155,52	622,08	2488,32	9953,28

Таблица 5

## Скорости передачи информации в оптических сетях

Технология	FR	Ethernet 10Base FL,FB, FX	FDDI, Ethernet 100 Base FX	STM-1	STM-4	Ethernet 1000 Base SX, LX	STM-16	STM-64	WDM (< 6-7 STM-64)	DWDM (40 STM-64 с шагом 100 ГГц)
Скорость, Гбит/с	$\leq 0,002$	0,01	0,1	0,155	0,622	1	2,5	10	< 60-70	400

можно создать блок адаптивной обработки радиосигнала, который позволяет по векторно-пространственным параметрам (поляризационным, пеленгационным и по дальности) разделить одночастотные радиосигналы.

Системы радиосвязи на основе метода векторно-пространственного разделения ВПП (VSS) радио-

сигналов имеет следующие показатели:

- позволяют многократно задействовать частоты в ограниченном пространственно-временном объеме;
- эффективность использования радиочастотного спектра в сетях радиосвязи увеличивается в 2-6 раз;

- не требуется существенного переоборудования имеющихся сетей радиосвязи.

### **Выводы**

1. Для быстрого переоборудования с малыми затратами существующих аналоговых сетей в цифровые возможно применение xDSL технологий.

2. Применение цифровой технологии ATM целесообразно на сетях, в которых требуется динамическое перераспределение ресурсов, передается разнородный трафик и выставляются различные количественные и качественные требования к каналу передачи.

3. Цифровая технология пакетной передачи FR эффективна только на линиях с оптическими кабелями, позволяет предоставлять гарантированную скорость и негарантированное превышение объема передаваемой информации по предварительному соглашению.

4. Синхронная цифровая технология контейнерной передачи SDH предназначена для передачи информации со скоростями от 155 Мбит/с и выше, совместима с ИКМ технологией, обладает мощными средствами повышающими надежность сети.

5. Оптическая технология AON позволяет передавать цифровые потоки со скоростями от сверхнизких до сверхвысоких, обладает высокой степенью защиты от внешних электромагнитных воздействий и несанкционированного доступа.

6. Эффективность использования ограниченного

пространственно-временного объема можно повысить, применяя технологию векторно-пространственного разделения VSS радиосигналов, многократное использование несущих, что позволит увеличить максимально допустимую плотность источников на заданной территории и усложнит несанкционированный доступ к информации, однако для движущихся друг относительно друга источников технология усложняется.

### **Литература**

1. Горальски В. Технологии ADSL и DSL. М.: Лори, 2000. – 296 с.
2. Назаров А.Н., Симонов М.В. ATM: технология высокоскоростных сетей. М.: Эко-Трендз, 1998. – 252 с.
3. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH. - М.: Эко-Трендз, 1998. – 252 с.
4. Хендерсон Л., Дженкинс Т. Frame Relay. Межсетевое взаимодействие. М.: ЭНТРОП, 2000. – 320 с.
5. Убайдулаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. М.: Эко-Трендз, 2000. – 267 с.
6. Литвинов Ю.Н. Повторное использование полос частот в системах радиосвязи // Зв'язок, 1999, № 5, с. 55 - 57.

*Поступила в редакцию 13.10.03*

**Рецензент:** д-р техн. наук, профессор Поповский В.В., Харьковский национальный университет радиотехники, г. Харьков